



ЦЕНИМ ПРОШЛОЕ, СТРОИМ БУДУЩЕЕ

В. Л. Мартьянов О. И. Литвин С. О. Марков

**ГЕОМЕХАНИКА.
УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Кемерово 2019

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва»

В. Л. Мартьянов О. И. Литвин С. О. Марков

**ГЕОМЕХАНИКА.
УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

Учебное пособие

Кемерово 2019

УДК 622.831(075.8)

Рецензенты:

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН (ФИЦ УУХ СО РАН), Институт угля, доктор технических наук, главный научный сотрудник Б. Л. Герике

Сибирский институт горнотехнических исследований (ООО «СИГИ»), кандидат технических наук А. И. Быкадоров

Мартьянов, В. Л. **Геомеханика. Управление состоянием массива горных пород при открытой геотехнологии**: учебное пособие / В. Л. Мартьянов, О. И. Литвин, С. О. Марков ; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва. – Кемерово, 2019. – 259 с.

ISBN 978-5-00137-112-0

В учебном пособии «Геомеханика. Управление состоянием массива горных пород при открытой геотехнологии» рассматриваются специальные технологические и инженерные методы управления состоянием массива горных пород на открытых горных работах, включающие различные приёмы маневрирования горными работами, способы снижения влияния действия массовых взрывов, методы укрепления откосов уступов и бортов карьеров, упрочнения массива горных пород и т. д. Акцентируется внимание на способах управления состоянием обводнённого массива горных пород и направленного изменения состояния отвальных массивов. Рассматриваются проблемы и перспективы развития управления состоянием массива горных пород.

Предназначено для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации 21.05.04.03 «Открытые горные работы».

Печатается по решению редакционно-издательского совета КузГТУ Кузбасского государственного технического университет имени Т. Ф. Горбачёва.

УДК 622.831(075.8)

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва, 2019

© Мартьянов В. Л., Литвин О. И.,
Марков С. О., 2019

ISBN 978-5-00137-112-0

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность человека по использованию ресурсов недр вызывает развитие в недрах геомеханических процессов, связанных с изменением напряжённого состояния, деформированием и разрушением горных пород. Эти процессы могут вызывать крайне неблагоприятные технологические и экологические последствия. Как следствие, на территории России от негативных проявлений неуправляемых геомеханических процессов страдают многочисленные объекты недропользования, промышленные регионы и участки земной поверхности.

Поэтому **целью курса** является выработка у будущих горных инженеров знаний, умений и представлений, необходимых для решения задач геомеханического обеспечения недропользования при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Под геомеханикой понимается наука о механических свойствах и механическом состоянии массива горных пород и процессах деформирования и разрушения (геомеханических процессах), происходящих в массиве в определённых природных условиях под влиянием горнотехнических (технологических) факторов.

При разработке месторождений *открытым способом* в массиве горных пород проявляются, главным образом, геомеханические процессы.

Геомеханические процессы – процессы деформирования и разрушения массива горных пород, возникающие в результате изменения его механического состояния под воздействием природных экзогенных и технологических факторов.

Природные экзогенные факторы – это внешние по отношению к массиву горных пород факторы, определяющие его выветривание, эрозию, температурный режим и другие процессы, зависящие от климатических условий, энергии солнечной радиации и др.

Целью геомеханики как науки является создание гипотез, теорий и методов, позволяющих:

– получать оперативную и надёжную информацию о механических свойствах и природном напряжённо-деформированном состоянии массива горных пород;

– устанавливать закономерности изменения этого состояния в результате развития в нём процессов деформирования и разрушения под влиянием природных и технологических факторов;

– определять систему технологических методов управления геомеханическими процессами в массиве горных пород для обеспечения эффективного и безопасного освоения ресурсов недр.

Методы геомеханических исследований применяются для решения конкретных задач, которые ставятся перед геомеханикой при недропользовании.

Эти методы могут быть разделены на теоретические, эмпирические и полуэмпирические.

Теоретические методы базируются преимущественно на уравнениях, используемых в механике сплошной среды. При этом массив горных пород рассматривается как упругая, пластичная, вязкая, сыпучая или другая идеализированная среда, отличающаяся от реальной. Теоретические методы для инженерных расчётов применяются редко. В практике недропользования используются в основном эмпирические и полуэмпирические методы расчёта.

Эмпирические методы базируются на зависимостях, полученных непосредственно из результатов инструментальных наблюдений в натуральных условиях, полуэмпирические – на зависимостях, установленных на основании обобщений, теоретических соображений, физических и математических аналогий.

Геомеханические методы исследования массивов горных пород необходимы горным инженерам для определения безопасных параметров откосов и уступов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Геомеханика в своих научных основах, методах и средствах изучения массива горных пород и закономерностей процессов, происходящих в нём при недропользовании, тесно взаимодействует с другими научными дисциплинами и, в первую очередь, с горными науками.

Связь геомеханики с *маркшейдерией* основана на том, что в задачи маркшейдерской службы горных предприятий входят организация и проведение инструментальных наблюдений за процессами сдвижения горных пород, деформациями горных выработок, устойчивым состоянием конструктивных элементов систем разра-

ботки, деформациями земной поверхности, зданий и сооружений, за устойчивостью уступов, бортов карьеров и отвалов.

Связь между геомеханикой и *горнопромышленной геологией* проявляется в следующем. Горнопромышленная геология представляет собой совокупность знаний о процессах, протекающих в геологической среде при техногенном воздействии на недра и закономерностях изменения при этом свойств георесурсов.

Геологическая информация используется в геомеханике для прогноза влияния недропользования на состояние природных и промышленных объектов.

Связь между геомеханикой и *горными науками*, объединенными в группу «*Геотехнология*», заключается в следующем.

Геотехнология – это комплекс горных наук об извлечении полезных ископаемых из недр и водоёмов или использовании георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости).

Объединяющей идеей группы горных наук «*Геотехнология*» является выявление научных предпосылок для технических решений, расширяющих и углубляющих возможности горных предприятий, и преобразования недр в целом.

Изменения природного напряжённо-деформированного состояния массива горных пород обусловлены, в первую очередь, воздействием технологий, процессов и технических средств, характеризующих геотехнологии. Применение в геотехнологии информации знаний о составе, строении, свойствах и состоянии массива горных пород позволяет научно обосновать и реализовать на практике наиболее эффективные технические решения.

Геомеханика использует для решения свойственных ей задач методы *механики* и, в частности, *механики сплошной среды*. Такими методами являются методы математической теории упругости, пластичности и теории предельного равновесия.

Связь геомеханики с *математикой* проявляется в следующем:

- при решении дифференциальных уравнений плоского равновесия совместно с уравнением предельного равновесия среды с трением была получена система дифференциальных уравнений гиперболического типа. Решения этой системы уравнений использованы при оценке предельных состояний массива горных пород вокруг открытых горных выработок;

- применение вероятностно-статистических методов для оценки и обработки показателей, характеризующих состав, строение, свойства и состояние массива горных пород, значительно повышает надёжность предлагаемых инженерных решений.

Связь геомеханики с *геофизикой* заключается в том, что для изучения природного напряжённо-деформированного состояния массива горных пород и закономерностей его изменения под влиянием природных и техногенных факторов широко применяются геофизические методы, такие как гравиметрический, электрометрический, звукометрический и др.

Приведённый краткий анализ показывает, что геомеханика, являясь самостоятельной горной наукой, тесно взаимодействует с другими областями знаний.

В истории развития геомеханики можно выделить несколько этапов.

Первый (начальный) этап относится ко второй половине XIX века. В это время началось изучение процесса сдвижения горных пород при подземном способе разработки с помощью простейших инструментальных наблюдений на поверхности и обобщения опыта ведения горных работ.

К началу XX века, с увеличением глубины подземных горных работ, относится *второй этап* развития геомеханики.

В 1907 году основополагающей отечественной работой, в которой развивалась так называемая «гипотеза свода», явилась монография М. М. Протодяконова «Давление горных пород на рудничную крепь».

В это же время получили распространение методы расчёта, основанные на использовании положений теории сопротивления материалов и строительной механики.

Третий этап развития геомеханики относится к двадцатым годам XX века и характеризуется применением методов теории упругости к решению проблем горного давления.

В 20–30-х годах прошлого столетия впервые при решении проблем проявления горного давления стали использовать исходные понятия об упругих средах, закон Гука и уравнения равновесия.

Начало *четвёртого этапа* в развитии геомеханики в России приурочено к середине тридцатых годов, когда был разработан новый метод моделирования проявлений горного давления с помощью

эквивалентных материалов. Применение методов моделирования позволили получить важную информацию о напряжённо-деформированном состоянии массива горных пород для различных горно-геологических условий и разработать методы расчёта деформаций горных пород.

Пятый этап развития геомеханики связан с широко известными работами [64, 65] и характеризуется дальнейшим расширением применения аналитических методов для решения геомеханических проблем, в том числе и по расчётам устойчивости уступов и бортов карьеров. Здесь следует отметить значительный вклад Г. Л. Фисенко (ВНИМИ).

Шестой (современный) этап в развитии геомеханики, начавшийся в 1980-х годах, в значительной мере обобщил научные и практические результаты, достигнутые на предыдущих этапах, которые сводятся при разработке месторождений открытым способом к следующему.

1. Научно обоснованы и разработаны инженерные методы расчёта устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов вытянутой и круглой формы.

2. Исследован характер деформирования различных инженерно-геологических комплексов пород, установлены предельные деформации сдвига при различных коэффициентах запаса устойчивости.

3. Оценено влияние на устойчивость бортов карьеров и откосов отвалов особенностей геологического строения массива горных пород, гидрогеологических и горнотехнических факторов.

4. Изучены деформации бортов карьеров в различных горно-геологических условиях и причины их возникновения, разработана методика длительных инструментальных маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров.

В настоящее время научное направление «УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ГОРНОГО МАССИВА» (англ. control of rock mass conditions; нем. Gebirgsbeherschung; франц. controle de l'etat du massif; итал. control de macizo) определяется как совокупность мероприятий по целенаправленному переводу массива в заведомо устойчивое, близкое к предельному или неустойчивое состояние. Осуществляется путём изменения в процессе разработки формы, параметров и продолжительности обнажения горных пород, а также

изменения физико-механических свойств пород, обеспечивающих экономичное и безопасное ведение горных работ.

Объекты управления состоянием массива – природные и техногенные массивы. Их состояние до осуществления управления состоянием горного массива и возможные его результаты оцениваются с помощью расчётных методов. В основу большинства из них положено сопоставление действующих и разрушающих напряжений или сдвигающих и удерживающих сил.

При открытой разработке заведомо устойчивое состояние обеспечивается уменьшением высоты и крутизны обнажения, укреплением массива инженерными методами или искусственным увеличением прочности пород (для перевода массива в неустойчивое состояние предпринимаются обратные действия).

Повышение устойчивости может быть достигнуто и в случае, если массив в процессе отработки поддерживать в объёмном напряжённом состоянии путём создания бокового распора за счёт сближения сопрягаемых бортов карьера или их подпора внутренним отвалом и насыпями. При этом на участках взаимного влияния сопряжений, равных высоте борта, отмечается приращение коэффициента запаса устойчивости. Увеличение или уменьшение высоты и крутизны обнажения, а также создание бокового распора может быть осуществлено обычными технологическими приёмами с помощью эксплуатируемого оборудования.

Укрепление природных массивов инженерными методами широко применяется только при постановке бортов карьеров в предельное положение. К ним относятся следующие методы:

- механическое удержание части откоса по слабой поверхности с помощью железобетонных свай, штанг или гибких тросовых тяжей (при крупноблочном строении массива);

- упрочнение сильно трещиноватых и сыпучих пород цементацией и нагнетанием растворов из полимерных веществ;

- изолирование поверхности откоса уступа, склонного к интенсивному выветриванию или выщелачиванию, нанесением на него слоя торкрет-бетона, шприц-бетона или полимерных плёнок.

Укрепление техногенных массивов отвалов осуществляется главным образом в процессе их отсыпки путём внесения в отвальную массу укрепляющих добавок и создания дренирующего слоя в основании отвалов.

Целесообразность применения инженерных методов упрочнения оценивается сопоставлением затрат на выполнение этих работ с затратами на ликвидацию возможных нарушений устойчивости массива.

Перевод массива в неустойчивое состояние преследует цель использовать природные силы тяжести для отделения пород от массива и их перемещения в заданном направлении. Наибольший эффект достигается при подработке основания массива механическим, гидравлическим и взрывным способами.

Перспективное направление управления состоянием горного массива – изменение физико-механических свойств пород путём различных физико-химических воздействий. Одно из них – замачивание массива из глинистых пород – широко используется при гидромониторной разработке (с увеличением влажности от 15 до 30% сцепление пород уменьшается в 1,5–2,5 раза, после чего массив легко разрушается средствами гидромеханизации). Воздействуя на глинистые горные породы тепловыми полями, в них инициируют химические реакции, сопровождаемые образованием более прочных соединений и структур. При воздействии динамических нагрузок сыпучие и глинистые горные породы как гетерогенные среды могут существенно изменять свои свойства за счёт изменения соотношения составляющих (твёрдогазообразных; твёрдожидкогазообразных или твёрдожидких).

Механика горных пород (или горная геомеханика) – наука о прочности, устойчивости и деформируемости, смещениях массивов горных пород и горнотехнических объектов в поле природных и вызванных влиянием горных работ сил горного давления.

Предметом дисциплины «Управление состоянием массива горных пород» (УСМГП) являются механические процессы, происходящие в массиве горных пород и связанные главным образом с проведением горных выработок (формирование напряжённого состояния массивов пород и его изменения в связи проведением выработок, сдвижение горных пород, взаимодействие пород и горных выработок и др.).

В целом УСМГП, являясь прикладной дисциплиной, решает следующие **задачи**:

1) изучение закономерностей изменения напряжённо-деформированного состояния вмещающих пород при ведении горных работ;

2) обоснование технологических процессов и параметров выемки полезного ископаемого;

3) управление горным давлением, целенаправленное перераспределение напряжений, деформаций, разрушения и упрочнения породного массива, т. е. управление напряжённо-деформированным состоянием массива горных пород при ведении горных работ.

На базе исследований:

- обосновываются технологические схемы и параметры горных работ;

- выбираются системы разработки, определяются их элементы и параметры;

- устанавливаются рациональные способы и схемы управления горным давлением при открытых разработках;

- даются рекомендации по оптимальному поддержанию и охране горных выработок и защите других объектов от техногенного влияния горных работ.

Общая методология дисциплины УСМГП состоит в широком использовании и анализе натуральных наблюдений с одновременным привлечением методов и приёмов моделирования и аналитических исследований на базе теоретических положений из основных разделов современной механики, математических и физических аналогий.

Как научное направление, управление состоянием горного массива впервые получило развитие в СССР с 60-х годов XX в.

В практике открытых горных работ управление состоянием горного массива (путём цементации, установки железобетонных свай и штанг) широко применяется на карьерах по добыче руд цветных металлов. За рубежом эти способы получили наибольшее развитие в Японии, Германии, Франции и США.

Управление состоянием горного массива путём придания откосу выпуклой формы получило распространение на угольных разрезах. Изменение формы обнажения в плане используется при выемке марганцевой руды под торцовыми бортами карьеров без их разноса. Этот принцип положен в основу предложенной впервые в СССР технологии разработки крутопадающих залежей с внутрен-

ним отвалообразованием. Управление состоянием горного массива путём целенаправленного перевода массива в неустойчивое состояние также впервые осуществлено и детально разработано в СССР.

В исследовании проблем геомеханики принимало участие большое число научно-исследовательских, учебных и проектных институтов, включая ВНИМИ, ИПКОН РАН, Уральский государственный горный университет (Россия), Институт горного дела им. А.А. Скочинского, ВНИПИгорцветмет, Санкт-Петербургский горный университет, Московский государственный горный университет (ныне – Горный институт НИТУ «МИСиС»), Казахский национальный технический университет, Карагандинский государственный технический университет (Казахстан), Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан), Сибирский филиал НИИОГР, НФ «Кузбасс-НИИОГР» и многие другие организации. Усилиями учёных и специалистов создана и утверждена в установленном порядке мощная нормативно-техническая база по геомеханическому обеспечению горных работ.

В связи с интенсивным развитием малоотходных и ресурсосберегающих технологий, повышенным вниманием к охране окружающей среды отмечается устойчивая тенденция более широкого применения управления состоянием горного массива.

1. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

1.1. Общие вопросы управления состоянием горных пород

Управление состоянием массива – научная дисциплина, которая изучает механические процессы, возникающие в массивах горных пород при разработке полезных ископаемых, и устанавливает закономерности направленного изменения интенсивности этих процессов для обеспечения экономичности и безопасности горных работ, охраны недр и земельных ресурсов.

В рамках курса изучаются природно-геологические и горно-технические факторы, влияющие на состояние пород в бортах карьеров и отвалах, теоретические основы прогноза развивающихся в бортовых и отвальных массивах механических процессов, основы расчёта устойчивости бортов карьеров и отвалов, технологические и специальные мероприятия по направленному изменению состояния массива.

Основной целью изучения дисциплины является усвоение студентами теоретических основ управления состоянием массива горных пород и методов геомеханического обоснования технологии формирования бортов карьеров и отвалов в различных горно-геологических условиях.

Совершенствование технологии открытой разработки месторождений позволяет увеличить глубину карьеров до 600–800 м. Для таких карьеров вопросы длительной устойчивости бортов на предельном контуре приобретают особое значение с точки зрения обеспечения безопасности и экономической эффективности ведения горных работ.

Формы проявления сдвижения пород при открытой разработке могут быть различные. По мере оснащения горной промышленности новыми мощными техническими средствами всё большее число месторождений отрабатывают открытым способом. Глубина открытой разработки отдельных месторождений в нашей стране превысила 300 м. Строят и эксплуатируют карьеры, рассчитанные на глубину разработки 500–700 м и более. Технология открытой разработки месторождения и параметры системы разработки в значительной

мере определяются особенностями сдвижений и деформаций горных пород в каждом конкретном условиях.

Деформации пород в карьере начинаются обычно сразу же после образования открытой горной выработки и происходят практически в течение всего срока службы. При этом различают непрерывные и циклические процессы.

К непрерывным процессам, т. е. происходящим постоянно, относятся оседания, осыпи, суффозионные и поверхностные оплывания.

К циклическим процессам, идущим с переменной скоростью – оползни, обрушения и т. д.

Наибольшую опасность представляют циклические процессы. Однако если при подземной разработке основной практический интерес представляют закономерности деформирования, разрушения и перемещения пород толщи массива и дневной поверхности, то в условиях открытых работ основная цель исследования процессов сдвижения пород заключается в обеспечении устойчивого состояния элементов карьеров – уступов и бортов, а также отвалов пород. Для правильного проектирования и ведения открытых горных работ необходимо знать формы проявления процессов сдвижения и уметь прогнозировать характер их развития и возможные последствия. Необходимо также надёжно рассчитывать основные параметры (форму уступов и бортов карьеров, их высоту и др.), обеспечивающие устойчивость уступов, бортов и отвалов в период разработки. Основными формами проявления процессов сдвижения на карьерах являются следующие.

Оползень – медленное скользящее движение (смещение) масс горных пород, слагающих откос (а иногда и его основание). Это наиболее распространённый и крупный вид нарушения устойчивости откосов, связанный с наличием в толще пород пластичных прослоек, слоёв и слабых контактов. Оползни происходят при углах наклона бортов и откосов уступов, положе 25–35°. Активная стадия оползней протекает в течение значительного времени (от нескольких часов до месяцев). Поскольку оползни нередко вовлекают в движение значительные массы горных пород (до нескольких миллионов и десятков миллионов кубических метров), часто они являются причиной полного прекращения работ в карьерах.

Развитие оползня сопровождается обычно образованием трещин отрыва, размеры которых характеризуются глубиной их распространения, шириной раскрытия и протяжённостью. По скорости развития трещин можно судить о ходе развивающейся деформации. Её называют иногда скоростью «подвигания» отрывающегося блока. Оползневой цикл складывается из процесса перехода массива пород, прилегающих к откосу, из равновесного в неравновесное состояние и затем в новое равновесное состояние.

Обрушение – быстрое смещение породных масс или блоков и пачек пород, слагающих откос, сопровождающееся дроблением смещающейся части массива. Поверхность отрыва обрушающихся пород, как правило, совпадает с различного рода структурными неоднородностями (ослаблениями) массива и имеет наклон, превышающий угол внутреннего трения. Поэтому после преодоления сил сцепления оторвавшийся массив не может удержаться на этой поверхности силами трения и перемещается вниз к подошве откоса. Активная стадия обрушения протекает практически мгновенно, что представляет большую опасность для людей и механизмов, работающих на нижележащих уступах. Обрушения возникают при углах откосов, превышающих $25\text{--}35^\circ$, и захватывают иногда значительные части массивов горных пород.

Оплывина – перемещение в виде потока насыщенных водой до текучего состояния некоторых разновидностей песчано-глинистых пород нарушенной структуры (пылеватых песков и глин, лёссовидных суглинков и лёссов), которые растекаются по площадкам уступов под углом $4\text{--}6^\circ$ и менее. Оплывины захватывают значительные объёмы пород, развиваются весьма интенсивно, часто приобретая катастрофический характер.

Осыпь – разрушение и смещение приповерхностной части крутых откосов. Осыпи формируются в течение значительного периода времени (нескольких лет) и характерны для всех типов горных пород. Они вызывают выполаживание общего угла наклона борта карьера за счёт уменьшения площадок уступов. Известны случаи, когда осыпи являлись источниками образования более крупных нарушений устойчивости, оползней, оплывин и др.

Просадка – неравномерное вертикальное опускание площадок уступов и поверхности отвалов, сложенных высокопористыми рыхлыми породами естественной и нарушенной структуры под влияни-

ем собственного веса, внешних пригрузок, увлажнения атмосферными осадками, динамических нагрузок и т. п. При просадках, как правило, не образуется сплошной поверхности скольжения. Обычно это наименее опасный вид нарушения устойчивости, однако в определённых условиях он может служить причиной серьёзных нарушений режима работы, аварий и травм.

Фильтрационные деформации, вызываемые подземными водами, разделяют на оплывание, выпор, механическую суффозию и фильтрационный вынос вдоль трещин. Оплывание связано с переносом и переотложением грунтовых частиц подземными водами, вытекающими на откос в пределах участка их высачивания. Наибольшее развитие этот процесс получает в песчаных грунтах.

Выпор – это нарушение устойчивости частично подтопленных песчаных откосов, при котором приходит в движение некоторый его объём. Выпор происходит под влиянием сил тяжести и гидродинамического давления.

Механическая суффозия – вынос мелких частиц из массива горных пород под влиянием гидродинамических сил.

Фильтрационный вынос вдоль трещин носит эрозионный характер и развивается в слабосцементированных породах с характерной естественной трещиноватостью.

Максимально крутые углы наклона бортов карьеров, обеспечивающие минимальные объёмы вскрышных работ, достигаются их конструированием с учётом применяемого горнотранспортного оборудования, порядка и технологии ведения горных работ. Однако чисто конструкторский подход к определению геометрических параметров карьеров, как правило, не связывается с инженерно-геологическими условиями массива горных пород.

Если конструктивные параметры карьера не обеспечиваются условиями устойчивости отдельных уступов и бортов в целом, то необходимо уменьшать углы их откосов или направлено изменять состояние массива путём применения специальных *технологических* и *инженерных методов управления состоянием* уступов и бортов.

Уменьшение углов откосов приводит к снижению технико-экономических показателей открытого способа разработки. Так, например, уменьшение угла наклона борта карьера глубиной 400 м с 45 до 40° приводит к увеличению объёма вскрыши до 40 млн м³ на 1 км протяжённости фронта горных работ.

Все методы управления состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых можно представить в виде следующей схемы (рис. 1.1).

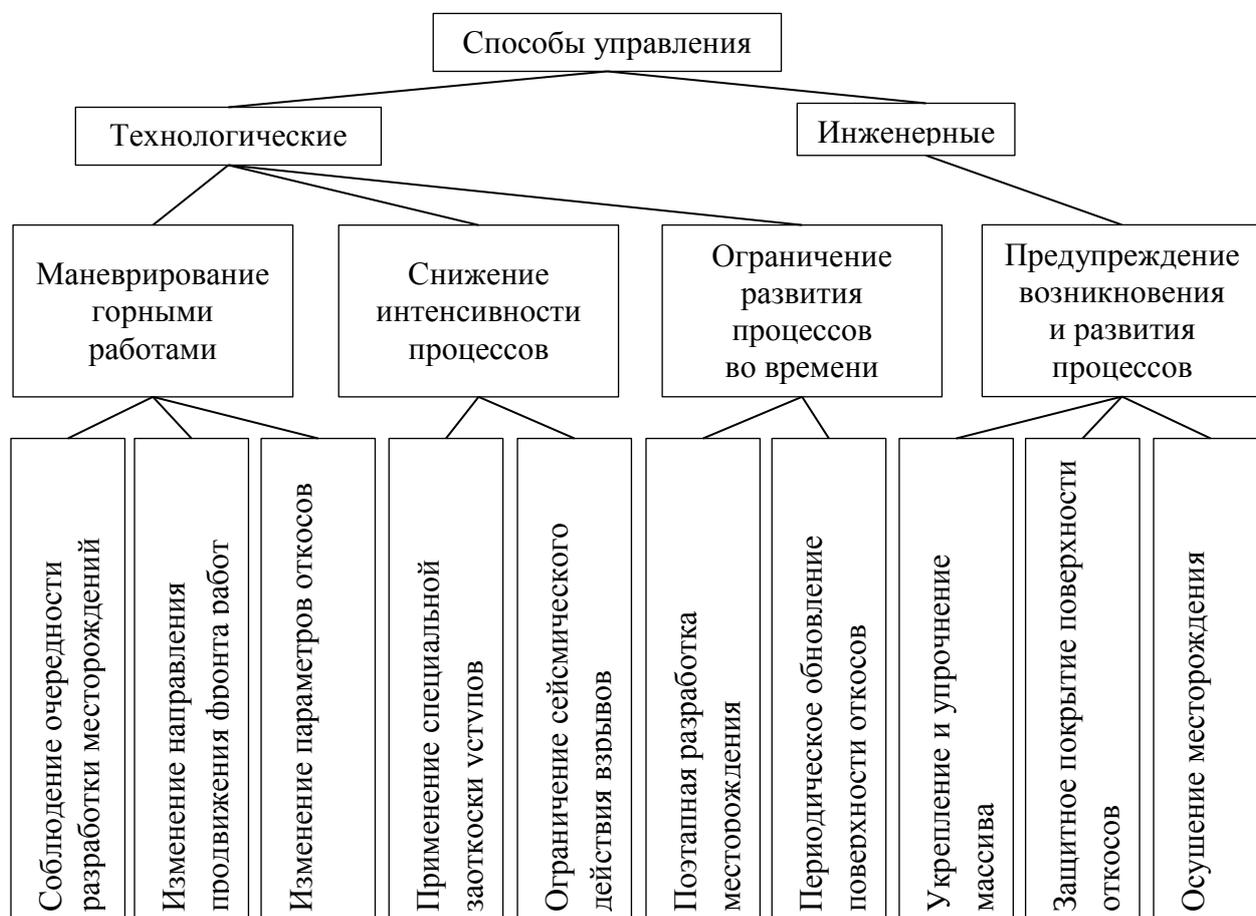


Рис. 1.1. Методы управления состоянием массива горных пород

Целью *технологических приёмов* управления является отыскание таких способов вскрытия, систем разработки, моделей и типов применяемого горнотранспортного оборудования, способов ведения БВР и осушения карьерных полей, которые исключали бы случаи нарушения устойчивости уступов и бортов.

К основным технологическим способам управления состоянием откосов относятся *целенаправленные*: маневрирование горными работами или обоснование и соблюдение очередности (порядка) отработки участков карьерного поля; раскрытку и вскрытие карьерного поля; изменение параметров элементов системы разработки и др.

Цель *инженерных способов* управления состоянием откосов состоит в сохранении проектных параметров уступов и бортов карьера, сохранении или повышении естественной прочности пород в массиве. К инженерным способам управления состоянием откосов

относятся механическое укрепление откосов и искусственное упрочнение массива горных пород.

Сущность укрепления деформирующихся откосов механическими способами заключается в создании в определённой части массива горных пород такого напряжённого состояния, которое препятствует развитию в нём разрушающих сдвиговых деформаций. Это достигается с помощью укрепительных противооползневых конструкций и сооружений, которые, воспринимая на себя давление призмы обрушения, передают его на область массива, находящуюся вне зоны формирования поверхности скольжения. Механическое укрепление откосов осуществляется с помощью свай, шпон, штанг (анкеров) и гибких тросовых тяжей, защитных (изолирующих) покрытий и стенок, подпорных стен и контрфорсов.

Упрочнение массива горных пород осуществляется посредством искусственного закрепления массива, улучшения физико-механических и фильтрационных свойств горных пород, слагающих откос. С этой целью для восстановления нарушенных горными работами структурных связей в трещиноватых горных породах или создания новых связей в рыхлых отложениях применяются следующие способы упрочнения:

- силикатизация или нагнетание в массив других укрепляющих растворов;
- цементация;
- электросиликатизация;
- электрохимическая и термическая обработка пород;
- уплотнение пород энергией взрыва.

Целенаправленность изменения состояния массива путём применения специальных *технологических* и *инженерных методов управления состоянием* уступов и бортов определяется технико-экономическими расчётами, основными показателями которых являются: возможность сокращения объёма вскрыши за счёт отказа от выполаживания борта карьера, стоимость этого объёма вскрыши и стоимость затрат на проведение противооползневых мероприятий. Путём сравнения затрат на искусственное укрепление откосов с затратами на дополнительный разнос борта устанавливается целесообразность мер защиты откосов.

Инженерные методы управления состоянием уступов и бортов рекомендуется применять в следующих случаях:

- если направление простирания крупных тектонических нарушений, трещин, слоистости массива горных пород пересекается под углом менее 45° с направлением простирания откосов уступов;

- в зонах интенсивной трещиноватости, склонных к выветриванию горных пород;

- в зонах тектонических разломов и нарушений с большими амплитудами смещения пластов;

- в зонах с неблагоприятно ориентированной слоистостью массива горных пород, падающей в сторону выработанного пространства под углом $20\text{--}30^\circ$ и более, когда на глубоких горизонтах невозможно осуществить выполаживание борта.

В состав проекта по укреплению уступов и бортов карьера входят:

1) исходные данные геологоразведочных работ и инженерно-геологических изысканий;

2) расчёты устойчивости борта на участке укрепительных работ;

3) способы укрепления, упрочнения и изоляции горных пород в откосах уступов и бортов карьера;

4) паспорта укрепления откосов;

5) сравнительные варианты укрепления и технико-экономические расчёты.

Варианты способов укрепления откосов оцениваются затратами на конструкции противооползневого сооружения, расходом материалов, сроком проведения работ по укреплению и долговечностью конструкции. С помощью технико-экономических расчётов возможные варианты способов укрепления откосов сравниваются по стоимостным показателям и срокам строительных работ в зависимости от вероятного времени стояния незакреплённого откоса.

1.2. Основная терминология дисциплины

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ – природные минеральные агрегаты, слагающие литосферу Земли в виде самостоятельных геологических тел.

МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД или **ГОРНЫЙ МАССИВ** – участок земной коры, характеризующийся общими условиями образования и определёнными инженерно-геологическими свойствами слагающих его горных пород, в котором распространяются физические процессы, связанные с ведением горных работ.

ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ – напряжения, возникающие в массиве горных пород в результате действия главным образом гравитационных сил, а также тектонических сил и изменения температуры верхних слоёв земной коры.

ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ – явления и процессы в массиве горных пород, вызываемые горным давлением при ведении горных работ, проявляющиеся в виде различного рода сдвижений, деформаций и разрушений вмещающих пород и полезного ископаемого, обрушений породы и т. д.

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД – перемещение и деформирование массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия при ведении горных работ.

ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД – изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием горного давления, динамических нагрузок, различных полей (электрических, магнитных, ультразвуковых и др.), тектонических или термических напряжений, а также фазовых превращений при осушении или увлажнении горных пород и других видов горных работ.

ОСЕДАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД – вертикальная составляющая полного вектора сдвижения точки поверхности или массива горных пород.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД – изменение места положения горных пород относительно какой-то точки (репера) в результате нарушения их равновесия, вызванного ведением горных работ.

СПОЛЗАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД – сдвижение горных пород по плоскостям напластования.

РАССЛОЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД – нарушение связи между слоями горных пород в процессе их сдвижения.

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ – нарушение сплошности горной породы в результате тех или иных воздействий на неё.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД – способность горных пород сохранять равновесие при их обнажении.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК – способность обеспечивать их функционирование с эксплуатационными характеристиками в течение заданного срока службы.

ЗОНА РАЗГРУЗКИ – часть массива горных пород в зоне влияния выработки, в котором напряжения меньше, чем в нетронутом массиве.

ОХРАНА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК – комплекс дополнительных мероприятий, направленный на сохранность выработок в эксплуатационном состоянии в течение требуемого периода.

ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫРАБОТКИ – рабочее состояние, обеспечивающее выполнение выработкой своих функций (назначения) в течение срока службы при соблюдении требований Правил безопасности.

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД – управление физическими процессами, происходящими в горном массиве и приводящими к изменению физических свойств и напряжённно-деформированного состояния массива горных пород. Для упрощения этого понятия можно пользоваться терминами:

- «напряжённное состояние массива горных пород» – применительно к нетронутому массиву горных пород (при отсутствии в нём выработок);

- «напряжённно-деформированное состояние массива горных пород» (или просто горных пород) – для пород в зоне влияния выработки.

1.3. Механические свойства массива горных пород

1.3.1. Структурно-прочностные свойства пород

Структурно-прочностные свойства горных пород являются основной группой природных факторов, в зависимости от которых выбирается технология производства и параметры взрывных работ. Для оценки эффективности технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых широко используются классификации горных пород. В качестве классификационных признаков принимают свойства пород, определяющие параметры того или иного технологического процесса, а сами свойства пород в этом случае принято называть технологическими.

Обычно свойства пород характеризуются некоторым количественным показателем, по которому породы подразделяются на классы или категории. По категориям пород нормируются расход основных и вспомогательных материалов, работа технологического

оборудования, даётся количественная оценка принимаемым решениям, определяется область применения той или иной технологии. В целом такое деление пород упорядочивает технологические расчёты.

В настоящее время широко распространены классификации, имеющие региональное и ведомственное значения. Они используются в отраслевых нормативных и руководящих технических документах. Ведётся работа над созданием обобщённых (межведомственных) классификаций горных пород.

1.3.2. Этапы изучения механических свойств

Для решения задач механики горных пород необходимо располагать сведениями о механических свойствах их массива. В истории исследований свойств горных пород можно условно выделить несколько этапов.

На первом этапе интересовались горными породами как строительными материалами и определяли их физико-механические свойства в образцах. Теоретической основой служила механика деформируемых сред с постоянными физическими характеристиками.

Эти исследования показали, что горные породы, с которыми горнякам приходится иметь дело, а именно песчаники, алевролиты, аргиллиты, сланцы, известняки и угли, при простом нагружении ведут себя как жёсткие тела; они слабо сопротивляются растяжению, относительно хорошо – сжатию и склонны разрушаться по плоскостям сдвига. Величины деформаций горных пород незначительны и зависят от скорости приложения нагрузки. С увеличением скорости приложения нагрузки величины деформаций уменьшаются. Если же во время опыта на какое-то время прекратить увеличение нагрузки, породы продолжают деформироваться со скоростью, уменьшающейся с течением времени, т. е. наблюдаются деформации последствия и пластические деформации. Испытания образцов горных пород показывают, что прочностные и деформационные свойства их в различных направлениях не одинаковы. Все перечисленные свойства могут значительно меняться под влиянием температуры, влажности и в значительной степени зависят от размера зёрен слагающих породу минералов, количества и типа цемента, степени катагенеза горных пород.

Горные породы ведут себя по-разному в зависимости от интенсивности и распределения нагрузок, которым они подвергаются.

По отношению к простому сжатию эти тела – жёсткие и хрупкие, разрушающиеся, когда усилие достигает определённой величины, называемой пределом прочности на одноосное сжатие. Будучи подвергнутыми объёмному сжатию, породы не будут испытывать существенных деформаций и их физическое состояние не изменяется, какова бы ни была прочность на сжатие. Кроме этого, результаты испытания горных пород указывают на их значительную неоднородность.

Таким образом, итоги лабораторных исследований позволяют заключить, что породы в естественных условиях залегания являются телами жёсткими, хрупкими, полупругими, анизотропными и малооднородными.

На втором этапе значительно возросли требования к знаниям физико-механических свойств горных пород в связи с ростом масштабов инженерных работ и сооружений. Старые экспериментальные и теоретические основы механики деформируемых сред с постоянными физическими характеристиками оказались недостаточными, поэтому нельзя было ограничиваться только знаниями свойств горных пород в образцах. Необходимо было найти пути изучения и оценки прочностных и деформационных свойств горных пород в массиве и разработать новые теоретические основы и экспериментальную технику для анализа механических явлений в горных породах, залегающих в естественных условиях (в массиве).

В естественных условиях залегания приходится иметь дело с напластованиями может быть и небольшой мощности, но большой протяжённости. Обладают ли эти пласты в целом такими же свойствами, как и образцы, взятые из них для испытания? Уже с самого начала было установлено, что пласт осадочных пород не однороден, а состоит из слоёв с различными свойствами. Между свойствами пласта и свойствами слагающих его компонентов имеется существенное различие.

Вначале полагали, что для получения характеристики механических свойств горных пород в массиве достаточно обработать данные исследований образцов горных пород методами математической статистики, получить таким образом некоторые средние характерные или гарантированные значения и придать им смысл обобщённых расчётных показателей. В основе данного предложения лежит мнение, согласно которому свойства горных пород не за-

висят от их особенностей как геологических тел и конкретных условий залегания в массиве.

Теперь хорошо известна ошибочность такого мнения. Для испытаний в качестве пробы извлекается обычно некий первичный элементарный объём, из которого изготавливаются образцы. Испытаниями устанавливается реальная прочность образцов данного размера, распространить которую на более крупные геометрически подобные образцы не удастся.

Экспериментально установлено, что чем меньше размер образца, тем выше его прочность. Это явление получило название **масштабного эффекта**. Природа масштабного эффекта объясняется статистической теорией прочности, которая исходит из положения, что вероятность встречи трещины и других плоскостей ослабления в большом объёме больше, чем в меньшем, а следовательно, средняя прочность образцов большого объёма меньше. Именно это обстоятельство послужило причиной поисков некоторых переходных коэффициентов ослабления, используя которые можно приблизиться к оценке свойств горной породы в массиве.

Третий этап в развитии исследований физико-механических свойств горных пород связан с появлением проблем механики массивов горных пород. Известно, что в практике горного производства имеют дело не с отдельными горными породами, а их толщами, составляющими массивы. Свойства горных пород в массиве не могут отождествляться со свойствами массива пород в основном по двум причинам:

1. В строении массива пород обычно участвуют разнородные по физическим характеристикам горные породы.

2. Решающим фактором, определяющим свойства массива горных пород, является его СТРУКТУРА. Свойства и поведение горной породы в массиве зависят от некоторых особенностей (например, жёсткости или пластичности) вмещающих горных пород. Одна и та же порода при залегании в жёстких породах ведёт себя как пластичная, а при залегании в пластичных – как жёсткая (пески, соль, уголь). Таким образом, при оценке свойств и прогнозе поведения горных пород необходимо учитывать масштабный эффект и структуру горного массива.

1.3.3. Факторы, влияющие на механические свойства массива горных пород

В массиве горные породы находятся в объёмном, а на поверхностях обнажения – в плоском напряжённом состоянии.

В лабораторных условиях образец горной породы чаще всего испытывается на одноосное сжатие. Прочность же является функцией напряжённого состояния. Поэтому при суждении о прочности пород в условиях естественного залегания следует, с одной стороны, учитывать существование зон и поверхностей ослабления, вызывающих снижение прочности в сравнении с прочностью образцов, а с другой – напряжённость пород, ограниченность свободного деформирования их, вызывающие повышение прочности. Совместным влиянием этих разнонаправленных факторов и обуславливается прочность горных пород в массиве.

Это, однако, не означает, что на изменение прочности не влияют и другие факторы, в частности выветривание, гидрогеологические особенности и др. Более того, второстепенные в одном случае факторы могут оказаться решающими в другом, в зависимости от конкретной инженерно-геологической обстановки. Поэтому переходные коэффициенты от свойств горной породы в образце к свойствам породы в массиве должны получать надлежащее обоснование. Для этого прежде всего нужно выявить те основные факторы, которые необходимо учитывать при выборе того или иного значения коэффициента ослабления.

Основными факторами, влияющими на прочность и деформационные свойства горных пород в массиве, являются:

- неоднородность горных пород;
- анизотропия физических свойств;
- глубина залегания;
- форма и геологические условия залегания;
- характер вмещающих горных пород;
- дефекты внутреннего строения;
- обводнённость.

Неоднородность и анизотропия физических свойств относятся к числу важнейших инженерно-геологических характеристик горных пород в массиве. Однако это явление нельзя отождествлять с неоднородностью свойств горных пород в образце. Так, при большой неупорядоченной пестроте физических характеристик горных

пород в массиве порода может считаться квазиоднородной, тогда как в образце она обнаруживает резко выраженную неоднородность. В равной мере горная порода с интенсивной «вторичной» складчатостью или слоистостью в массиве является квазиизотропной; в образце такая порода анизотропна. Очевидно, в подобных случаях характеристики неоднородности и анизотропии свойств горных пород в образцах не могут быть перенесены для оценки данных явлений в массиве.

Известно, что с глубиной залегания изменяются механические условия деформирования горных пород в массиве. Вместе с тем изменяются и свойства самих горных пород вследствие повышения давления и температуры, воздействующих на горные породы в процессе их литификации и увеличения степени катагенеза. Так, по данным ВНИМИ, при прочих равных условиях увеличение глубины залегания на 100 м приводит к увеличению прочности горных пород на 5–10%. Замечено, что при невыдержанном (например, линзовидном) залегании горных пород с резко различными физическими характеристиками создаются условия для появления неуравновешенных напряжений в массиве горных пород. Дефекты внутреннего строения оказывают наибольшее влияние на свойства и поведение горных пород в массиве.

Среди этих дефектов особая роль принадлежит *трещиноватости*, а также поверхностям раздела иного рода (внутренняя слоистость). Трещиноватость вызывает значительное ослабление прочности породы в массиве, причём оно происходит в соответствии с увеличением удельной трещиноватости породы. Трещиноватость является также важнейшим фактором повышения размягчаемости горной породы. При правильной ориентировке системы трещин появляется трещинная анизотропия физических характеристик. Наконец, трещиноватость создаёт условия для появления каймы выветривания во всех элементарных блоках породы, что приводит к снижению прочности горной породы в массиве. *Обводнённость* горных пород в массиве также снижает их прочность, особенно пород с низкой степенью катагенеза. Глинистые породы под влиянием воды становятся очень пластичными и выдавливаются в горные выработки.

Таким образом, наблюдающиеся различия между свойствами горной породы в образце и в массиве обусловлены совокупным действием различных условий нагружения, масштабным эффектом, тре-

щиноватостью, структурой массива, обводнённостью и другими факторами. Рассмотрим влияние основных факторов более подробно.

Все факторы, влияющие на устойчивость бортов разрезов, можно разделить на четыре основные группы (рис. 1.2):

- инженерно-геологические;
- гидрогеологические;
- физико-географические;
- горнотехнические.



Рис. 1.2. Группы факторов, влияющие на устойчивость бортов разрезов

К наиболее существенным *инженерно-геологическим факторам* относятся [1, 2]:

1. Структурно-тектоническое строение массива. Условия залегания угольных пластов и вмещающих пород, наличие тектонических нарушений, трещин большого протяжения, поверхностей древних оползней и т. д.

От пространственной ориентировки крупных поверхностей ослабления в массиве горных пород (слоистости, сланцеватости,

разрывных тектонических нарушений, поверхностей древних оползней) в значительной степени зависят положение и форма поверхностей скольжения, что, в свою очередь, определяет схему расчёта устойчивости бортов. Этот фактор является одним из решающих при оценке устойчивости откосов, сложенных осадочными слоистыми породами при направлении падения слоёв и нарушений в сторону открытой горной выработки, так как по таким поверхностям ослабления сцепление незначительно, а углы трения существенно меньше, чем по другим направлениям.

2. Прочность горных пород в прибортовом массиве. Основными характеристиками прочности пород в массиве при оценке устойчивости откосов являются показатели сопротивления сдвигу или срезу (сцепление и коэффициент внутреннего трения), которые определяются генезисом пород, степенью литификации осадочных пород, их литолого-петрографическими особенностями (минеральным и гранулометрическим составами, структурой и текстурой в образце, составом цемента в осадочных сцементированных породах, плотностью сложения в рыхлых несвязных породах – песках, галечниках, гравелистых породах, плотностью сложения и влажностью в мягких связных – глинистых породах); сцепление в массиве всех трещиноватых пород зависит от прочности (сцепления) пород в образце, интенсивности и характера трещиноватости пород (формы и размера структурных блоков), а также сцепления пород по контактам слоёв и другим поверхностям ослабления.

3. Характеристики сопротивления сдвигу по контактам пород и другим поверхностям ослабления, которые зависят от характера контакта и контактирующих поверхностей (контакты открытые, закрытые, с заполнителем; поверхности ровные, неровные, гладкие, шероховатые).

4. Деформационные характеристики пород, их длительная прочность.

5. Склонность пород в откосах к изменению свойств во времени (набухание, разуплотнение, выветривание, выщелачивание).

Влияние *гидрогеологических факторов* сводится к следующим трем направлениям [3, 4]:

А. Изменение напряжённого состояния прибортового массива горных пород: гидродинамическое давление и гидростатическое взвешивание.

Суммарное влияние гидростатического взвешивания и гидродинамического давления проявляется как гидростатическое давление, действующее по поверхности скольжения и направленное по нормали к ней; гидростатическое давление снижает эффективные напряжения в массивах горных пород и способствует уменьшению сил, удерживающих массивы в устойчивом состоянии; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление оказывают существенное воздействие на устойчивость борта в целом при условии, что значительная часть призмы возможного оползания находится ниже депрессионной (пьезометрической) кривой, или же при больших перепадах напоров в прибортовой зоне вблизи откоса; кроме силового воздействия гидростатические и гидродинамические силы способствуют набуханию и снижению прочности глинистых пород, вскрываемых горными работами.

Б. Снижение прочности пород, склонных к набуханию.

Значительное влияние на снижение прочности пород в процессе отработки полезного ископаемого оказывают поверхностные и подземные воды; под влиянием поверхностных вод (в основном дождевых и талых, а также подземных, стекающих по поверхности откосов при отсутствии организованного их отвода) песчано-глинистые породы разуплотняются, увлажняются и набухают, что может приводить к оползанию слагаемых ими уступов.

В. Механический вынос и снос – поверхностная эрозия, оплывание, суффозия и другие фильтрационные деформации.

К группе *физико-географических факторов* относятся климатические условия, орогидрография участка разреза и прилегающей к нему территории, сейсмичность района, наличие и характер распространения многолетнемерзлых пород.

К климатическим факторам, оказывающим влияние на устойчивость откосов, относятся: количество атмосферных осадков, характер дождей, мощность снегового покрова и продолжительность его таяния (с этим фактором связано питание водоносных горизонтов, развитие деформаций); температурный режим района, глубина сезонного промерзания и оттаивания пород оказывают влияние на интенсивность выветривания слабостойких пород, образование

осыпей и разрушение берм; режим ветров, их сила, продолжительность и направление влияют на устойчивость песчаных откосов и на выветривание пород. Рельеф района существенно влияет на характер стока атмосферных осадков и обводнение пород в окрестности разреза.

К основным *горнотехническим факторам* этой группы относятся: способы ведения буровзрывных работ, форма выемки в плане, высота и профиль борта, параметры элементов уступов, подработка прибортового массива пород подземными горными выработками при комбинированном способе отработки месторождения.

На устойчивость откосов уступов, сложенных скальными и полускальными породами, и на величину углов наклона бортов наибольшее влияние оказывают способ производства буровзрывных работ, параметры уступов и берм (ширина берм, частота их расположения). Степень влияния взрывных работ на уменьшение прочности массива горных пород зависит от способа взрывания, расстояния от места взрыва и структуры массива.

На устойчивость рыхлых или выветрелых пород, склонных к набуханию или размоканию, влияют профиль площадок уступов, обеспечивающий сток дождевых и талых вод, и своевременная заоткоска уступов.

Форма выемки в плане определяет наличие в различных горно-геологических условиях сил бокового распора, влияющих на предельные параметры устойчивых откосов.

Подработка бортов разрезов подземными горными выработками приводит к уменьшению прочности массива, что необходимо учитывать при определении общих углов наклона бортов или углов откосов уступов. Это влияние зависит от системы разработок, свойств горных пород и характера их деформаций при подработке.

В зависимости от структурного и литологического строения массива горных пород степень влияния перечисленных выше факторов на устойчивость бортов различна.

Объём и методика инженерно-геологических работ определяются в зависимости от степени сложности геологического строения месторождения, а также стадии его освоения (разведка, проектирование, строительство и эксплуатация).

Методика гидрогеологических исследований зависит от гидрогеологических условий месторождения и содержится в специальной литературе [4, 5].

1.3.4. Трещиноватость горных пород в массиве

Трещиноватость горных пород – это совокупность трещин различного происхождения и различных размеров, их формы и пространственной ориентировки.

Трещиной называют разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решётке (т. е. более 10^{-9} м).

По происхождению трещиноватость горных пород разделяется на нетектоническую, тектоническую и планетарную.

Нетектоническая трещиноватость горных пород – это следствие растрескивания горных пород в процессе охлаждения (для магматических пород), уплотнения, дегидратации (для осадочных горных пород). К нетектонической трещиноватости относится также технологическая трещиноватость, вызванная ведением горных работ, трещиноватость горных пород в зоне влияния горной выработки, вызванная БВР, горным давлением и т. д.

Тектоническая трещиноватость развивается в горных породах в связи с тектоническими процессами, т. е. вызывается горо- и складкообразованием, глубинными подвижками платформ.

Планетарная трещиноватость связана с напряжениями, вызванными изменением частоты вращения Земли и её формы.

В. В. Ржевский и Г. Я. Новик классифицируют трещины по следующим пяти признакам: степени раскрытия, размерам, форме, геометрическому взаимоотношению трещин со слоистостью и углом наклона к горизонтали. В справочниках взрывника приводятся несколько различных классификаций горных пород по трещиноватости.

В указаниях ВНИМИ приводится классификация горных пород в зависимости от интенсивности трещиноватости, то есть от размеров кусков, на которые делится керн или, что тоже самое, от расстояния между трещинами. Чем интенсивнее трещиноватость, тем меньше значение коэффициента структурного ослабления массива.

Из сказанного вытекает, что в настоящее время нет единой классификации горных пород в массиве по трещиноватости. Анализ всех названных классификаций позволяет принять для практических целей классификацию горных пород в массиве по трещиноватости, предложенную ВНИМИ и дополненную названиями категорий пород (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классификация горных пород в массиве по трещиноватости

Категория пород по трещиноватости	Расстояние между поверхностями ослабления, м	Коэффициент структурного ослабления K_C
Практически монолитные	$> 1,0$	
Малотрещиноватые	$0,5-1,0$	0,8
Среднетрещиноватые	$0,3-0,5$	0,6
Трещиноватые	$0,1-0,3$	0,4
Весьма трещиноватые	$< 0,1$	0,3

На основе опыта ведения открытых горных работ, теоретических и экспериментальных исследований установлено, что эффективность производственных процессов в значительной степени определяется структурно-прочностными, упругими и акустическими характеристиками пород. Результатом изучения закономерностей их изменения во взаимосвязи с геолого-генетическими признаками является классификация вскрышных пород разрезов по блочности (табл. 1.2).

В соответствии с этой классификацией все породы угольных разрезов разделены на пять категорий. Каждая категория характеризуется как свойствами «в куске» (плотность, временное сопротивление сжатию), так и свойствами массива (диаметр средней естественной отдельности, содержание фракции +1000 мм, модуль упругости, акустическая жёсткость). Классификация используется в отраслевых нормативно-методических документах при обосновании параметров и показателей технологических процессов и схем ведения горных работ.

Таблица 1.2

Классификация вскрышных пород угольных разрезов по блочности

Категория пород по блочности	Блочность. Петрографическая характеристика основных литотипов пород	Физико-механические свойства пород		Структурные свойства массива	Упругие и акустические свойства массива	
		плотность, т/м ³	временное сопротивление сжатию, МПа	диаметр средней естественной отдельности, м	модуль упругости, МПа	акустическая жёсткость, $\frac{H \cdot c}{cm^3 \cdot 10^5}$
I.	Мелкоблочные. Алевролиты, аргиллиты, углистые песчаники на глинистом цементе	2,3–2,45	<40	<0,8	<20	<3
II.	Среднеблочные. Аргиллиты, алевролиты на глинистом, глинисто-серицитовом цементе. Переслаивание песчаника с алевролитом. Песчаники на глинистом, серицитовом, гидрослюдистом цементе. Углистые и выветрелые породы	2,4–2,5	40–60	0,8–1,2	20–35	3–3,5
III.	Крупноблочные. Алевролиты на карбонатном и карбонатно-глинистом цементе. Переслаивание песчаника с алевролитом. Разнозернистые песчаники на глинистом цементе с примесью серицита, кремнезема, карбоната. Конгломераты и гравелиты	2,43–2,52	60–80	1,2–1,6	35–50	3,5–4
IV.	Весьма крупноблочные. Алевролит на карбонатном цементе. Разнозернистые песчаники с повышенным содержанием в цементе кремнистого и карбонатного материала. Конгломераты и гравелиты	2,45–2,55	80–100	1,6–2	50–65	4–4,5
V.	Исключительно крупноблочные. Алевролит карбонатный. Разнозернистые песчаники с высоким содержанием кремнистого и карбонатного материала. Конкреционные включения	2,5–2,6	>100	>2	>65	>4,5

В производственных условиях отнесение вскрышной породы к той или иной категории по блочности можно выполнить по одному из двух классификационных признаков – прочности породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ (МПа) или диаметру средней по объёму естественной отдельности d_e (м). Исторически сложилось так, что с этой целью используется также введённый проф. М. М. Протодьяконовым безразмерный показатель коэффициент крепости породы f (ед.), численное значение которого составляет

$$f = 0,1\sigma_{сж}.$$

Между крепостью породы по шкале проф. М. М. Протодьяконова и диаметром средней естественной отдельности существует статистически обоснованная взаимосвязь:

$$d_e = 0,2f$$

или

$$d_e = 0,02\sigma_{сж}.$$

В связи с этим, в качестве основного классификационного признака при отнесении породы к той или иной категории по блочности может использоваться любой из вышеперечисленных показателей.

1.3.5. Влияние обводнённости на прочностные свойства горных пород

Обводнённость горных пород приводит к снижению их прочностных свойств. При одинаковой степени метаморфизма (катагенеза) под влиянием влаги прочность снижается в меньшей степени у песчаников, а в большей у песчаных и в наибольшей – у глинистых сланцев. Для одной разновидности пород наибольшее снижение прочности происходит при малой степени метаморфизма (угли марок Д, Г) и наименьшее при максимальной степени метаморфизма (марка А угля).

В водонасыщенном состоянии прочность алевролитов и аргиллитов снижается в 1,5–3,0 раза. Глушко В. Т. и др. приводят качественную оценку характера разрушения образцов пород под воздействием воды по пяти основным формам:

I – образцы не разрушаются в воде;

II – образцы расслаиваются на крупные отдельности параллельно напластованию;

III – образцы расслаиваются и растрескиваются на относительно крупные отдельности параллельно и перпендикулярно напластованию;

IV – образцы растрескиваются и расслаиваются на мелкие отдельности параллельно и перпендикулярно слоистости;

V – образцы пород превращаются в бесформенную массу.

Эти же авторы отмечают, что в преимущественном большинстве склонны к размоканию глинистые породы – глинистые и песчано-глинистые сланцы, причем характер их размокания зависит от степени метаморфизма. В зоне распространения длиннопламенных и газовых углей глинистые породы представляют собой слабометаморфизованную массу, которая легко размокает в воде (форма разрушения IV и V). В районах распространения углей марок Ж, К глинистые породы в значительной мере уплотнены, слабо или совсем не размокают в воде (форма разрушения II–III). В зонах распространения углей марок ОС, Т глинистые породы, как правило, не размокают в воде (форма I).

Исключением являются только трещиноватые глинистые и песчаные сланцы, а также некоторые разновидности глинистых пород (так называемые «кучерявчики») и углистые сланцы комковатой текстуры. Наиболее устойчивыми к действию воды являются песчаники, которые не разрушаются в воде в течение 15–20 суток независимо от приуроченности их к той или иной марке углей. Увеличение влажности горных пород с 2,5 до 7,1% приводит, по данным работы Зборщика М. П., к уменьшению угла внутреннего трения с 43 до 18°. Это необходимо учитывать при расположении выработки в обрушенных и уплотнённых породах, так как в этом случае уменьшается сопротивляемость слоя мелкодробленых пород выдавливанию в выработку.

Несколько иной подход к оценке снижения прочности горных пород в водонасыщенном состоянии приводится в Горной энциклопедии. В ней дано понятие ВОДОПРОЧНОСТИ горных пород как способности сохранить прочность при взаимодействии с водой. Снижение прочности пород при насыщении водой объясняется проникновением в её мельчайшие пустоты (поры и трещины), расклиниванием трещин водой и набуханием отдельных минералов, что и приводит к разупрочнению породы. Водопрочность оценивается коэффициентом размягчаемости в воде K_{sof} (размокаемости),

равным отношению предела прочности при сжатии породы в водонасыщенном состоянии R_c к её пределу прочности в воздушно-сухом состоянии $R_{c.вс}$.

По величине коэффициента размягчаемости породы подразделяются на:

- неразмягчаемые (водопрочные или водоустойчивые) при $K_{sof} \geq 0,75$ – базальты, граниты;
- размягчаемые (пониженной водоустойчивости) при $K_{sof} < 0,75$.

Предел прочности породы на одноосное сжатие с учётом обводнённости и срока службы выработки R_ϕ можно определить после преобразования формулы

$$R_\phi = m R_c,$$

где R_c – предел прочности породы в образце на одноосное сжатие, МПа; m – коэффициент стойкости.

Рекомендуемые значения коэффициента стойкости пород приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Значение коэффициента стойкости горных пород (m)

Срок службы выработки, лет	до 5	5–10	Более 10
Значение m в породах сухих (обводнённых)	1,0 (0,95)	0,9 (0,8)	0,8 (0,7)

Этот метод учитывает обводнённость пород, срок воздействия воды на них, однако предполагает одинаковую степень снижения прочности для различных типов пород и не учитывает степень метаморфизма (катагенеза) горных пород. Таким образом, прочность горной породы зависит от типа (литологической разновидности) породы, степени её метаморфизма (катагенеза), степени обводнённости, времени контакта породы с водой и т. д.

В настоящее время нет классификации, учитывающей все эти факторы, поэтому при отсутствии экспериментальных данных можно пользоваться рекомендациями ВНИМИ, а именно: при длительном контакте пород с водой (более 5 лет) и притоке воды в выработку $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и более предел прочности пород на одноосное сжатие снижается для песчаников на 20% ($K_W = 0,8$), алевролитов на 40% ($K_W = 0,6$) и аргиллитов на 50% ($K_W = 0,5$). Для глинистых сланцев

(аргиллитов), вмещающих слабоморфизированные угли марок Д и Г, снижение прочности может быть на 70–80% ($K_W = 0,3–0,2$).

Необходимо учитывать, откуда поступает вода: если из кровли выработки, то снижение пород происходит по кровле, откосу и почве выработки, а если из подошвы выработки, то только пород, залегающих в подошве. С учётом трещиноватости и обводнённости горных пород в массиве их прочность R определяется по формуле

$$R = K_W m R_c,$$

где кроме ранее указанных величин K_W – коэффициент, учитывающий снижение прочности пород в результате их увлажнения.

1.4. Основные способы управления устойчивостью открытых горных выработок

Механическими процессами в породных массивах вокруг открытых выработок разрабатываемых месторождений полезных ископаемых управляют различными технологическими и техническими способами. Основными из них являются следующие:

- обоснование и выбор параметров (углов откосов, высоты и др.) бортов и уступов, обеспечивающих их устойчивость на протяжении всего срока эксплуатации;

- расположение внешних вскрывающих выработок в прочных, устойчивых горных породах;

- выбор направления и скорости подвигания фронта горных работ в карьерном поле, исходя из структурно-текстурных особенностей строения вмещающих пород и полезного ископаемого;

- выбор способа и технологии взрывных и очистных работ и типов выемочного и транспортного оборудования, исключающих нарушение устойчивости бортов и уступов;

- обоснование и выбор последовательности отработки карьерного поля с учётом сложности его строения, степени ослабленности пород массива трещинами, другими макродефектами и исходя из устойчивости откосов;

- укрепление откосов;

- осушение обводнённых массивов горных пород (полезных ископаемых), защита карьеров от подземных и поверхностных вод.

Устойчивость нерабочих (стационарных) и рабочих бортов и уступов карьеров на протяжении всего времени их функционирования обеспечивается при выполнении условий:

$$\alpha_{\text{ф}} \leq \alpha_{\text{пр}} ;$$

$$H_{\text{ф}} \leq H_{\text{пр}} ,$$

где $\alpha_{\text{ф}}$ и $\alpha_{\text{пр}}$ – угол откоса борта (уступа) соответственно фактический и предельный; $H_{\text{ф}}$ и $H_{\text{пр}}$ – высота борта (уступа) соответственно фактическая и предельная.

Рабочие борта и уступы стабильно устойчивы, когда фактический коэффициент $n_{\text{ф}}$ их устойчивости больше предельного коэффициента $n_{\text{пр}}$. Коэффициент определяется обычно в зависимости от поверхности скольжения пород (полезного ископаемого).

Параметры бортов и уступов в карьерах рассчитываются в основном по действующим методическим указаниям. При этом надёжность расчётных параметров зависит главным образом от полноты и надёжности данных об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, разрабатываемых полезных ископаемых и вмещающих массивов горных пород.

Получение достоверной информации об условиях инженерно-геологической и тектонической нарушенности массива является наиболее сложной задачей, которая решается при оценке геомеханических процессов и устойчивости откосов.

Для оценки устойчивости откосов инженерными методами используют механические характеристики массива, которые определяются обычно на образцах в лаборатории, а затем и непосредственно в натуральных условиях. Исходя из состояния и механических свойств пород массивов первоначально устанавливается положение в них поверхностей, по которым откосы разрушаются в случае потери ими устойчивости.

Поверхности разрушения (скольжения) могут быть трёх типов:

- естественного происхождения поверхности ослабления массива, обусловленные геологическим строением массивов, структурой, текстурой и нарушенностью пород;
- поверхности, образующиеся в процессе разрушения массива;
- комбинированные, образующиеся в результате частичного сдвига призмы обрушения по естественной и вновь образованной поверхностям.

Нерабочие борта карьера можно рассчитывать в статике. В отличие от нерабочих бортов рабочие борта следует рассчитывать в динамике. Если призму возможного обрушения в нерабочем борту можно рассматривать как геометрическое тело, ограниченное фиксированной поверхностью скольжения, то на рабочем борту призма возможного обрушения в процессе разработки постоянно смещается в глубину массива. Расчёт устойчивости рабочего борта в динамике, т. е. по состоянию на каждый характерный момент разработки, позволяет проанализировать все возможные ситуации, выявить участки, опасные по возникновению деформаций, и предусмотреть профилактические меры по их предупреждению. Для этого необходимо иметь полную информацию о геологическом строении массива, гипсометрии пластов, структуре и текстуре массива, физико-механических свойствах пород.

Существенное повышение устойчивости рабочего борта (уступа) обеспечивается при направлении подвигания фронта горных работ по падению слоёв, трещин и других значительных поверхностей ослабления в породных массивах и полезном ископаемом. Во всех случаях необходимо стремиться вести горные работы таким образом, чтобы угол встречи поверхностей ослабления пород массива с бортом (уступом) был максимальным. При угле их встречи, близком или равном нулю, высока опасность деформаций и обрушений пород бортов.

На месторождениях с горизонтальным залеганием слоёв пород направление разработки не влияет на устойчивость откосов. Переменными параметрами являются высота и угол наклона борта (уступа). Высоту уступа целесообразно регулировать при использовании экскаваторов с верхним черпанием, а угол откоса при использовании экскаваторов с нижним черпанием.

В связи с большим сроком эксплуатации капитальных траншей карьеров их следует (по возможности) располагать в прочных породах, а углы откоса боков обосновывать с учётом длительной прочности вмещающих пород.

Значительное влияние на механические процессы в породных массивах и на устойчивость бортов и уступов карьеров оказывают буровзрывные работы. Взрывы скважинных зарядов вызывают за пределами взрываемого блока деформации поверхности уступов и пород массива. Упругие колебания при взрывах зарядов являются существенной дополнительной нагрузкой на породы массива.

Под их воздействием уступы, находящиеся в равновесном состоянии, близком к предельному, могут опасно деформироваться и потерять устойчивость даже на больших расстояниях от места взрывных работ.

Снижение влияния вредного действия взрывов на породные массивы может достигаться ограничением массы одновременно взрывааемых зарядов; применением контурного взрывания наклонных скважин короткозамедленного взрывания; созданием на пути распространения сейсмических волн экранизирующих поверхностей; предварительной заоткоской уступов и их укреплением или упрочнением.

Средства экранирования (искусственные щели, амортизирующие слои и др.) поглощают часть энергии взрыва или препятствуют распространению волн напряжений и сейсмических волн за контурный массив.

1.4.1. Укрепление откосов

Укрепление откосов карьеров при разработке месторождений со сложными горно-геологическими условиями, на больших глубинах, а также в условиях, когда разнос борта практически осуществить трудно или невозможно, является эффективным способом управления деформационными процессами в породах приоткосных зон и повышения их устойчивости.

На глубоких карьерах укрепление откосов осуществляется в основном с целью поддержания транспортной связи между отдельными участками нерабочего борта карьера и увеличения общего угла наклона борта. В результате значительно сокращается объём вскрышных пород в конечных контурах карьерного поля.

При длительном стоянии нерабочих уступов в предельном положении возможны локальные обрушения берм, так как борта карьера обычно пересекают различно ориентированные нарушения и места с различной прочностью пород и полезного ископаемого.

Необходимость укрепления локальных участков бортов карьера может быть связана с аномалией в залегании слоёв, ослаблением массива крупными разломами, интенсивным выветриванием пород и др. Накопленный практический опыт и технико-экономические расчёты показывают высокую эффективность укрепления бортов в сравнении с их выполаживанием.

1.4.2. Классификация способов укрепления откосов

По принципу воздействия на укрепляемый массив способы укрепления откосов на карьерах делятся на четыре основные группы (таблица 1.4).

Таблица 1.4

Характеристика способов укрепления откосов

Группы способов	Условия применения
I. Механическое укрепление с помощью:	
железобетонных свай и шпон	Массивы со слаборазвитой трещиноватостью, подсечённые поверхностями ослабления, падающими в выработанное пространство под углами 20–50°
штанг и гибких тросовых тяжей	Крупноблоковые маловыветрелые массивы, сланцевые слоистые твёрдые породы с падением в сторону выемки под углами 40–60°
защитных стенок	Сильнотрещиноватые, легко выветривающиеся скальные и полускальные породы
железобетонных подпорных стенок и контрфорсов	Нарушенные массивы сложной структуры с переслаиванием пород, рыхлые увлажнённые породы, склонные к оползанию
II. Упрочение пород с применением:	
– цементации, нагнетания укрепляющих растворов из полимерных материалов, смолизации	Трещиноватые скальные породы с трещинами, свободными от глинистых материалов, крупно- и мелкозернистые пески
– силикатизации и электросиликатизации	Песчаные и лёссовые породы при коэффициенте фильтрации 0,1–5 м/сут
– электрохимической обработки (электроосмос)	Глинистые водонасыщенные породы при коэффициенте фильтрации менее 0,01 м/сут
– термической обработки	Лёссовые, суглинистые и глинистые породы с коэффициентом воздухопроницаемости 0,2–0,4 см/с
– энергии взрыва	Глинистые, лёссовые, супесчаные породы с коэффициентом пористости более 0,1
III. Укрепление с помощью изолирующих и защитных покрытий: набрызг-бетон по металлической сетке, смолизация, агрономелиоративные мероприятия	Сильнотрещиноватые породы, склонные к интенсивному выветриванию или выщелачиванию; песчаные и гравелистые откосы, песчано-глинистые откосы Сложные инженерно-геологические условия
IV. Комбинированное укрепление пород – сочетание механического укрепления с упрочением или изоляцией пород	

1.4.3. Механические способы укрепления откосов

Сущность укрепления откосов механическими способами состоит в перераспределении напряжений в породах массива приоткосной зоны. Воспринимая давление призмы обрушения, укрепительные конструкции и сооружения передают это давление устойчивой части массива, находящейся за пределами зоны опасных деформаций и обрушений пород. Необходимым условием применения механических способов укрепления откосов является наличие прочного, устойчивого массива за поверхностью или зоной обрушения (скольжения) или же в основании откоса.

В качестве средств механического укрепления откосов применяются одиночные конструкции (анкеры, тросовые тяжи, сваи, шпона и др.) и сплошные сооружения (подпорные и защитные стенки, контрфорсы). Первые применяются преимущественно для укрепления откосов скальных и полускальных пород, вторые – для предупреждения оползней и укрепления откосов глинистых и фильтрующих пород. Укрепление откосов является обыденной операцией в управлении геомеханическими процессами.

Существует множество вариантов механических способов укрепления карьерных откосов. На рис. 1.3 приведены схемы наиболее широко применяемых механических способов укрепления карьерных откосов.

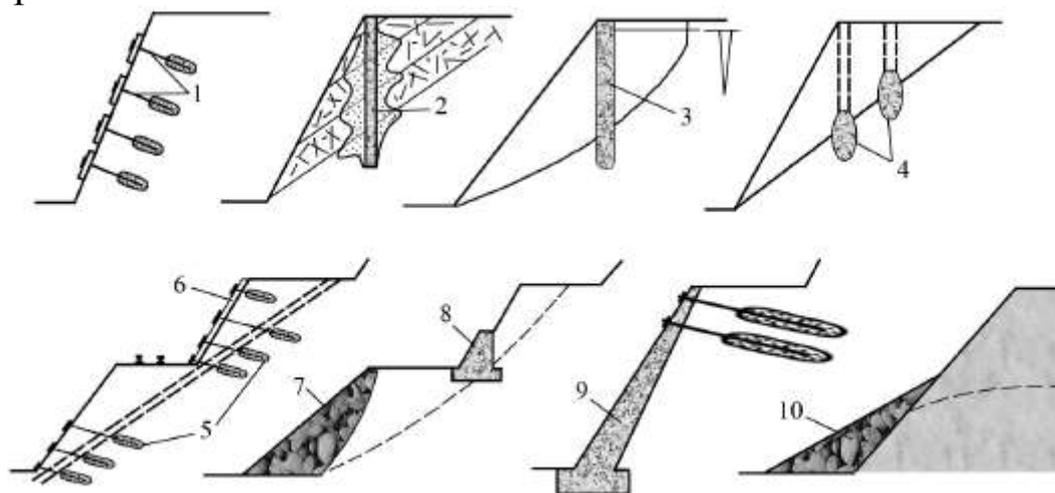


Рис. 1.3. Механические способы укрепления карьерных уступов: 1 – анкерами; 2 – железобетонными сваями с цементацией пород вокруг свай; 3 – сваями большого диаметра, работающими на изгиб; 4 – железобетонными шпонами; 5 – анкерными тяжами (штангами); 6 – железобетонными плитами (наборными стенками); 7 – контрфорсом, 8 – подпорной гравитационной стенкой; 9 – подпорно-защитной заанкерванной стенкой; 10 – пригрузкой из фильтрующего материала (контрбанкетты)

Анкеры целесообразно применять для укрепления откосов маловыветренных твёрдых горных пород крупнообломочного слоистого и сланцеватого строения. Необходимую длину стержней определяют мощностью ослабленной зоны, требующей укрепления, и ограничиваются технологическими возможностями их установки. Максимальная длина анкеров, рекомендуемая к применению в карьерах, составляет 4–5 метров. Высокой прочностью закрепления обладают сталеполимерные анкеры, анкеры, замковая часть которых замоноличена цементно-песчаным раствором. Конструкции наиболее распространенных в инженерной практике анкеров показаны на рис. 1.4.

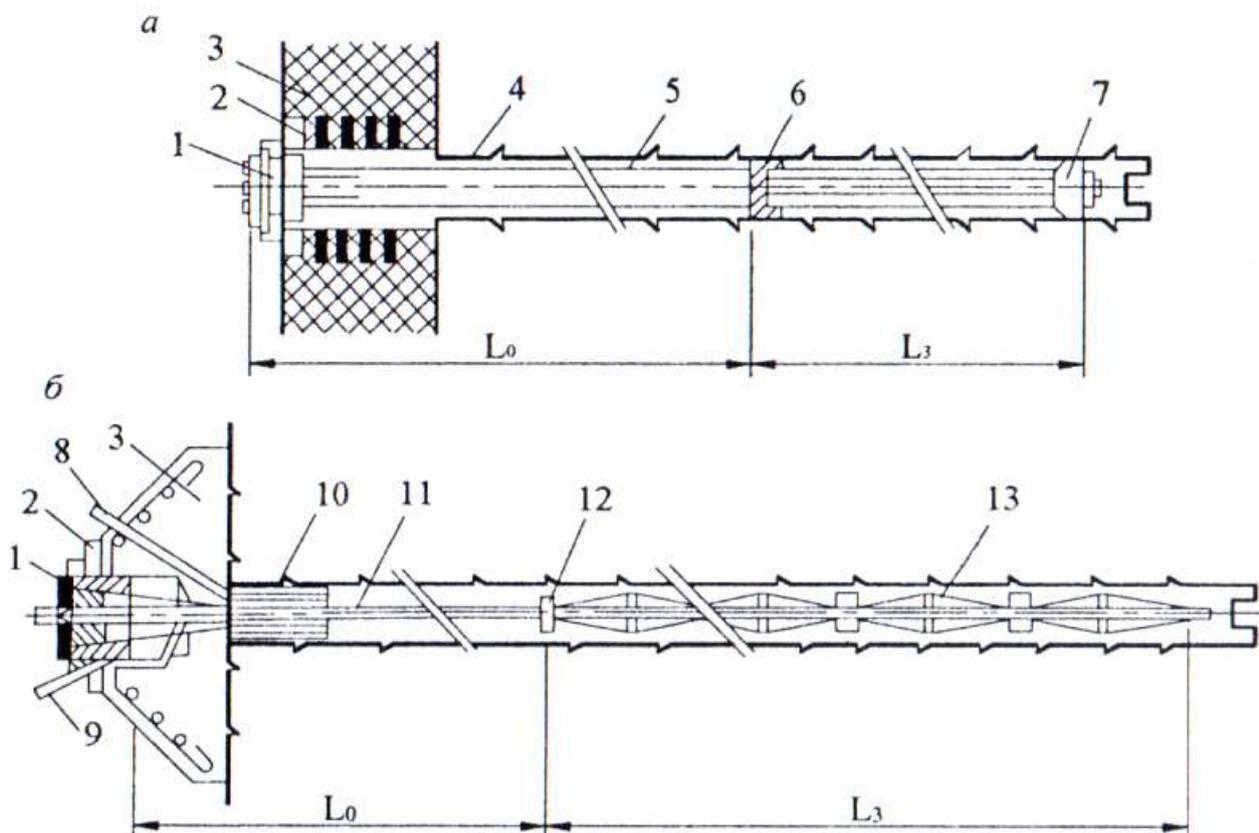


Рис. 1.4. Конструкции наиболее распространенных в инженерной практике анкеров: *а* – системы BBRV; *б* – системы VSL; 1 – подвижной оголовок анкера; 2 – опорная плита; 3 – бетонный упор; 4 – скважина; 5 – стальные стержни; 6 – пневматический тампон; 7 – неподвижный оголовок анкера; 8 и 9 – врубки соответственно для первичной и вторичной цементации анкера; 10 – уплотнение; 11 – пластиковая оболочка анкера; 12 – конец пластиковой оболочки; 13 – волнистый хвост анкера (зона заделки); L_0 – свободная длина анкера; L_3 – зона заделки

Достоинствами способа укрепления откосов анкерами являются простота установки анкеров, высокая надёжность и эффективность их в работе, низкая себестоимость, широкий диапазон условий, в которых они применимы.

Железобетонные сваи – наиболее перспективный вид крепи неустойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления, падающими в сторону выработки под углами. На рис. 1.5 приведены схемы установки свай.

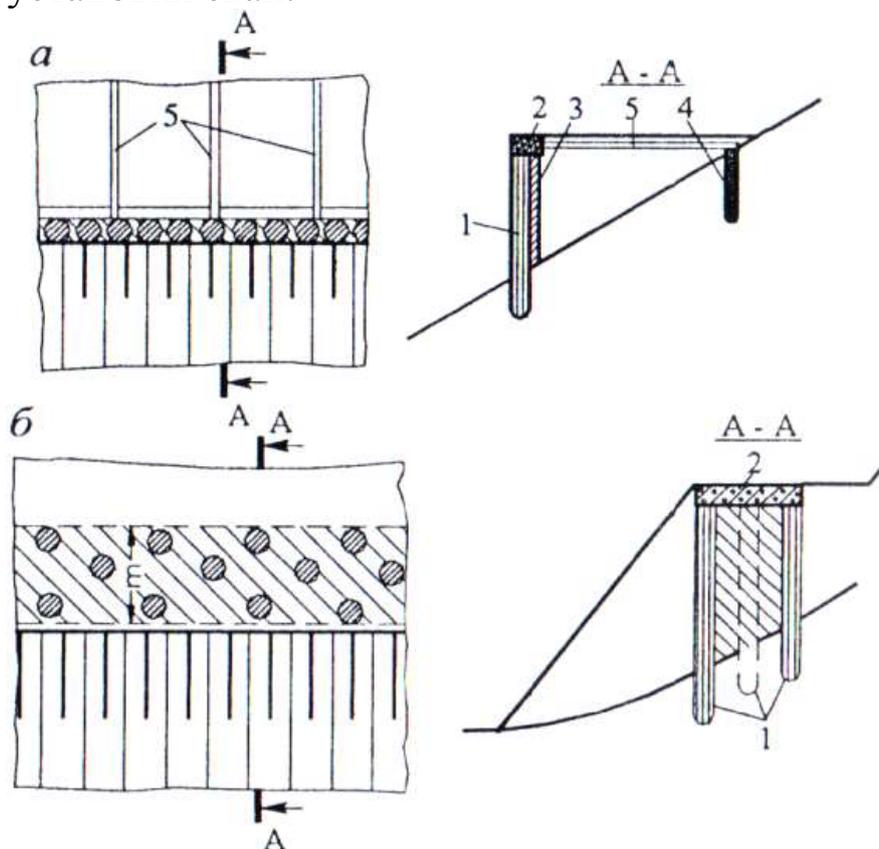


Рис. 1.5. Схемы установки свай: *a* – в один ряд; *б* – в несколько рядов; 1 – свая; 2 – железобетонный ростверк; 3 – затяжка; 4 – анкер; 5 – анкерная тяга

Основными достоинствами свайной крепи являются высокая несущая способность свай; простота их возведения; полная механизация работ; возможность укрепления участков значительной протяжённости и большой мощности с глубоким залеганием поверхностей скольжения.

Для укрепления уступов необходимо, чтобы свая была установлена ниже ослабленной зоны на глубину, обеспечивающую устойчивость. Применяются сваи круглой, квадратной, прямоугольной сплошной и трубчатой форм диаметром от 0,2 до 1 м с жёсткой или гибкой арматурой.

В зависимости от характера деформирования откоса, прогнозируемого давления пород, склонных к обрушению, и прочности свай последние устанавливают в один или несколько рядов.

По характеру работы в деформирующемся массиве различают сваи, работающие на деформации среза и изгиба. Сваи, работающие на срез, имеют обычно сплошное поперечное сечение, а на изгиб – трубчатое сечение.

Штанги и тросовые тяжи применяются для укрепления откосов маловыветрелых скальных и полускальных пород крупноблочной, слоистой или сланцевой структуры с падением трещин в сторону выемки под углом 25–55°.

Длина штанг составляет 5–6 м. Штанги, работающие на срез, имеют увеличенный диаметр. Их устанавливают нормально к поверхности скольжения и изготавливают из материалов с повышенным сопротивлением срезу.

Штанги и тросовые тяжи, работающие на растяжение, устанавливают либо с предварительным натяжением, либо без натяжения, возникающего по мере деформации массива, т. е. с самонатяжением. Эффективная работа штанг с самонатяжением достигается при их установке под минимальным углом к поверхности скольжения (рис. 1.6).

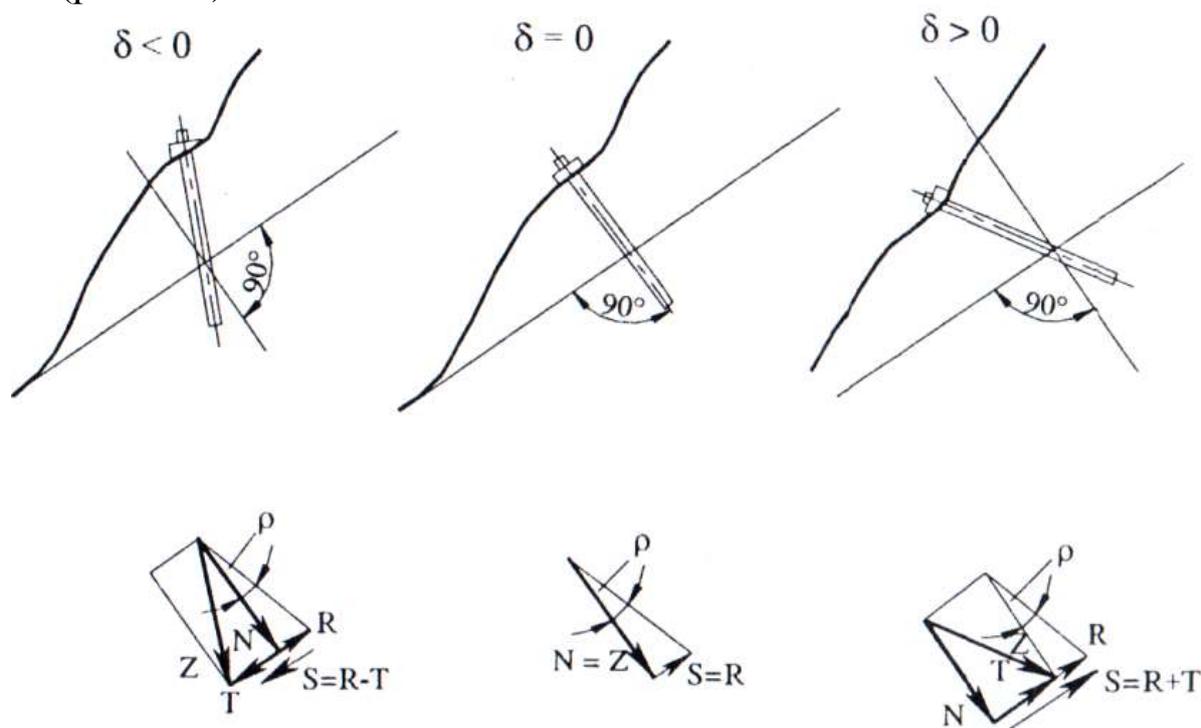


Рис. 1.6. Схема рационального расположения штанг на откосе уступа

Подпорные стенки относятся к сплошным сооружениям. Они создают единый фронт сопротивления сдвигающимся горным породам, поэтому их применяют для стабилизации оползней глинистых пород.

Подпорные стенки могут оказывать сопротивление оползню только в том случае, если ширина их больше фронта распространения оползня, а высота достаточна, чтобы предотвратить обрушение пород через стену; основание (фундамент) стены должно находиться вне зоны действия оползня, в горных породах, обладающих достаточным сопротивлением сдвига. Для удовлетворения этого требования подпорные стены сооружаются на прочном скальном или полускальном основании (рис. 1.7, а) или на свайных фундаментах (рис. 1.7, б). Во избежание скопления воды за подпорной стеной и тем самым создания дополнительных напоров в подпорных стенах на определённом расстоянии устанавливаются дренажные трубы.

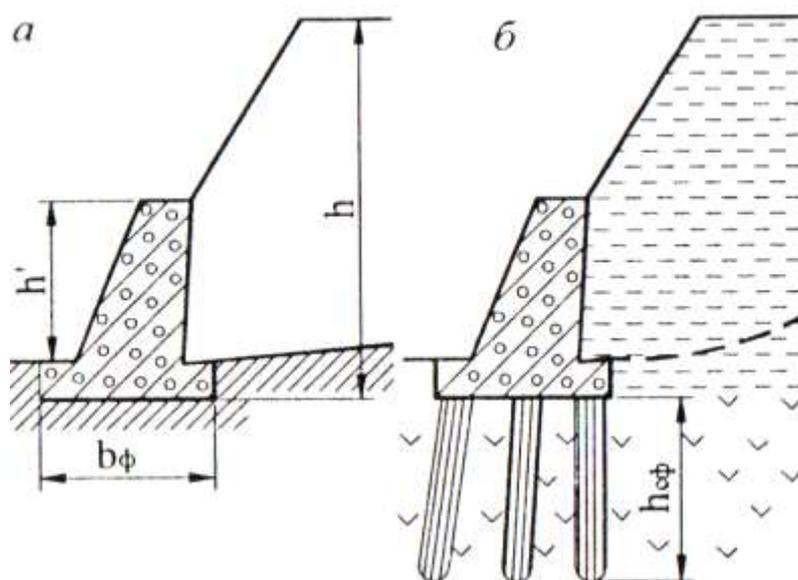


Рис. 1.7. Схема подпорной стенки на скальном основании (а) и свайном фундаменте (б): h и h' – высота уступа и стенки соответственно; b_{ϕ} – ширина фундамента; $h_{сф}$ – глубина свай фундамента

Подпорно-защитные стенки сооружают для предотвращения вывалов, обрушений небольшого объёма и осыпей в откосах, сложенных интенсивно выветривающимися породами. Их устойчивость обеспечивают заделкой фундамента в основание укрепляемого уступа и анкерровкой верхней части стенки (рис. 1.8, а).

Тонкие *подвесные стенки* (рис. 1.8, б) толщиной 0,05–0,1 м сооружают для предотвращения образования осыпей. Фундаментов

они не имеют. Металлическую сетку навешивают на анкеры длиной 1,5–2,5 м.

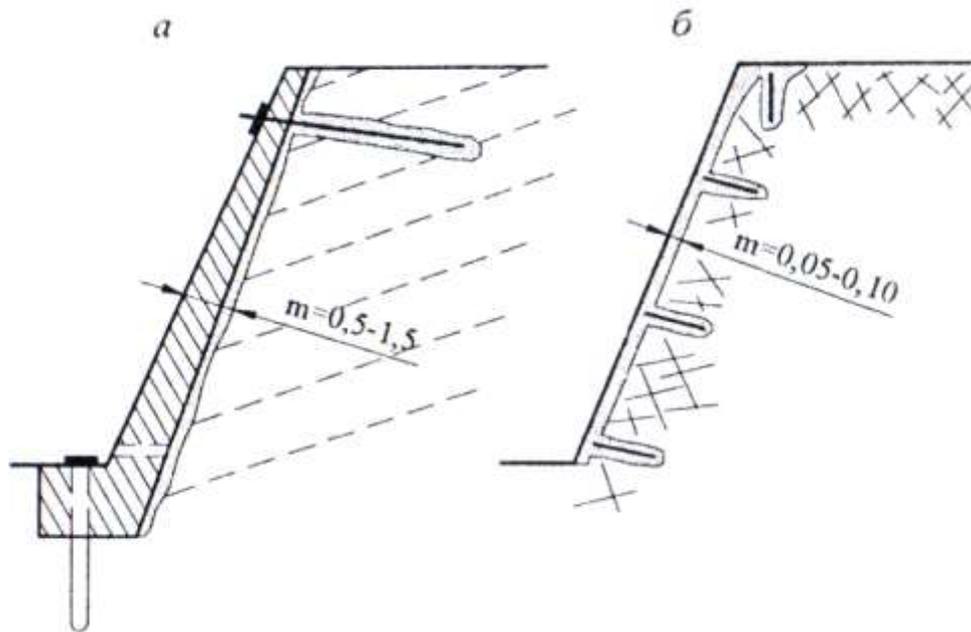


Рис. 1.8. Железобетонные стенки: *а* – защитная на фундаменте; *б* – предохранительная подвесная

Вариантом подвесной стенки является затяжка поверхности откоса сборными железобетонными плитами.

Контрфорсы (контрфорс – французское слово, означающее «противодействующая сила») применяются для укрепления откосов уступов нерабочих бортов, капитальных траншей и отвалов рыхлых пород. Их отсыпают из разрушенных скальных и полускальных горных пород. Они являются подпорной силой, препятствующей обрушению (сползанию) пород откосов. По существу, они выполняют те же функции, что и подпорные стены, но в отличие последних, устройство их менее трудоёмко и значительно дешевле, в особенности там, где вскрышные породы крепкие (рис. 1.9).

Размеры контрфорса должны обеспечить породам откоса дополнительное удерживающее усилие. Обрушение пород откоса не произойдет при выполнении условия

$$F_{am} \leq F_k \cdot f_{am},$$

где F_{am} – давление пород призмы возможного обрушения; F_k – общее сопротивление контрфорса сдвигу (противодействующая сила); f_{am} – коэффициент трения контрфорса по основанию.

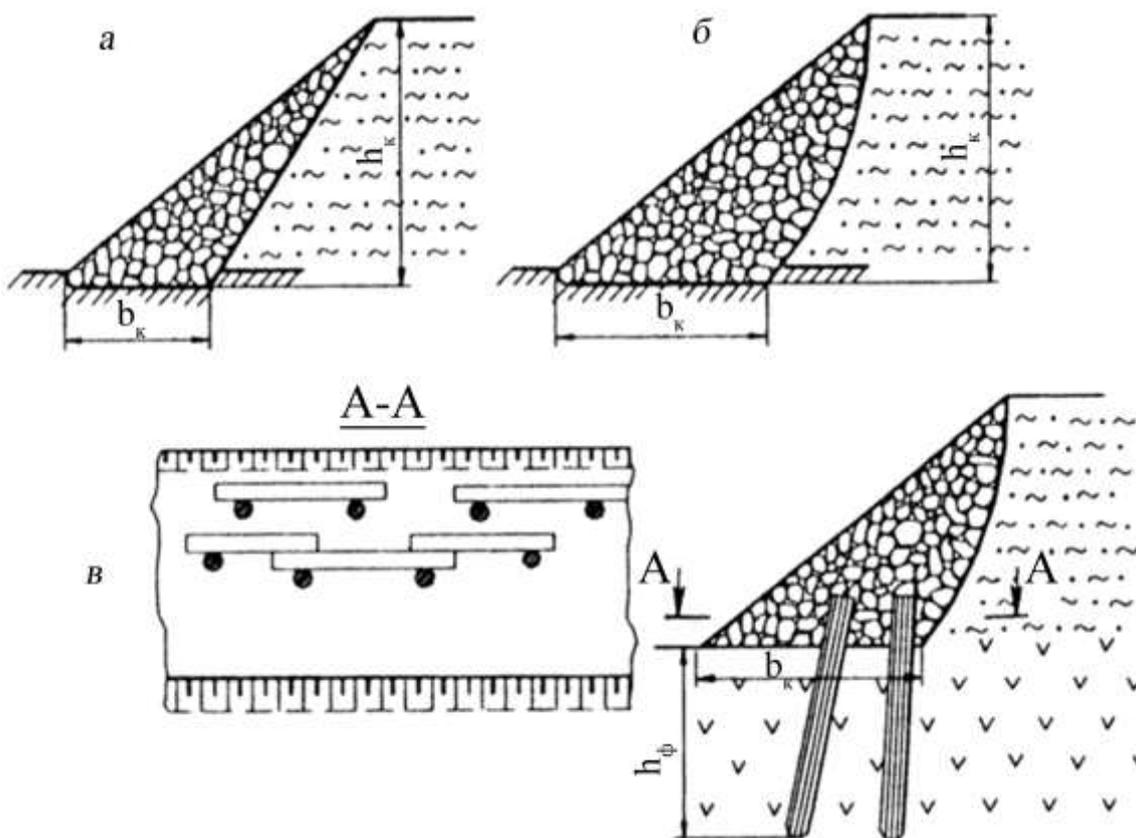


Рис. 1.9. Контрфорсы из скальных пород: *a* и *б* – отсыпаемые на прочное скальное основание; *в* – отсыпаемые на свайное основание; h_k , b_k – высота и ширина основания контрфорса; h_ϕ – глубина забивки свай фундамента

Сила F_k может быть определена по формулам:

$$F_k = m \cdot g;$$

$$F_k = V \cdot \gamma,$$

где m – масса контрфорса; g – ускорение силы тяжести; V – объём контрфорса; γ – объёмный вес пород контрфорса.

Данному способу управления устойчивостью откосов присущи и некоторые недостатки: большая собственная масса и большие площади, требующие значительной ширины берм, на которые отсыпают контрфорсы. Для сохранения ширины берм в наносах производят частичную выемку рыхлых пород и замену их скальными.

Обычно контрфорсы не имеют фундаментов, но их отсыпают на специально подготовленное основание с повышенным сопротивлением сдвигу или на свайный фундамент.

Контрбанкетты. Для предотвращения фильтрационных деформаций уступов. С этой целью поверхность откосов уступов пригружают фильтрующим материалом: гравием, щебнем, горельником, скальными породами вскрыши (рис. 1.10). Этот способ предо-

храняет поверхность откоса от размыва сточными водами и препятствует развитию фильтрационных деформаций откоса.

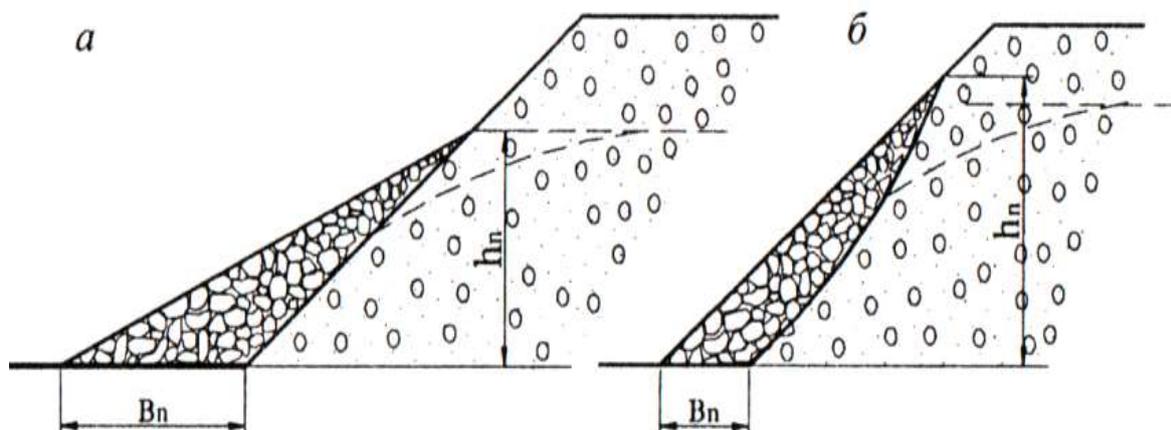


Рис. 1.10. Контрбанкетты: *a* – без выемки части пород откоса; *б* – с частичной выемкой пород откоса; h_n , b_n – высота и ширина пригрузочной призмы

1.4.4. Упрочнение пород

Из различных способов упрочнения породных массивов наиболее широко применяется *цементация*. Основную область её применения составляют трещиноватые осадочные, магматические и метаморфические породы.

В зависимости от размеров укрепляемых участков бортов карьеров, цементация может быть поверхностной или глубинной.

Поверхностной цементацией упрочняются приоткосные породы на глубину до 7 м от поверхности.

Глубинная цементация применяется для упрочнения больших объёмов трещиноватых массивов. Цементный раствор в короткие скважины подаётся под давлением 0,8–1 МПа, а в длинные – под давлением 2–4 МПа и более. Нагнетание цементного раствора производят через веер скважин диаметром до 200 мм, пробуренных с верхней площадки уступа или с поверхности откоса.

После или до нагнетания раствора в скважины вводят металлическую арматуру. Армирование пород откосов существенно повышает их прочность и устойчивость. Оно работает по принципу железобетонных анкеров, замоноличенных по всей длине скважины.

Сущность *силикатизации* заключается в том, что при обработке песчаных и лёссовых массивов силикатным раствором заполняются пустоты. Массивы в следствие этого приобретают повышенную прочность, водонепроницаемость и водостойкость.

Применяется двухрастворная и однорастворная силикатизация. Способ упрочнения, при котором в породы нагнетают поочередно натриевое жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и раствор хлористого кальция, получил название двухрастворного способа силикатизации. При однорастворной силикатизации в породы нагнетают раствор жидкого стекла с добавками фосфорной кислоты или серной кислоты и серного алюминия.

Для упрочнения крупно- и среднезернистых песков с коэффициентом фильтрации от 2 до 80 м/сут применяется двухрастворный способ силикатизации; для закрепления как мелких и пылеватых песков с коэффициентом фильтрации 0,5–5 м/сут, так и лёссов с коэффициентом фильтрации 0,1–2 м/сут – однорастворный способ силикатизации.

Технология производства работ по силикатизации породных массивов заключается в следующем. Приготовленные растворы жидкого стекла и необходимые добавки по трубопроводам насосными установками нагнетаются через пульт управления и распределяются в иньекторы. Последние забивают в закрепляемые породы пневматическими молотками, механическими копрами, другими средствами. Извлечение иньекторов производят с помощью домкратов или тали, а оставшиеся после удаления иньекторов скважины тампонируют растворами.

Перспективным направлением снижения деформаций пород массивов в бортах и уступах карьеров является укрепление их *синтетическими смолами*. В последние годы у нас в стране довольно широко применяют синтетические смолы (полиуретановые и др.) для упрочнения угля нарушенных пластов, обрабатываемых подземным способом. Накоплен и некоторый положительный опыт укрепления угольных пластов в карьерах.

1.4.5. Изоляция пород

Для предотвращения разрушения пород в обнажениях от влияния различных агентов выветривания, поверхности откосов укрепляют с помощью *изолирующих покрытий*. Выветривание – это совокупность процессов физического и химического разрушения минералов и горных пород на месте их залегания под влиянием колебаний температуры; замерзания и оттаивания воды; ветра; газов,

находящихся в атмосфере и растворённых в воде; деятельности животных и растительных организмов и др.

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом на процессы выветривания пород откосов бортов и уступов карьеров оказывают главным образом влияние следующие факторы: ветер, осадки в виде дождя и снега, колебания температуры в осенние и весенние периоды, инсоляция. Под воздействием этих факторов происходит наиболее существенное снижение прочности и разрушение пород нерабочих (стационарных) бортов и уступов. В зависимости от степени влияния агентов выветривания на породы применяют *изолирующие* или *защитно-изолирующие* покрытия. Конструкция покрытий не рассчитана на нагрузки, основное их назначение – изолировать горные породы от воздействия внешней среды.

В качестве *изолирующих* покрытий применяются набрызг-бетон; металлические сетки или решётки, покрытые тонким слоем набрызг-бетона или торкретбетона; полимерные материалы и др. Наиболее дешёвыми и простыми являются покрытия из набрызг-бетона по металлической сетке. При толщине бетонного слоя 50–70 мм такие покрытия устойчивы и долговечны.

Из *защитно-изолирующих* покрытий применяются:

1. Подвесные стенки из металлической сетки, закреплённой на анкерах и покрытой слоем набрызг-бетона толщиной 80–100 мм и др.

2. Теплоизоляционные материалы:

- а) Органические – получаемые с использованием органических веществ. Это, прежде всего, разнообразные полимеры, например, пенополистирол, вспененный полиэтилен (ППЭ, ППЭ) и изделия на его основе (в том числе отражающая теплоизоляция). Такие теплоизоляционные материалы изготавливают с объёмной массой от 10 до 100 кг/м³. Главный их недостаток – низкая огнестойкость, поэтому их применяют обычно при температурах не выше 90°C, а также с дополнительной конструктивной защитой негорючими материалами. Также в качестве органических изолирующих материалов используется переработанная неделовая древесина и отходы деревообработки (древесноволокнистые плиты (ДВП), древесностружечные плиты (ДСП), целлюлоза в виде макулатурной бумаги (утеплитель эковата), сельскохозяйственные отходы (соломит, ка-

мышит и др.), торф (торфоплиты) и т. д. Эти теплоизоляционные материалы, как правило, отличаются низкой водо-, биостойкостью, а также подвержены разложению и используются реже.

б) Неорганические – минеральная вата и изделия из неё (например, минераловатные плиты), монолитный пенобетон и ячеистый бетон (газобетон и газосиликат), пеностекло, стеклянное волокно, изделия из вспученного перлита, вермикулита, сотопласты и др. Изделия из минеральной ваты получают переработкой расплавов горных пород или металлургических шлаков в стекловидное волокно. Объёмная масса изделий из минеральной ваты 35–350 кг/м³. Характерная особенность – низкие прочностные характеристики и повышенное водопоглощение, поэтому применение данных материалов ограничено и требует специальных методик установки. При производстве современных теплоизоляционных минераловатных изделий (ТИМ) производится гидрофобизация волокна, что позволяет снизить водопоглощение в процессе транспортировки и монтажа ТИМ.

в) Смешанные:

- на основе асбеста (асбестовый картон, асбестовая бумага, асбестовый войлок);

- на основе смесей асбеста и минеральных вяжущих веществ (асбестодиатомовые, асбестотрепельные, асбестоизвестковокремнезёмистые, асбестоцементные изделия);

– на основе вспученных горных пород (вермикулита, перлита).

1.4.6. Комбинированные способы укрепления откосов

Комбинированные способы укрепления откосов обычно применяются в сложных горно-геологических условиях, в которых ни одним из рассмотренных способов в отдельности не может быть обеспечено надёжное управление механическими процессами породных массивах в откосах карьера, например, для укрепления слоистых откосов с подрезанными контактами слоёв пород. В этих условиях наиболее часто применяются железобетонные сваи в сочетании с анкерами, железобетонные сваи с анкерами и изоляцией поверхности откоса и другие сочетания способов укрепления (рис. 1.11).

В сложных инженерно-геологических условиях, когда один способ укрепления не обеспечивает длительной устойчивости

ослабленного породного массива, производится комбинированное укрепление.

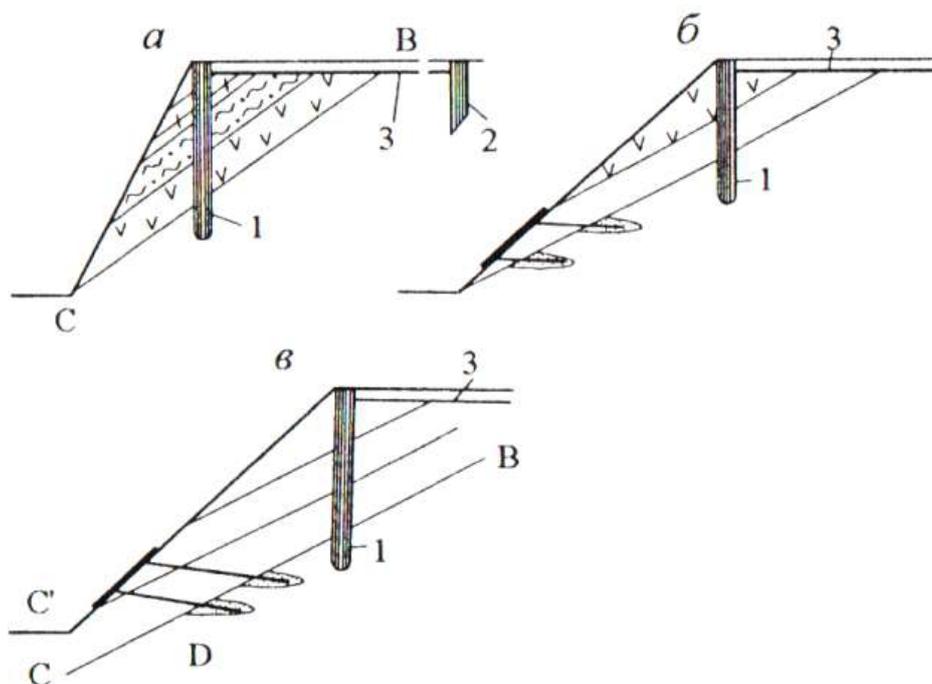


Рис. 1.11. Схемы укрепления слоистых откосов с подрезанными контактами слоёв пород: *а* – комбинация железобетонных свай и штанг; комбинация *б* – свай и тросовых тяжей; *в* – комбинация свай и штанг с цементацией ослабленной зоны BC; 1, 2 – сваи, 3 – анкер

Комплексная методика специального воздействия на породный массив включает:

- обоснование области технического применения различных способов укрепления и их вариантов;

- выявление требующих искусственного укрепления участков и зон породного массива, базирующееся на инженерно-геологическом районировании карьерных полей и расчётных методах оценки устойчивости откосов, величины давления горных пород на поддерживающие конструкции и сооружения;

- расчёт необходимых объёмов укрепительных мероприятий и средств укрепления, базирующийся на методах расчёта стальных и железобетонных конструкций и на теории предельного равновесия.

Опыт внедрения методов управления состоянием породного массива на карьерах показывает, что искусственное укрепление (особенно в скальных и полускальных породах) во многих случаях предпочтительнее разноса бортов и даёт значительный экономический эффект. Применение искусственного укрепления позволяет увеличить экономически допустимую глубину карьеров. Использо-

вание специальной технологии заоткоски при погашении бортов карьеров экономически оправдано, начиная с глубины 10–20 м, т. е. практически со второго уступа от поверхности.

1.5. Маневрирование горными работами

Управление устойчивостью откосов путём маневрирования горными работами применяется в случаях, если корректировка высоты и угла наклона уступа не даёт желаемого результата по предотвращению деформаций откосов или ведёт к разносу борта на верхних горизонтах и увеличению объёма вскрышных работ.

Сущность маневрирования горными работами заключается в тесной взаимосвязи технологической схемы разработки месторождения с фактической устойчивостью уступов и бортов. Маневрирование горными работами осуществляется в пределах всего карьера или его участков. Маневрирование горными работами включает следующие технологические приёмы: соблюдение очередности отработки месторождения, изменение направления подвигания фронта горных работ, изменение параметров элементов уступов. При этом способе используется информация о геологическом строении, структуре и физико-механических свойствах массива горных пород, на основании которой рассчитывается устойчивость откосов уступов и бортов карьера, а также составляются технологические карты карьерного поля с разбивкой его на отдельные выемочные блоки с последующим указанием направления в них подвигания горных работ. Календарный план развития горных работ по отработке блоков горной массы увязывается с планируемыми объёмами горных работ на каждый запроектированный период развития карьера (перспективный и текущие).

Особое значение придается расположению вскрывающих выработок. Так, чтобы обеспечить безаварийную эксплуатацию внешних вскрывающих выработок в течение всего срока существования карьера, их располагают в массиве с наиболее устойчивыми породами.

При выборе расположения стационарных внутренних съездов стремятся использовать участки массива с падением слоёв и поверхностей ослабления в его сторону. Отработка карьерного поля начинается с разработки той его части, где наиболее благоприятные

условия, а затем осваивается массив, сложенный слабыми литологическими разностями и имеющий структурные ослабления, с тем чтобы сократить время стояния откосов.

Применять способ управления устойчивостью откосов путём маневрирования горными работами наиболее целесообразно при отработке мульдообразных залежей.

Способ разработки и схема вскрытия мульдообразных месторождений выбираются в зависимости от размеров, формы и условий залегания пластов горных пород мульды. Так, быстрое освоение производственной мощности и достижение минимального эксплуатационного коэффициента вскрыши в начальный период отработки месторождения возможны при развитии фронта горных работ от крыльев мульды к её замку двумя горными участками. Вскрытие месторождения с учётом состояния откосов обеспечивает достижение минимальных сроков его строительства и проектных объёмов горно-капитальной вскрыши, ввод карьера в эксплуатацию с расчётной производительностью в установленный срок, оптимальный (нарастающий) текущий коэффициент вскрыши до конца отработки месторождения.

При выборе схемы вскрытия и системы разработки месторождения решающее влияние на устойчивость откосов оказывает угол наклона залежи. Горизонтальное залегание слоёв (от 0 до 5°) не оказывает существенного влияния на устойчивость откосов. Параметры уступа (борта) в этом случае целесообразно регулировать экскаваторами (верхнего черпания – изменять высоту откоса уступа, нижнего – его угол).

При пологом залегании слоёв (угол наклона от 6 до 15°) залежи разрабатываются по направлению падения, что снижает число случаев деформирования откосов. Однако при бестранспортной технологии разработки ухудшаются условия устойчивости внутренних отвалов, а повышение мощности вскрыши ведёт к увеличению высоты уступов или их количества за счёт введения транспортных горизонтов. Поэтому в данном случае вводят комбинированную транспортировку вскрыши в отвал. Разработка месторождения с пологим залеганием слоёв по направлению их восстания повышает вероятность возникновения оползней по поверхности скольжения, формирующейся по напластованию пород. Для предотвращения деформаций откосов на подошве уступа сооружа-

ют временный контрфорс из вскрышных (скальных или полускальных) пород, параметры которого определяют путём расчёта с учётом сил сдвига оползневой части уступа или борта.

Изменять направление подвигания фронта горных работ с целью снижения деформаций откосов можно от 0 до 180° благодаря маневрированию от параллельного подвигания к веерному или диагональному перемещению фронта относительно неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления.

Изменения во времени напряжённо-деформированного состояния бортовых массивов горных пород определяются динамикой открытых горных работ, оцениваемой количественно через показатели скорости подвигания фронта V_{ϕ} и углубления горных работ V_y . Численные значения этих показателей изменяются примерно в следующих пределах: $V_{\phi} = 100\text{--}300$ м/год; $V_y = 5\text{--}50$ м/год.

Показатели V_{ϕ} и V_y определяют срок службы рабочих уступов, момент начала постановки бортов в промежуточное или предельное положения и длительность стояния по глубине карьера различных участков бортов. Показательными в этом отношении являются расчёты проф. А. И. Арсентьева по изменению коэффициента запаса устойчивости нерабочих бортов и риска их обрушения от времени отработки карьера по мере его углубки.

Рациональное изменение направления подвигания фронта работ определяется на основе инженерно-геологического районирования карьерного поля, уточнения условий залегания горных пород в процессе эксплуатации месторождения и расчётов устойчивости бортов.

Управление устойчивостью откосов вскрышных уступов осуществляется изменением параметров их основных элементов за счёт регулировки высот откосов и заоткоски уступов.

1.6. Снижение влияния вредного действия взрывов на формирование предельного контура карьера

Взрывы скважинных зарядов вызывают за пределами взрывае­мого блока деформации поверхности уступов и массива горных пород. При подходе горных работ к предельному контуру борта карьера возникает необходимость в защите законтурного массива от об-

разования заколов и остаточных деформаций, уменьшающих устойчивость откосов и берм (рис. 1.12).

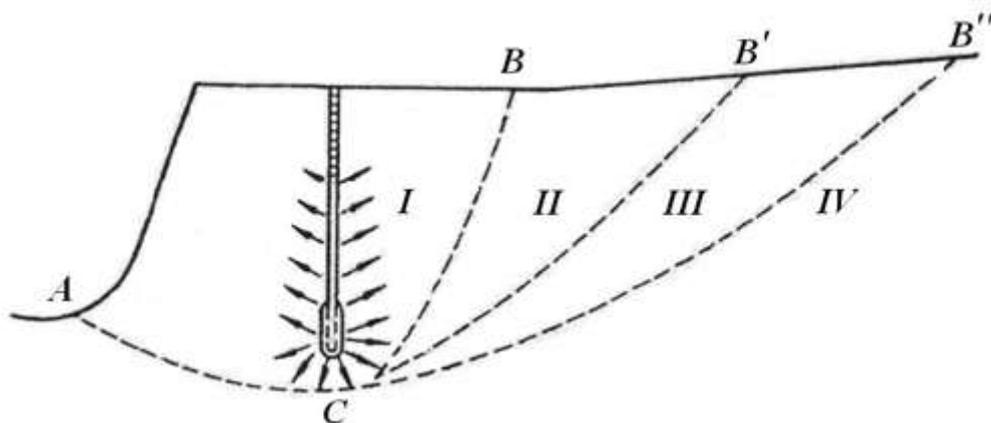


Рис. 1.12. Области разрушения и деформирования пород при массовых взрывах скважинных зарядов на разрезах: *I* – зона отрыва и дробления; *II* – зона заколов; *III* – зона остаточных деформаций; *IV* – зона колебаний

Взрыв приводит к дроблению пород в зоне *I* (поверхность *АСВ*), непосредственно примыкающей к заряду *ВВ* (рисунок 1.13). В зоне *II* (*BCB'*) происходит интенсивное трещинообразование, где сомкнутые трещины раскрываются и образуются новые. Блоки породы смещаются относительно друг друга, и на верхней площадке образуются заколы. В этой зоне, достигающей 10–20 м, породы практически полностью утрачивают сцепление и удерживаются в равновесии лишь за счёт трения и зацепления неровностями блоков.

Нарушения массива в форме раскрытия трещин и увеличения трещиноватости проявляются в зоне остаточных деформаций *III* (*B'CB''*). Ширина этой зоны достигает 50–70 м. Поскольку подвижки массива при взрыве направлены «назад-вверх», они наиболее неблагоприятны при наличии систем трещин, падающих в сторону массива. Наличие таких трещин с углом падения свыше 32–36° может привести к обрушению подрезанных блоков сразу же после взрыва.

Далее в глубине массива деформирование происходит в виде колебаний упругого характера (зона *IV*). Размеры этой зоны существенно зависят от массы одновременно взрываемого *ВВ* и свойств пород. Однако по своему характеру колебания являются дополнительной нагрузкой, поэтому уступы, находящиеся в равновесном состоянии, близком к предельному, могут подвергаться нарушениям на больших расстояниях от места ведения взрывных работ.

Снижение влияния вредного действия взрывов достигается управлением формирования сейсмического поля напряжений и колебаний во взрываемом блоке и за его пределами. Снижение неблагоприятного воздействия взрыва на массив практически может быть достигнуто ограничением массы одновременно взрываемого заряда; применением контурного взрывания наклонных скважин и диагональных схем короткозамедленного взрывания; заоткоски уступа по трещинам, падающим в сторону выработанного пространства.

Управление взрывом возможно благодаря подбору соответствующих физико-детонационных характеристик ВВ, конструированию скважинных зарядов, применению короткозамедленного взрывания, созданию на пути распространения сейсмических волн экранирующих поверхностей, изменению направления развития взрыва во взрываемом блоке и очередности взрывания. Действие взрыва на массив можно ограничить также предварительной заоткоской уступов и его укреплением или упрочнением инженерными методами. Необходимо принимать и организационно-технические мероприятия в управлении взрывами, способствующие совершенствованию организации взрывов, повышению культуры производства и использованию научных достижений.

Методы и приёмы управления взрывом выбираются при составлении паспорта взрывных работ на предельном контуре с учётом механизма формирования сейсмических волн, характера их распространения и воздействия на уступы, находящиеся в конкретных инженерно-геологических условиях.

Основные свойства ВВ, влияющие на степень вредного действия взрыва на откосы, – это их плотность и скорость детонации заряда. Так, энергия взрыва зависит от увеличения скорости детонации. Существует зависимость между общей энергией заряда и объёмом разрушаемых горных пород. Разные ВВ создают в ближней зоне взрыва различные напряжения и скорости колебаний массива, а с удалением от места взрыва вызывают различную степень затухания волн.

Среди конструкций зарядов, определяющих характер изменения сейсмических колебаний в массиве горных пород, выделяют конструкции с воздушными осевыми и кольцевыми зазорами, со специальными кумулятивными выемками, с инертными заполнителями, а также комбинированные. Так, на карьерах Магнитогорского рудника (Южный Урал) и Южного Кузбасса использование при

взрывах зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, позволило получать более крутые углы наклона (до 75°) уступов в крупноблочных крепких породах, тогда как при взрывах сплошных зарядов угол откоса уступа был меньше на $5-10^\circ$. Это явление объясняется тем, что с удалением от очага взрыва скорость сейсмических колебаний в массиве от рассредоточенных зарядов становится меньше, чем от сплошных.

Эффективность короткозамедленного взрывания устанавливается по результатам опытных взрывов. Наибольшее сейсмическое воздействие наблюдается при интервалах замедления в пределах $20-70$ мс в направлении, перпендикулярном к линии зарядов, наименьшее – в противоположном направлении распространения детонации.

На степень снижения сейсмического действия взрыва существенно влияет тип замедлителей и их число. Резкое снижение интенсивности колебаний массива достигается при взрывании через постоянный интервал замедления. Максимально снижается сейсмическое действие при последовательном равномерном и разновременном наложении полей напряжения во время инициирования зарядов по длине и площади взрываемого блока.

Локализуется действие взрыва в массиве применением защитного, экранирующего и амортизирующего слоев. Указанные средства экранирования поглощают часть энергии взрыва и препятствуют распространению волн напряжения и сейсмических волн в законтурный массив. Эффект экранирования усиливается благодаря применению специальной заоткоски уступов.

Под специальной заоткоской уступов понимается применение такой технологии отработки приконтурных заходок и оформления нерабочих бортов, при которых обеспечивается устойчивость откосов, сохранность берм и снижается интенсивность накопления осыпей. При проектировании карьеров необходимо составлять разделы по отработке приконтурных заходок, а при строительстве – паспорта управления уступами, включающие технологию их заоткоски.

Заоткоска уступов под проектными углами может выполняться по следующим технологическим схемам:

- с предварительным щелеобразованием на предельном контуре карьера наклонными скважинами на высоту одного или нескольких уступов (рис. 1.13);

а*б*

Рис. 1.13. Взрывание с предварительным щелеобразованием на предельном контуре карьера наклонными скважинами на высоту одного (а) и нескольких (б) уступов

- применением однорядных и двухрядных наклонных заоткашивающих скважин по проектному контуру на всю высоту уступа при выемке последней заходки в приконтурной полосе (рис. 1.14);



Рис. 1.14. Взрывание однорядных наклонных заоткашивающих скважин по проектному контуру на всю высоту уступа при выемке последней заходки в приконтурной полосе

- сочетанием наклонных глубоких и вспомогательных вертикальных коротких скважин;
- оформлением верхней части уступа, поставленного в проектный контур короткими наклонными скважинами;
- заоткоской вертикальными короткими скважинами;
- однорядными вертикальными скважинами на всю высоту уступа.

Заоткоска уступов с помощью контурного взрывания позволяет на $5\text{--}15^\circ$ и более увеличить угол откоса по сравнению с углами откосов, формирующихся при обычной технологии БВР; снизить интенсивность деформирования и обеспечить длительную устойчивость уступов; повысить устойчивость откосов, имеющих поверхности ослабления, падающие в сторону выработанного пространства. На рис. 1.15, 1.16 показан результат оформления откоса одного уступа с помощью контурного взрывания и группы уступов на подходе к предельному контуру карьера.



Рис. 1.15. Оформление откоса одного (а) уступа с помощью контурного взрывания

На карьерах для уменьшения влияния действия взрывов за пределами контура обработки уступов широко применяются поперечные и диагональные схемы короткозамедленного взрывания (рис. 1.17), наклонные заряды для отбойки пород и контурное взрывание.



Рис. 1.16. Оформление откоса группы уступов на подходе к предельному контуру карьера

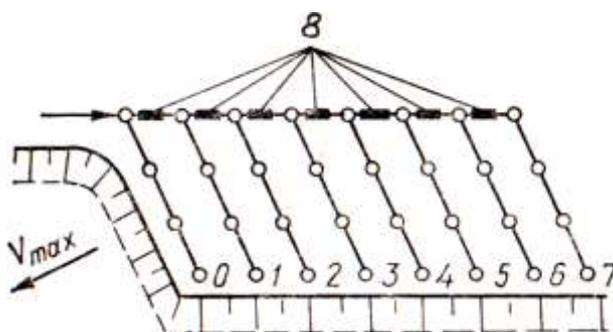


Рис. 1.17. Диагональная схема короткозамедленного взрывания: 0–7 – номера ступеней замедления; 8 – пиротехнический замедлитель (детонационное реле)

Короткозамедленное взрывание по диагональной схеме производится на расстоянии 30–40 м до предельного контура при двухрядном (не более) расположении зарядов независимо от выбранного способа заоткоски. При таком взрывании сокращается ширина и глубина зоны остаточных деформаций в верхней части уступа.

Отбойка приконтурных лент в карьере наклонными зарядами не требует дополнительных затрат, но сокращает разрушение слоя, лежащего ниже подошвы уступа.

Контурное взрывание является эффективным способом снижения интенсивности деформирования уступов. Этот способ заключается в бурении сближенных скважин, зарядении их ослабленными (по массе) зарядами ВВ и взрывании, в результате чего вдоль ряда контурных зарядов образуется ровная поверхность откоса с видимыми следами скважин (см. рис. 1.16). Наибольший эффект контурного взрывания получают при расстояниях между скважинами в ряду от 1 до 2 м и диаметре скважин 100–150 мм. Ориентировочная масса заряда (кг) на 1 м скважины в породах различной крепости при изменяющемся расстоянии между контурными скважинами 0,8–3,0 кг.

В практике открытых горных работ применяют два способа контурного взрывания:

- предварительное щелеобразование, то есть взрывание до отбойки приконтурной заходки;
- контурная отбойка или «гладкое взрывание» после взрывов в приконтурной ленте.

Основные условия обеспечения качества и эффективности экранирующей щели:

- выдерживать расстояния и параллельность между контурными наклонными скважинами;
- правильно выбрать удельный расход ВВ.

Контурные заряды при предварительном щелеобразовании взрывают на расстоянии не менее 15–20 м от предельного контура. Минимальное расстояние между контурным рядом скважин щели и рядом скважин дробления принимают не менее 8–10 диаметров заряда дробления. При предварительном щелеобразовании предусматривается бурение и взрывание ряда сближенных скважин по проектному контуру уступа карьера или выемки. Обычно применяются скважины уменьшенного диаметра (100–160 мм) с зарядами из гирлянд патронов аммонита 6ЖВ диаметром 32 мм (рис. 1.18).

Время опережения взрыва скважинных зарядов контурного ряда по отношению к последующему взрыву зарядов дробления в противоположащих скважинах должно находиться в пределах 50–70 мс, так как при меньших интервалах между взрывами возможно проникновение трещин за отрезную щель, а при больших – повреждение основных зарядов дробления взрывом контурного ряда скважин. Можно также применять схемы одновременного взрывания зарядов контурного ряда и дробления. При сдваивании или

страивании уступов (высокие уступы) в трещиноватых слабывветривающихся породах экранирующую щель формируют на полную высоту уступа, а в крупноблочных породах можно создать её лишь в его верхней половине.

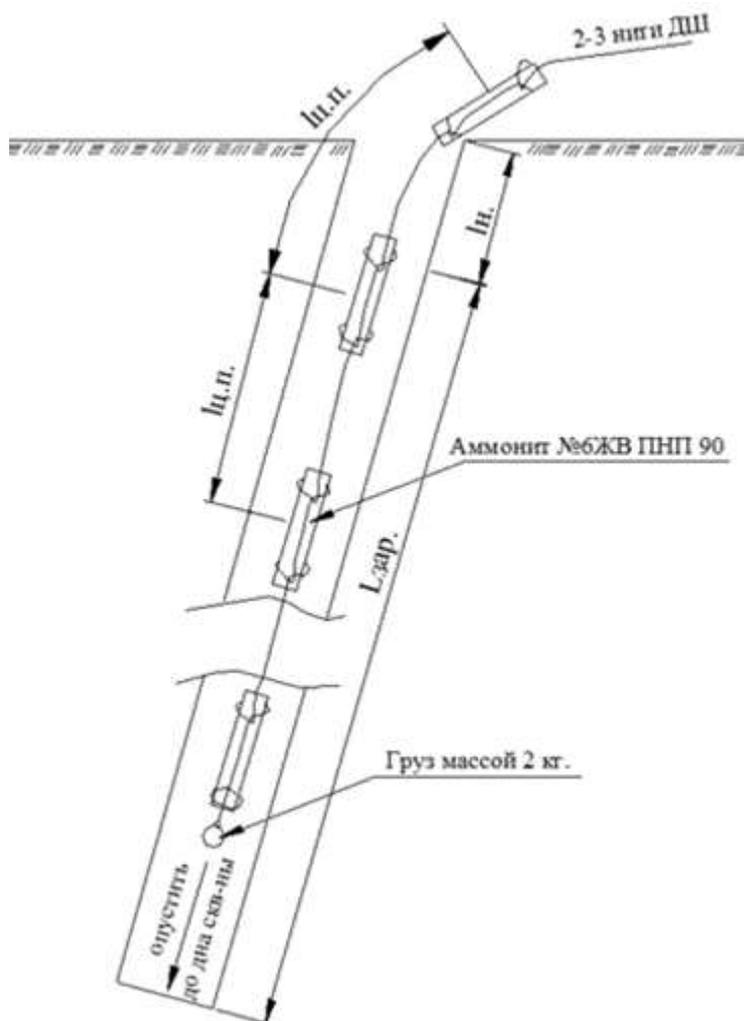


Рис. 1.18. Гирлянда патронов аммонита 6ЖВ: $l_{ц.п.}$ – расстояние между центрами патронов

Защищают массив от сейсмического действия взрывов при отработке приконтурных заходок экранированием поверхности нижележащего уступа, например, пологими скважинами, пробуренными с нижней бермы. При этом для создания пологой экранирующей щели бурят скважины диаметром 100–150 мм на глубину 3–5 м в основании уступа на высоте 1–1,5 м от его подошвы под углом 12–15° к горизонту (рис. 1.19).

Расстояние между этими скважинами, конструкция заряда и удельный расход ВВ уточняются в процессе производства опытных взрывов. Взрыв происходит в такой последовательности: вначале

взрываются скважины экранирующей щели, затем заоткашивающие и отбойные.

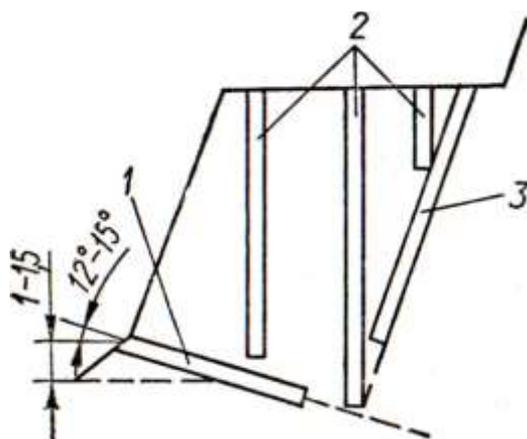


Рис. 1.19. Схема защиты поверхности нижнего уступа от дробящего действия взрыва: 1 – пологая скважина контурного ряда; 2 – взрывные скважины; 3 – наклонная скважина контурного ряда

При «гладком взрывании» контурных зарядов отделяют сильно нарушенный массив от слабо нарушенного, придавая оформляемому уступу достаточно ровную наклонную поверхность (рис. 1.20).

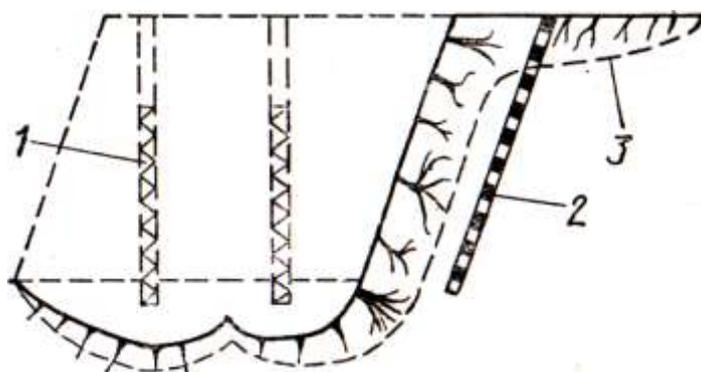


Рис. 1.20. Заоткоска уступа способом гладкого взрывания: 1 – заряды дробления отбойных скважин; 2 – ослабленные заряды контурного ряда скважин; 3 – заколы и остаточные деформации верхнего слоя (площадок и откосов) уступа

Однако высокой чистоты поверхности откоса путём сближения скважин и изменения параметров контурного ряда получить не удастся из-за трещин и остаточных деформаций, проникающих за контурный ряд от взрыва зарядов дробления, который опережает взрыв контурного ряда на 50–70 мс. Поэтому «гладкое взрывание» менее эффективно для формирования устойчивых уступов и применяется тогда, когда предварительное щелеобразование невозможно применить.

1.7. Условия применения инженерных методов управления состоянием массива горных пород

При решении задач укрепления откосов и упрочнения горных пород важнейшими задачами являются:

- определение положения поверхности скольжения;
- установление границы возможной зоны нарушения откоса и его сдвига.

От положения поверхности скольжения зависит масса призмы возможного обрушения, давление на поддерживающие противодеформационные конструкции и сооружения, надёжность заделки замков укрепляющих конструкций (свай, штанг, тросовых тяжей) в монолитной части массива.

В геологическом строении массивов горных пород бывают следующие случаи естественного нарушения уступов поверхностями ослабления, которые определяются в результате маркшейдерской съёмки трещиноватости массива:

- 1) одной или двумя плоскими поверхностями ослабления большого протяжения, падающими под различными углами в сторону откоса и выходящими на поверхность в разных его частях;
- 2) диагональными по отношению к простиранию борта плоскими поверхностями ослабления, образующими четырёх-шестигранные призмы;
- 3) поверхностями ослабления криволинейной или ломаной формы.

Необходимое дополнительное удерживающее усилие определяется с учётом коэффициента запаса устойчивости из выражения

$$\Delta T_y = \sum T_c - \sum T_y,$$

где $\sum T_c$, $\sum T_y$ – суммарные сдвигающие и удерживающие усилия.

Сделав несколько расчётов ΔT_y для различных поверхностей скольжения, определяют максимальное его значение, а также горизонтальную и вертикальную мощности ослабленной зоны, что позволяет выбрать тип поддерживающей конструкции или способ упрочнения горных пород. Упрочнение массива без изменения действующих сдвигающих сил повышает характеристики сопротивления сдвигу пород вдоль зоны формирования поверхностей скольжения, что приводит к балансу в пользу удерживающих сил в откосе.

Аналогично упрочнению работает механическое укрепление откоса сваями и шпонами.

Необходимость укрепления откосов, ослабленных естественной трещиноватостью, тектоническими нарушениями, слабыми прослоями и т. п., устанавливается на основании расчёта фактического коэффициента запаса устойчивости $n_{\text{ф}}$ и сопоставления его с нормативным коэффициентом $n_{\text{н}}$ (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Рекомендуемые коэффициенты запаса устойчивости откосов

Преобладающий литологический состав горных пород в массиве	Коэффициент запаса устойчивости откоса при расчёте n	
	по предельному сопротивлению сдвигу	по пределу текучести
1	2	3
А. Для нерабочих бортов со сроком службы более 5 лет		
Пластичные глины	не менее 1,3	1,0
Песчаные отложения	1,2	не менее 1,0
Трещиноватые скальные массивы	1,3	–
Б. Для нерабочих уступов со сроком службы более 5 лет		
Глины, склонные к набуханию, скальные и полускальные массивы, подверженные интенсивному выветриванию и сейсмическому воздействию взрывов при неблагоприятной ориентировке поверхностей ослабления	1,5–2,0	1,0
В. Для рабочих и нерабочих бортов со сроком службы менее 5 лет		
Пластичные глины при неблагоприятной ориентировке поверхностей ослабления	не менее 1,2	0,9
Г. Для рабочих и нерабочих уступов, отвалов со сроком службы менее 5 лет		
Полускальные и скальные массивы	1,2	–
Глинистые отложения	1,5	0,8

Дополнительное удерживающее усилие за счёт укрепления откоса или упрочнения массива горных пород позволяет довести фактический коэффициент устойчивости до нормативного. Величина дополнительного удерживающего усилия ΔT_y определяется по формуле

$$\Delta T_y = (n_{\text{н}} - n_{\text{ф}}) - \sum T_c .$$

При ослаблении уступа одной трещиной большого протяжения или тектоническим нарушением, направление которых совпадает с азимутами простирания и падения откоса, необходимость искусственного укрепления устанавливается путём сравнения удерживающих и сдвигающих сил, полученных в результате расчётов, выполненных на вертикальных плоских сечениях, нормальных к простиранию уступа. Фактический коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле

$$n_{\phi} = \frac{P \cos \beta \operatorname{tg} \varphi' + c' S}{P \sin \beta},$$

где P , S – соответственно масса призмы обрушения, кг, и площадь поверхности скольжения, м^2 , между соседними сечениями, нормальными к простиранию уступа; β – угол падения трещины или тектонического нарушения, град; φ' – угол трения по поверхности ослабления, град; c' – сцепление по поверхности ослабления, МПа.

При ослаблении уступа диагональными по отношению к простиранию борта и сопряжёнными между собой трещинами, падающими в выработанное пространство под углами, превышающими угол трения по поверхности, фактический коэффициент запаса устойчивости находится по следующей формуле:

$$n_{\phi} = \frac{(P_1 \operatorname{tg} \varphi'_1 + P_2 \operatorname{tg} \varphi'_2) \cos \rho + c'_1 S_1 + c'_2 S_2}{P \sin \rho},$$

где P , P_1 , P_2 – соответственно масса пирамиды (блока) и её частей, опирающихся на поверхности скольжения S_1 и S_2 , кг; φ'_1 и φ'_2 – соответственно углы трения по поверхностям ослабления (скольжения) S_1 и S_2 ; ρ – угол наклона основания жёлоба линии пересечения диагональных трещин; c'_1 и c'_2 – соответственно сцепление по поверхностям ослабления S_1 и S_2 .

Если уступы в плане пересекаются тектоническими нарушениями под острыми углами в $30\text{--}35^\circ$, падающими в сторону выработанного пространства и образующими с кливажными трещинами двугранный угол более 90° , то устойчивость блоков рассчитывается с учётом сил сопротивления отрыву по возможным поверхностям отрыва в плоскостях кливажных трещин. Фактический коэффициент запаса устойчивости в данном случае определяется по формуле

$$n_{\phi} = \frac{P \cos \beta \operatorname{tg} \varphi'_1 + c'_1 S_1 + \delta_0 S_0}{P \sin \beta},$$

где P – масса блока, кг; β – угол падения тектонического нарушения, град; δ_0 – сопротивление горных пород отрыву, МПа; S_0 – площадь, сопряженная с плоскостью тектонического нарушения, м².

Выбрав способ укрепления откоса, устанавливают величину ожидаемого давления горных пород на противооползневые конструкции и сооружения, учитывая силу реакции крепи F . Эффективность укрепления и величина оползневоего давления на крепь зависят от направления действия силы реакции крепи относительно поверхности скольжения.

Если поверхность скольжения плоская, то величина ожидаемого давления горных пород или сила реакции крепи F при характеристиках сопротивления сдвигу с заданным коэффициентом запаса устойчивости определяется по формуле

$$F = \frac{P (\sin \beta - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}) - c'_{\Pi} L}{\cos \delta + \sin \delta \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}},$$

где P – масса пород призмы возможного обрушения, кг; β – угол наклона плоской поверхности скольжения, град; φ'_{Π} и c'_{Π} – характеристики пород сдвигу с коэффициентом запаса устойчивости откоса n_{ϕ} ; L – длина поверхности скольжения, м; δ – угол наклона вектора силы реакции крепи к поверхности скольжения, град.

При призматической поверхности скольжения возможны три схемы расчёта силы реакции крепи:

- 1) с одним жёстким блоком;
- 2) с двумя и более жёсткими блоками;
- 3) с блоками в слабых горных породах.

Для первой схемы величина ожидаемого давления горных пород или сила реакции крепи F определяется по формуле

$$F = \frac{P (\sin \beta - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}) - c'_{\Pi} L - \delta_0 L_1}{\cos \delta + \sin \delta \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}},$$

где δ_0 – сопротивление пород отрыву при угле между поверхностями скольжения более 45°, МПа.

Для второй и третьей схем:

$$F = \frac{P_2 \sin(\beta - \varphi'_{\Pi}) - c_{\Pi} l \sin(\Theta + \varphi'_{\Pi}) + E \cos(\gamma + \varphi'_{\Pi})}{\cos(\delta_o - \varphi'_{\Pi})},$$

где l – проекция линии L_1 на продолжении линии L_2 , м;
 $\Theta = \beta_1 + \mu - \beta_2 - 90^\circ$; E – реакция со стороны верхнего блока, кН/м²;
 $\gamma = \Theta - \varphi'_{\Pi}$; μ – угол между системами трещин, град.

При криволинейной поверхности скольжения величину давления горных пород рассчитывают в следующем порядке:

- разбивают призму возможного обрушения на блоки, в пределах которых поверхность скольжения близка к плоской;
- устанавливают давление вышележащих блоков на нижележащие, начиная с верхнего блока;
- определяют полное давление призмы возможного обрушения на противооползневое сооружение (крепь).

Давление верхнего (первого) блока на нижележащий (второй) рассчитывается по формуле

$$E_1 = \frac{P_1 q_1 - c_{\Pi} L_1}{\omega_1},$$

где $\omega_1 = \cos \delta_1 + \sin \delta_1 \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}$ – коэффициент отклонения реакции крепи; P_1 – масса первого блока, кг; $q_1 = \sin \beta - \cos \beta \operatorname{tg} \varphi'_{\Pi}$ – коэффициент наклона поверхности скольжения; β – угол наклона поверхности скольжения в первом блоке, град; φ'_{Π} и c_{Π} – характеристики горных пород сдвигу; L_1 – длина поверхности скольжения в первом блоке; δ_1 – угол наклона вектора силы крепи к поверхности скольжения первого блока, град.

Для любого i -го блока давление определяется с учётом вышележащего блока по формуле

$$E_i = \frac{1}{P_i q_i - c_{\Pi} L_i + E_{n-1}}.$$

Полное давление горных пород призмы возможного обрушения на противооползневые конструкции и сооружения для блоков $i = n$:

$$F = \frac{\sum P_i q_i - c \sum L_i}{\omega_n}.$$

1.8. Общие сведения об управлении состоянием карьерных откосов

Оползни горных пород на карьерах причиняют огромный материальный ущерб предприятиям, нарушают нормальный технологический процесс, нередко ведут к большим потерям вскрытых и готовых к выемке запасов полезного ископаемого и вызывают необходимость многократной перевалки оползающих масс, а иногда и их отгрузки в больших объёмах.

Если параметры рабочего борта и уступов рассчитаны правильно, то их общая устойчивость должна быть обеспечена. Однако не исключено, что на отдельных участках могут возникнуть оползневые очаги, ликвидацию которых экономически целесообразно предотвратить противооползневыми мероприятиями, например:

- выколаживание угла откоса уступа или части борта;
- оставление целиков породы или полезного ископаемого в районе оползневого очага;
- снятие нагрузки с откоса с целью уменьшения сил, создаваемых призмой активного давления и отгрузку очага оползня;
- искусственное упрочнение горных пород массива.

Развитие и совершенствование общей теории напряжённого состояния массива горных пород и деформационных процессов, развивающихся в нём в период строительства и эксплуатации горного предприятия под влиянием природных и горнотехнических факторов, позволило заложить научные основы решения проблемы управления устойчивостью карьерных откосов.

Вместе с тем конечной целью большинства работ в этой области являлось *определение параметров откосов, при которых обеспечивается их устойчивость на необходимый период времени*. Такой подход при всей его важности в теоретическом и практическом отношении следует считать до некоторой степени *пассивным*.

Большое значение имеет *активный* подход к решению проблемы на основе управления состоянием массива горных пород, впервые сформулированный в начале 1970-х годов академиками АН СССР Н. В. Мельниковым и В. В. Ржевским.

Мельников Н. В. назвал эту проблему в числе важнейших, стоящих перед горной наукой, и отметил, что управление откосами включает два последовательно выполняемых этапа:

- первый – правильный расчёт углов откосов с надёжным, но не преувеличенным запасом прочности;

- второй – создание крупных по масштабу методов и средств искусственного полного и локального укрепления их.

Ржевский В. В. подчеркнул, что задача сегодняшнего дня – научиться управлять карьерными откосами для достижения лучших экономических результатов и сохранения сельскохозяйственных угодий.

Под *управлением деформационными процессами* горных пород на карьерах следует понимать комплекс мероприятий, направленных на достижение такого напряжённо-деформированного состояния горных пород в природном или техногенном массиве, при котором обеспечивается безопасное и экономически эффективное ведение горных работ.

Для того чтобы решить ту или иную задачу управления, она должна быть формализована, т. е. с достаточной точностью описана математическими зависимостями. При формализации объекту управления ставится в соответствие его математическая модель – совокупность математических зависимостей, отражающих те черты и особенности объекта, которые существенны для управления им.

Природные условия и горнотехнические факторы, создающие входные воздействия, разделены на управляемые, неуправляемые и их параметры.

Неуправляемые воздействия и их параметры – природные условия или горнотехнические факторы, оказывающие значительное влияние на напряжённо-деформированное состояние откоса, но не поддающиеся управлению на данном уровне развития науки и техники.

Неуправляемые воздействия входят в состав модели в форме переменных величин, а параметры рассматриваются как постоянные.

Методы управления разделяются на две группы:

1) связанные с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ;

2) не требующие изменений схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ – укрепление горных пород.

Рекомендуемый для практического использования метод управления должен удовлетворять четырём условиям:

- технической надёжности;
- технологичности;
- универсальности;
- экономической целесообразности.

Техническая надёжность – необратимое достижение заданных количественных характеристик состояния массива на весь период эксплуатации инженерного сооружения.

Технологичность характеризуется сравнительно простой технологией работ, небольшим сроком исполнения, быстрым получением требуемого результата, преимущественным использованием имеющихся на предприятии оборудования и материалов.

Универсальность заключается в возможности использования методов для решения не одной, а нескольких (комплекса) задач, связанных с управлением деформационными процессами.

Экономическая целесообразность характеризуется максимальным экономическим эффектом, который достигается при использовании данного метода по сравнению с другими возможными техническими решениями.

При этом требование технической надёжности рекомендуемого метода должно удовлетворяться во всех случаях. Для экономической целесообразности этот показатель при сравнении вариантов может быть и не выдержан, если по условиям производства работ технологичности метода отдается предпочтение.

В современной научно-технической литературе достаточно подробно рассмотрен ряд методов управления деформационными процессами, связанных с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ на карьерах.

Наибольшее распространение в горной практике получили:

1) снижение воздействия массовых взрывов в приконтурных зонах; область применения – скальные и полускальные трещиноватые породы;

2) оставление предохранительных целиков; область применения – обеспечение сохранения промышленных сооружений, размещённых в пределах карьерного поля; отработка месторождения комбинированным (открытым и подземным) способами;

3) выполаживание угла откоса уступа или борта; область применения – отработка краевых участков месторождения, стабилизация временно нерабочих бортов смежного карьерного поля;

4) отгрузка очага оползня.

Рассмотрим более подробно некоторые из этих методов.

Снижение воздействия массовых взрывов. Способы снижения вредного воздействия взрывов на устойчивость откосов могут быть разделены на две группы.

Первая группа способов предполагает изменение параметров взрывных работ в приконтурных зонах при неизменном порядке их отработки.

Во вторую группу включены способы, в которых меняется порядок отработки приконтурных зон при неизменных параметрах взрывных работ. Наиболее распространены методы первой группы: изменение конструкции и массы заряда; контурное взрывание.

Различают два вида контурного взрывания:

- «гладкое взрывание», когда заряды контурного ряда взрываются после основных зарядов дробления;

- «предварительное щелеобразование», когда заряды контурного ряда взрываются первыми.

Опыт показывает, что метод снижения сейсмического эффекта взрыва с помощью создания в откосе отрезной щели обладает высокой эффективностью.

Выполаживание угла откоса. Сущность способа заключается в том, что в целях предупреждения оползня уменьшают угол наклона борта или уступа до какой-то определённой величины, при которой оползня не произойдет. Расчёт этого угла откоса производится последовательно для нескольких углов наклона борта.

Снятие нагрузки с призмы активного давления. При ведении горных работ в зоне действующих глубинных оползней или в зоне их возможного образования целесообразно управление устойчивостью откоса путём разгрузки призмы активного давления и, наоборот, увеличение массы призмы упора отсыпной дамбы в её нижней части. Эффективность метода определяется тем обстоятельством, что при небольших углах наклона борта карьера развитие оползня происходит медленно и это позволяет произвести значительные работы по перемещению горных масс с активной призмы в район пассивной призмы (призмы упора).

Отгрузка очага оползня. Данный способ даёт хорошие результаты в тех случаях, когда падение слоёв направлено в сторону выработанного пространства и угол наклона не менее 18–20°. При

подрезке слоёв горными работами неизбежно скольжение пород по плоскостям напластования, поэтому для предотвращения оползня целесообразно заранее снять часть пород и тем самым повысить устойчивость.

Создание предохранительных валов для защиты от деформаций горных пород. При разработке месторождений нагорного типа, имеющих небольшие размеры по простиранию, ведение горных работ одновременно на нескольких горизонтах затруднено, так как возникает опасность падения кусков породы с верхних горизонтов. Параметры предохранительного вала зависят от массы кусков породы и скорости их движения, а скорость определяется формой и размерами кусков, геометрией борта, отдельных уступов и другими факторами.

Искусственное укрепление массива горных пород. Изучение способов укрепления горных пород следует проводить на основе их классификации, позволяющей систематизировать данную область знаний и выявить внутренние закономерные связи между классифицируемыми подразделениями.

В соответствии с классификацией методы разделены на три группы.

В первую группу включены методы, применение которых не вызывает изменения состава, строения и свойств пород. В эту группу входят методы укрепления с использованием штанговой крепи, гибких тросовых тяжей, железобетонных свай и др.

Во вторую группу включены методы, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород. Отнесены методы уплотнения пород, поверхностные покрытия и др.

Третья группа охватывает методы, применение которых приводит к существенному изменению состава, строения и свойств пород. В эту группу включены методы, связанные с инъектированием укрепляющих агентов (силикатизация, цементация, электрохимическое укрепление и др.).

Способы *первой группы* укрепления, не вызывающие изменения состава строения и свойств пород, следующие.

Сущность способа *укрепления штангами* заключается в бурении скважин в массиве горных пород и установке в них металлических штанг, которые скрепляют отдельные блоки пород между со-

бой. Пространство между штангами и стенками скважин затем цементируется.

Анкерная крепь – система закрепления в шпурах металлических, железобетонных, деревянных или полимерных анкеров, расположенных определённым образом в кровле и боках выработки и предназначенных с поддерживающими элементами для упрочнения массива пород и повышения устойчивости обнажений благодаря скреплению слоёв и структурных блоков. Анкерную крепь обычно применяют в породах крупноблочной и сланцевой структур.

Способ укрепления откосов *гибкими тросами* можно рассматривать как разновидность анкерного крепления.

Железобетонные сваи. Сущность способа заключается в бурении скважин в массиве горных пород, установке в них металлической арматуры (гибкой, жёсткой, стальных канатов и др.) и последующем бетонировании или цементации скважины. Образованные в породном массиве сваи увеличивают его сопротивление сдвигу и несущую способность. Область применения – массив горных пород, ослабленных слоистостью, тектоническими трещинами или нарушениями. Так, железобетонные сваи надёжно закрепляют участки, имеющие выраженные плоскости ослабления: тектонические трещины, слоистость, зоны нарушений и т. п.

При укреплении участков, сложенных сильнотрещиноватыми породами, целесообразно наряду со сваями производить нагнетание в массив укрепляющего цементного раствора.

Способы укрепления, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород, относятся ко второй группе. В этой группе наиболее распространены следующие.

Бетонные покрытия. Этот вид покрытий выполняется чаще всего с помощью набрызга, заключающегося в том, что на породу с помощью сжатого воздуха наносится раствор из смеси цемента, заполнителей и воды, который прочно схватывается с поверхностью и затвердевает. Если заполнитель содержит мелкие фракции (до 8 мм), то в результате набрызга образуется торкрет-бетон, а при наполнителе с включениями крупных фракций (до 25 мм) – шприц-бетон.

Торкрет-бетон состоит из цемента, песка и воды, а шприц-бетон состоит из смеси гравия или щебня, песка, воды и специальной добавки, ускоряющей схватывание и твердение покрытия.

Покрyтия из химических материалов. Этот способ основан на управлении свойствами и структурой грунта в укрепляемом поверхностном слое с помощью введения в него различных вяжущих веществ. В качестве структурообразователя могут быть использованы цементный раствор, неорганическое вяжущее вещество, синтетические смолы.

Биологический способ предусматривает посадку (посев) культурных или дикорастущих растений в поверхностный слой укрепляемых пород или внесение в этот слой культур микроорганизмов.

Способы укрепления, вызывающие существенное изменение состава, строение и свойств пород (третья группа).

Наиболее распространенным является способ инъекций цементного раствора. Эффективными в ряде случаев могут быть инъекции жидких полимерных смол.

Цементация применяется для повышения устойчивости откосов и устройства противофильтрационных завес. Сущность способа заключается в нагнетании в массив горных пород через инъекторы, установленные в буровых скважинах, цементного раствора, который, заполняя пустоты и трещины, схватывается с породами, твердеет и повышает их водонепроницаемость и устойчивость.

Смолизация. Сущность способа заключается в том, что в массив горных пород вводится (с поверхности или через инъекторы) синтетическая смола, связывающая минеральные частицы и придающая породам прочность и водонепроницаемость. В современной химической промышленности достаточно большой ассортимент всевозможных смол, полимеров и других химических веществ, позволяющих использовать их в качестве компонентов вяжущего материала для оструктурирования различных грунтов.

Электрохимическое укрепление применяют для повышения устойчивости уступов и бортов карьеров, стабилизации деформационных процессов, создания водонепроницаемых экранов, повышения несущей способности пород для обеспечения проходимости тяжёлого горнотранспортного оборудования, укрепления слабых оснований отвалов.

Сущность способа заключается в том, что наложение на массив песчано-глинистых пород постоянного электрического поля вызывает в массиве явление электропереноса – направленного перемещения между разноименными полюсами поля частиц – носителей

электрического заряда (ионов, дисперсных частиц и молекул воды). Возникающие при этом электрокинетические и электрохимические процессы вызывают коагуляционно-кристаллизационные явления, снижающие влажность пород и увеличивающие их плотность и, естественно, прочность.

На практике использование метода упрочнения постоянным электрическим полем выглядит следующим образом. В укрепляемом борте бурят кусты скважин, в которых анодные скважины располагают вокруг одной катодной скважины. Длина скважин на 10–15% больше мощности оползневых пород. Расстояние между кустами скважин выбирают таким образом, чтобы была обеспечена устойчивость откоса.

1.9. Укрепление откосов железобетонными сваями, шпонами, штангами и гибкими тяжами

Железобетонные сваи и шпона применяются для укрепления участков уступов, сложенных крепкими скальными породами, ослабленными тектоническими нарушениями и трещинами большого протяжения, слабыми прослоями и напластованиями, падающими в выработанное пространство под углом 20–50° (рис. 1.21).

В практике карьеров страны применяются железобетонные сваи двух типов:

- набивные, изготавливаемые непосредственно на месте укрепления уступа в скважинах, для чего используются бывшие в эксплуатации рельсы, швеллеры или другой вид проката черных металлов;
- серийно выпускаемые железобетонные сваи.

Диаметр типовых свай заводского изготовления колеблется в широких пределах от 200 до 1000 мм.

Диаметр шпон в отличие от буровых скважин может быть значительно увеличен взрыванием камуфлетных зарядов или с помощью расширителей скважин. Для укрепления уступов необходимо, чтобы нижний конец сваи или нижняя часть шпона имели прочную связь с монолитной зоной горных пород, образующей замок сваи или шпона.

По характеру взаимодействия железобетонной сваи и деформирующегося массива горных пород различают: сваи, работающие на срез, и сваи, работающие на изгиб.

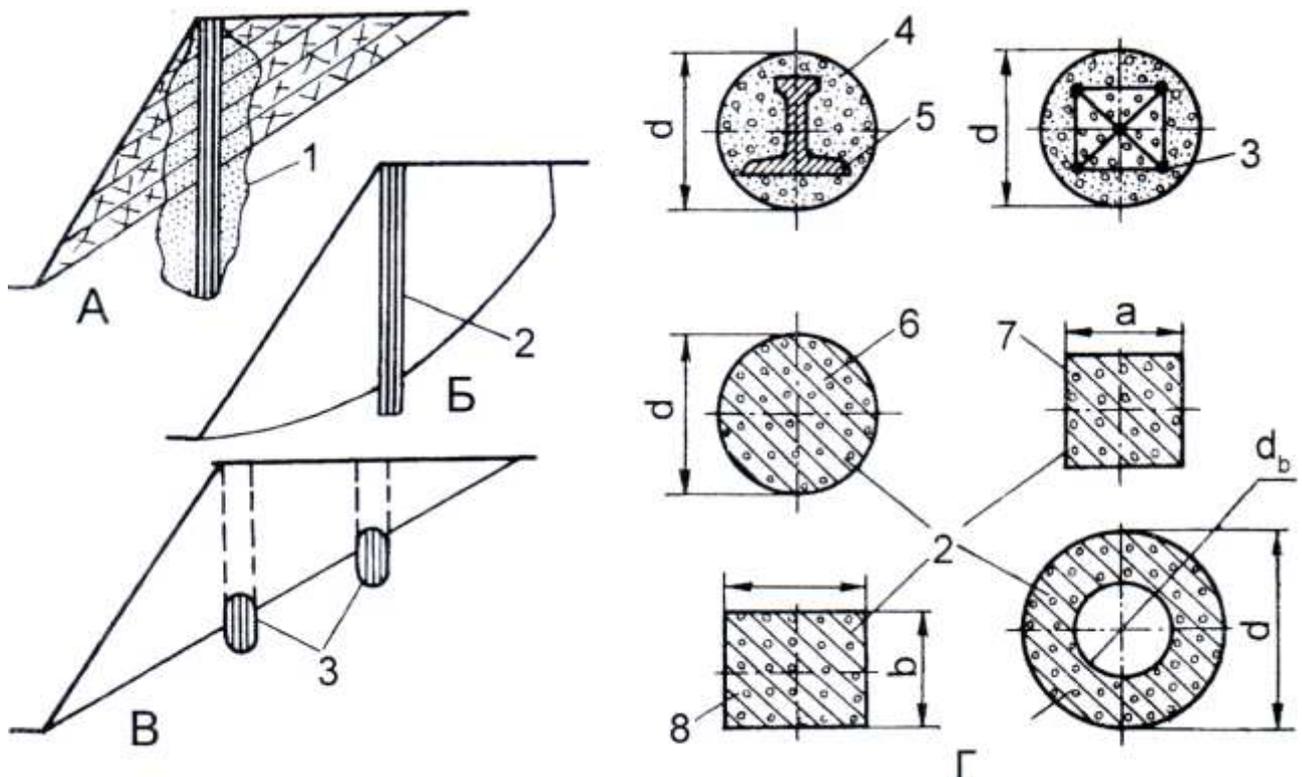


Рис. 1.21. Схемы укрепления уступов железобетонными сваями и шпонами: А – железобетонная свая с цементацией массива; Б – трубчатая свая большого диаметра; В – железобетонные шпоны; Г – сечения железобетонных свай: 1 – свая набивного типа; 2 – свая заводского изготовления; 3 – гибкая арматура; 4 – бетон; 5 – жёсткая арматура из рельса; 6 – свая круглого сечения; 7 – свая квадратного сечения, 8 – свая прямоугольного сечения; a , b – поперечные размеры свай квадратного и прямоугольного сечения; d , d_b – внешний и внутренний диаметры свай круглого и трубчатого сечения

При выборе свай для работы на срез стремятся усилить армирование или заложить сваи со сплошным поперечным сечением. Сваи, работающие на изгиб, должны иметь большую жёсткость, пропорциональную модулю упругости материала сваи E_m (МПа) и моменту инерции её сечения I (кН·м). Сопротивляемость сваи изгибу повышается, если верхний её конец закрепить тягой. Наилучшая конструкция изгибаемой сваи – трубчатого сечения, так как при изгибе нормальные напряжения, действующие в поперечном сечении, имеют максимальные значения у поверхности сваи и равны нулю вдоль её нейтральной оси. При этом необходимо жёсткую арматуру в скважине располагать так, чтобы наибольший момент сопротивления её изгибу M (кН·м) совпадал с направлением действия сдвигающих сил T (МПа).

Сваи могут быть установлены в один или несколько рядов, располагаться в ряду в зависимости от строения массива, характера деформирования уступа, физико-механических свойств пород и размеров сечения сваи в различном порядке. Из свай можно возводить однорядные или многорядные стенки (расстояние между сваями принимается менее их диаметров) аналогично шпунтовой или подпорной. Для усиления совместной работы свай их концы закрепляют железобетонным ростверком.

Основные достоинства свайного укрепления откосов следующие: высокая несущая способность свай при работе на срез или изгиб; простота их установки; полная механизация работ, позволяющая достигнуть высокой производительности; возможность укрепления участков значительной протяжённости и большой высоты уступов с глубоким залеганием поверхностей ослабления.

Применение свай ограничивается на участках, ослабленных крутопадающими поверхностями скольжения, включающих трещины большой протяжённости; на участках с нарушенными горными породами в призме возможного обрушения и с зоной смещения и ослабления, имеющими значительную мощность.

Расчёт параметров укрепления уступов сваями и шпонами сводится к выбору их конструкции, определению несущей способности, расстояния между сваями, числа рядов, глубины заделки замка ниже наиболее опасной поверхности ослабления. Несущая способность и величина изгибающего момента железобетонных свай заводского изготовления обычно указываются в паспорте изделия. Затем, зная величину дополнительного удерживающего усилия, необходимого для укрепления откоса, определяют число свай и расстояние между ними. Расчёт нетиповых железобетонных свай-оболочек (трубчатый тип) производится исходя из условия прочности сваи при изгибе в соответствии с действующим руководством. Глубина заделки концов свай в ненарушенный массив ниже потенциальной поверхности скольжения зависит от прочности пород и давления на сваи со стороны призмы обрушения.

Работы по установке свай включают бурение скважин под сваи; спуск типовой сваи или арматуры в скважину и подготовку скважины к бетонированию или цементации; заливку в скважину бетона или цементного раствора.

Сущность способа упрочнения откосов и стабилизации оползней с помощью железобетонных свай набивного типа заключается в бурении скважин в массиве горных пород, установке в них металлической арматуры (гибкой, жёсткой, стальных канатов и пр.), подготовку к бетонированию или цементированию, набивку скважины цементным раствором или бетоном.

При проведении работ по искусственному укреплению бортов карьеров, сложенных песчаниками и алевролитами и подверженных оползневым явлениям, как правило, применяются сваи набивного типа диаметром 150–230 мм. Железобетонные сваи (арматура – рельсы Р-33) располагаются в один ряд с интервалом 3–4 м. В качестве наполнителя скважины используется щебень размером ≤ 40 мм. Схема укрепления участка с помощью железобетонных свай набивного типа приведена на рис. 1.22.

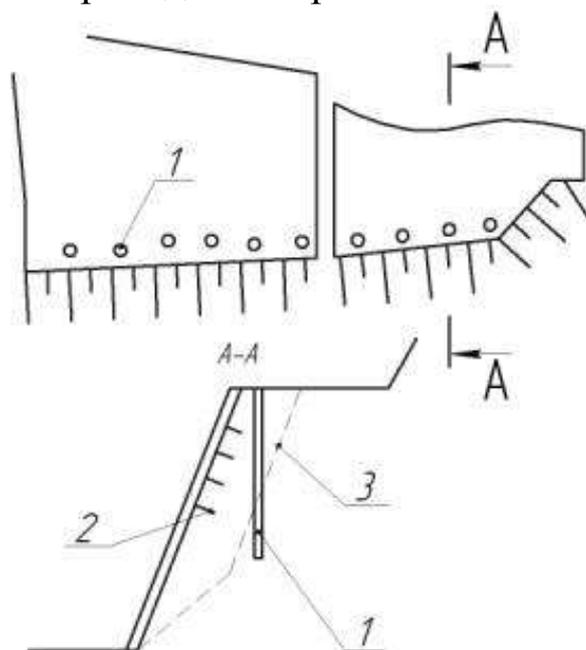


Рис. 1.22. Схема укрепления участка с помощью железобетонных свай набивного типа: 1 – железобетонные сваи; 2 – железобетонные штанги; 3 – расчётная поверхность скольжения

Недостатками данной технологии является сравнительно высокая цена и значительные динамические воздействия на массив.

Известен опыт применения железобетонных свай на Кургашиноканском карьере (Таджикистан) на участках, сложенных сиенито-диоритами и их разновидностями и ослабленных крупными тектоническими трещинами, падающими в сторону выемки, и пересекающимися трещинами основных систем. Работы проводились

на двух уступах высотой 30 и 20 м. В скважины глубиной 30 м и диаметром 200 мм опускались бывшие в употреблении рельсы типа Р-50 и Р-43. Пространство между стенками скважины и рельсами заполнялось щебнем, затем устье скважины запиралось бетонной пробкой с установленной в ней трубкой-кондуктором, через которую нагнетался цементный раствор под давлением до 1,2 МПа. Всего установлено было 35 свай в следующих местах: на уступе высотой 30 м – 21 свая в два ряда длиной 50 м в шахматном порядке на расстоянии 5 м друг от друга с промежутками между рядами 3–4 м и на уступе высотой 20 м – 14 свай в один ряд длиной 70 м. Расход рельсов составил 36 т (860 м), портландцемента марки 400 – около 50 т. Общий объём укрепленного массива горных пород составил $30 \cdot 10^3 \text{ м}^3$.

Штанги и гибкие тросовые тяжи применяют для укрепления откосов маловыветрелых крупноблочных скальных массивов горных пород слоистой или сланцеватой структуры. По характеру работы выделяют штанги, работающие на растяжение и на срез. Штанги и тросовые тяжи, работающие на растяжение, натягиваются после их установки с помощью специальных механизмов или самонатягиваются в процессе деформирования массива. При этом с целью упрощения производства работ при установке штанг с заданным начальным натяжением скважины бурят горизонтально или под углом i , равным $10\text{--}15^\circ$ к горизонту (рис. 1.23).

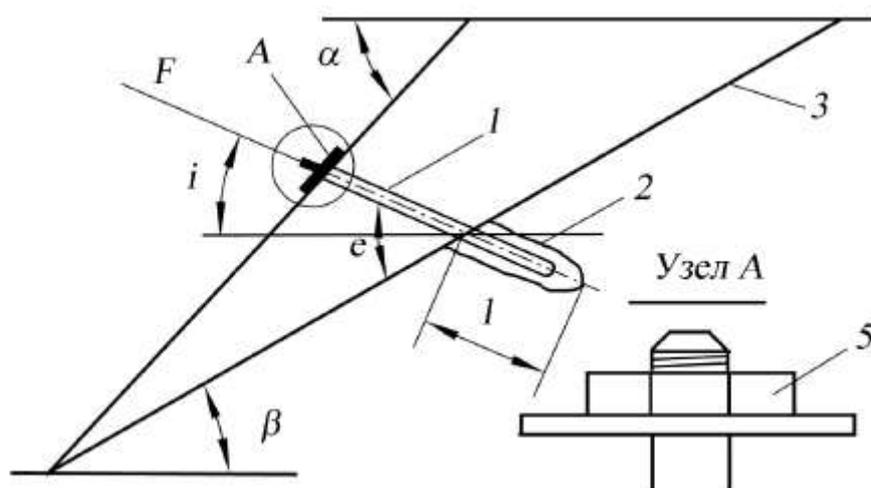


Рис. 1.23. Схема укрепления уступа штангой: 1 – штанга; 2 – замок штанги длиной l ; 3 – поверхность ослабления; 4 – опорная металлическая накладка; 5 – гайка

Эффективная работа штанг с самонатяжением достигается при установке под минимально возможным углом e к поверхности скольжения.

Работающие на срез штанги имеют повышенный диаметр и сопротивление срезу и устанавливаются нормально к поверхности сдвига блоков ($e = 90^\circ$). Наиболее экономичный угол наклона штанги с учётом эффективности укрепления откоса, объёма бурения и расхода материалов – угол, равный

$$e = 45^\circ \pm \varphi / 2,$$

где φ – угол внутреннего трения ($\operatorname{tg} \varphi = \tau / \delta$, где τ и δ – касательное и нормальное напряжения в массиве, МПа), град.

Штанги различных типов отличаются конструкцией замковой части (с распорной муфтой, клиновая, конусная, взрывная и др.). Самонатягиваемые штанги устанавливают без замков, так как бетоном заполняется свободное пространство между арматурой периодического профиля и стенками скважины по всей её длине, что обеспечивает связь штанги с массивом.

При установке гибких тяжей в замковой части трос расплетается, в результате чего повышается прочность замка за счёт увеличения поверхности сопротивления прядей с бетоном. В зависимости от размеров укрепляемых блоков горной породы на поверхности откоса применяют в качестве затяжек железобетонные плиты, металлическую сетку, торкретбетон по металлической сетке и т. п. Железобетонные плиты соединяются тремя-четырьмя штангами, металлической сеткой, прикреплённой к штангам, затягивается всё пространство между ними.

Расчёт параметров укрепления уступов штангами и гибкими тросовыми тяжами при известном ожидаемом давлении горных пород включает определение величины начального натяжения конструкции для конкретного участка; общего числа элементов крепи (при известной несущей способности одного); расстояния между конструкциями; глубины заделки замков конструкций в ненарушенном массиве.

Величина суммарного натяжения элементов крепи Q (кН·м) должна быть больше ожидаемого максимального давления призмы обрушения F_0 (кН·м) или равна ему.

Число однотипных штанг или тросовых тяжей m на 1 м длины уступа определяется из выражения

$$m = \frac{F_o}{Q_p},$$

где Q_p – несущая способность одного элемента при работе его на растяжение, Н.

При установке железобетонных штанг без начального натяжения для работы их на срез общее число конструкций определяется по формуле

$$m = \frac{4F_o}{\pi d_1^2 R_{cp}},$$

где d_1 – диаметр конструкции, мм; R_{cp} – нормативное сопротивление материала конструкции срезу, МПа.

Расстояние между отдельными элементами крепи в ряду, а также между рядами определяется исходя из размеров структурных блоков и состояния участка.

При расчёте заделки замков вне зоны сдвига учитывают их возможное разрушение для трёх условий на выдёргивание конструкций: штанги с замков; штанги из замка; штанги вместе с породой. Несущая способность на разрыв одной штанги Q_p (МПа) зависит от её диаметра d_1 (мм) и нормативного сопротивления арматуры разрыву R_H (МПа):

$$Q_p = \frac{\pi d_1^2 R_H}{4}.$$

Наиболее экономичным будет такое закрепление арматуры, при котором несущая способность на разрыв одной штанги (тяжа) равна силе сцепления бетона с арматурой, действующей по поверхности штанги (тяжа) на участке замка, а также равна силе вырыва породы при выдёргивании замка штанги. В этом случае длина замка l (м), достаточная для сопротивления выдёргиванию из него штанги, определяется из выражения

$$l = \frac{d_1 R_H}{4R_c},$$

где R_c – удельное сцепление бетона с арматурой, МПа.

Для расчёта сопротивления вырыву породы вместе со штангой необходимо длину замка определить по формуле

$$l = \frac{R_c \sin\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) d_1}{R_p \operatorname{ctg}\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)},$$

где R_p – сопротивление горной породы отрыву в массиве, МПа.

Требуемую величину удельного сцепления бетона с арматурой можно получить при условии равенства двух предыдущих выражений, тогда

$$R_c = 0,5 \sqrt{R_H R_p \frac{\operatorname{ctg} \omega}{\sin \omega}},$$

где $\omega = (45^\circ + \varphi/2)$.

Работы по укреплению откосов штангами и гибкими тросовыми тяжами выполняются в следующем порядке:

- оборка заколов и промывка водой поверхности откоса уступа;
- монтаж подвесной люльки или специального самоходного полка для бурения скважин и установки штанг;
- бурение скважин;
- установка в скважинах штанг или тяжей;
- бетонирование замков конструкций штанг или полностью скважины;
- затяжка поверхности откоса железобетонными плитами или навеска арматурной сетки для покрытия торкрет-бетоном;
- установка шайб и натяжение конструкций;
- покрытие торкрет-бетоном поверхности откоса или стыков между железобетонными плитами.

Известен опыт укрепления штанговой крепью участка борта Киселёвского угольного разреза (Центральный Кузбасс) с целью уменьшения объёма вскрышных работ. На разрезе был закреплён уступ, сложенный глинистыми сланцами, длиной 50 м по простиранию. Укрепление производилось штангами длиной 2,13 м и диаметром 25 мм с клиновым замком. Затяжка поверхности откоса выполнялась «горбылями», имеющими толщину 8–10 мм. Шаг между штангами составлял 2 м. После обработки нижележащего уступа закреплённая часть борта сохранила устойчивое состояние, в то время как на незакреплённой его части образовались трещины и отслоения.

Опыт экспериментальных работ и производственных испытаний по укреплению откосов тросами имеется на Кургашинканском

карьере, где были укреплены откосы, подсечённые крутопадающими поверхностями ослабления, бывшими в употреблении экскаваторными канатами диаметром 39 мм с расчётным сопротивлением разрыву 0,9 МПа. Канаты бетонировались в скважинах диаметром 105 мм, глубиной 16 м и длиной замковой части 4–5 м. В каждую скважину вводилось по два троса. Укрепление уступов способствовало предотвращению локальных обрушений блоков породы.

1.10. Укрепление откосов с помощью сплошных противооползневых сооружений

К механическому укреплению откосов относятся сплошные противооползневые сооружения: массивная подпорная стена, защитная стенка и контрфорс.

Массивная подпорная стена – железобетонная конструкция, удерживающая от нарушения устойчивости откос и воспринимающая расположенные на его поверхности нагрузки.

Назначение массивных подпорных стен – оказывать лобовое сопротивление давлению оползневых масс по фронту их распространения и на высоту оползневого тела. Их основание должно быть расположено вне зоны оползневых деформаций и обладать достаточным сопротивлением сдвигу с учётом веса конструкций, оползневого давления и воздействия горнотехнических факторов.

Для удержания грунтов склона от сдвига применяют массивные и тонкоэлементные подпорные стенки на естественном основании, подпорные стенки на свайных фундаментах, опоры, врезанные в тело грунтового массива, опояски (рис. 1.24, 1.25).

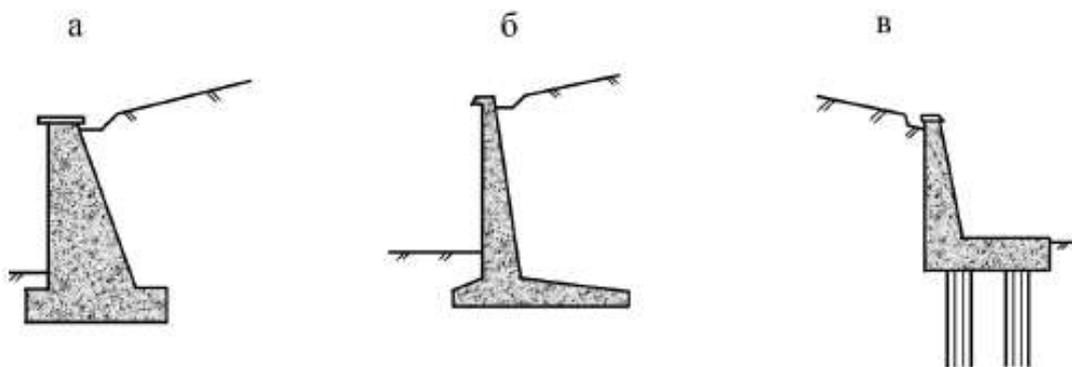


Рис. 1.24. Схема подпорных стенок на естественном основании и на сваях: *а* – монолитная; *б* – сборная; *в* – на свайном фундаменте

Для закрепления или предотвращения оползней и передачи удерживающих усилий на прочный подстилающий слой, в который возможна заделка нижних концов свай или столбов, применяют удерживающие свайные конструкции из одного или двух рядов железобетонных свай – буронабивных с ростверком или отдельных железобетонных столбов, свай-шпонок (рис. 1.26).

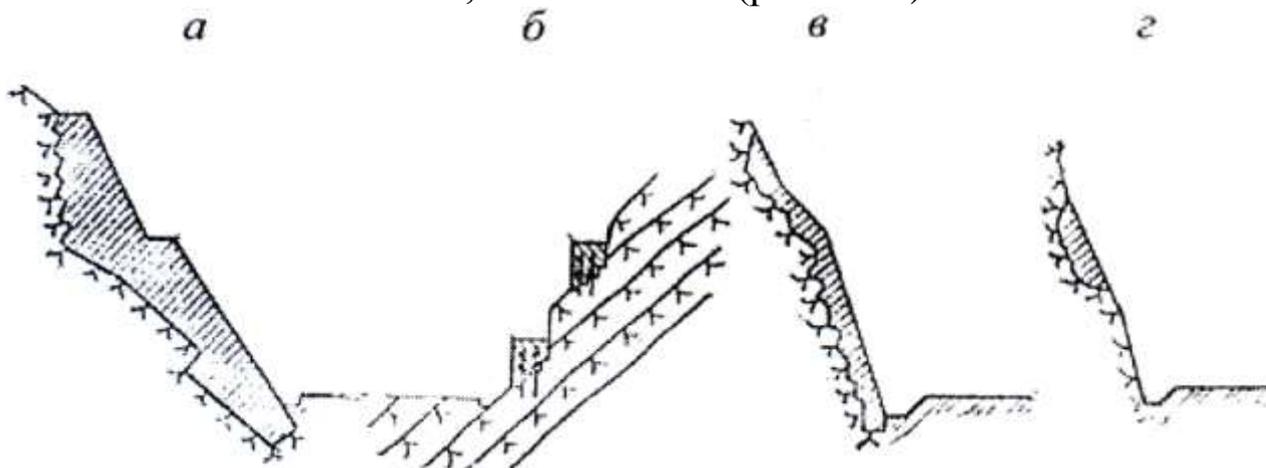


Рис. 1.25. Схема подпорных стенок и облицовочных стен: *а* – опора, врезанная в тело грунтового массива; *б* – опояски; *в* – облицовочная стена; *г* – пломба

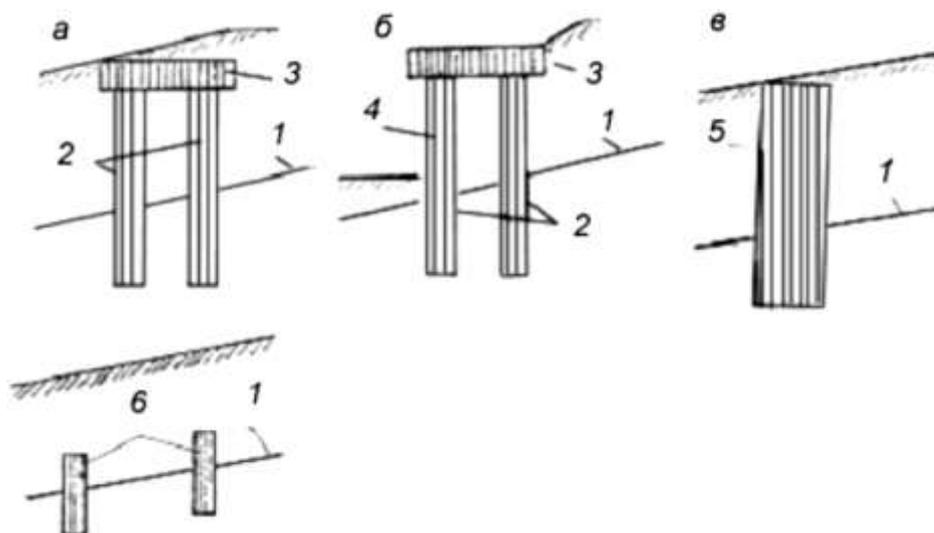


Рис. 1.26. Схема свайных и столбчатых удерживающих конструкций: *а, б* – свайные конструкции; *в* – железобетонные столбы; *г* – свай-шпонки; *1* – предполагаемая поверхность сдвига; *2* – железобетонные сваи; *3* – монолитный железобетонный ростверк; *4* – облицовочная железобетонная плита; *5* – железобетонный столб; *б* – свая-шпонка

Для подпорных стен на свайном фундаменте применяются железобетонные буронабивные сваи с монолитным железобетонным

ростверком. Для удержания массива грунта относительно подстилающего слоя используют железобетонные столбы, а в твёрдых (прочных) грунтах с чётко выраженной ослабленной поверхностью, наклонной к горизонту под углом не более 50° – сваи-шпонки, устанавливая их с уплотнением в вертикально пробуренные скважины, расположенные по площади откоса.

Наряду с перечисленными удерживающими конструкциями применяют комбинированные устройства (рис. 1.27), удерживающие грунты и крупногабаритные включения твёрдых пород.

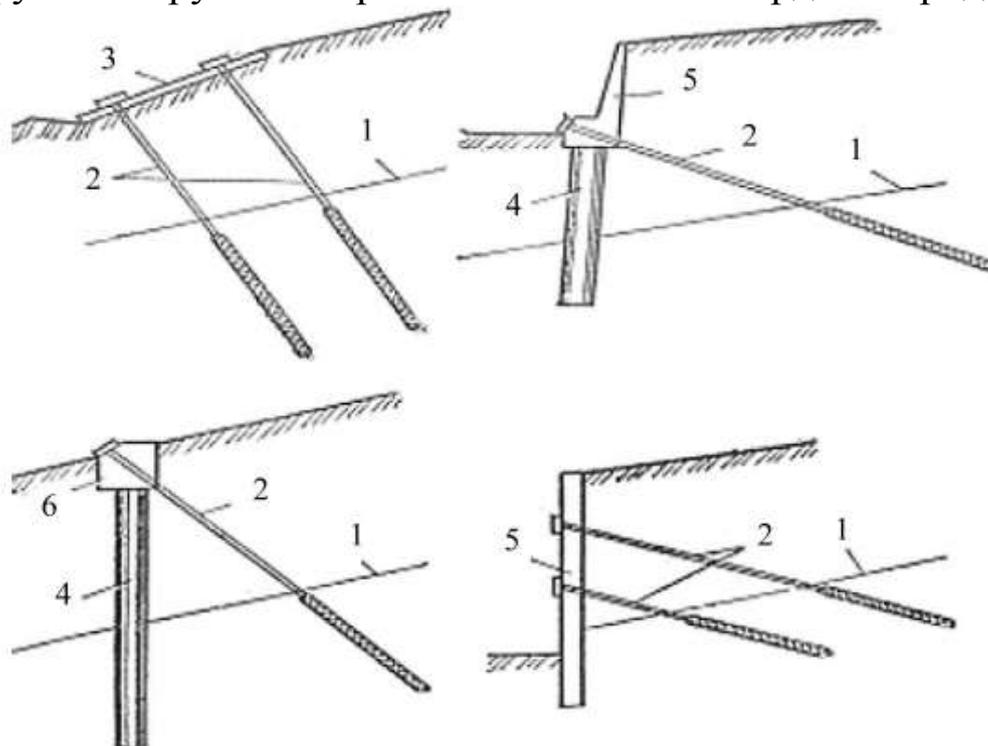


Рис. 1.27. Схемы комбинированных устройств: 1 – предполагаемая поверхность сдвига; 2 – анкерное устройство; 3 – железобетонная плита (подпорная стенка); 4 – железобетонная свая; 5 – подпорная стенка; 6 – железобетонный ростверк (столб)

В зависимости от характера, назначения, размеров нагрузок и их воздействия на откосы необходимо проводить регулирование поверхностного стока, водопонижение, берегоукрепление, пригрузку откосов грунтом или каменной наброской, поверхностное и глубинное укрепление грунтов.

Расчёт массивных железобетонных стен производится на прочность с учётом сопротивления сдвигу по подошве и опрокидыванию (рис. 1.28).

В результате этих расчётов для нормальных условий должно быть соответствие: оползневое давление по подошве стенки не пре-

вышает допустимой величины; обеспечен достаточный запас устойчивости на опрокидывание и на сдвиг стенки. Удовлетворить эти условия можно благодаря возведению подпорной стенки на прочном скальном или свайном основании с соразмерными габаритами (ширина и высота).

Параметры стены определяют при условии, что коэффициент запаса на сдвиг равен 1,3, а коэффициент запаса на опрокидывание – 1,5. При этом напряжения по подошве стены должны быть распределены равномерно и не превышать допустимые значения.

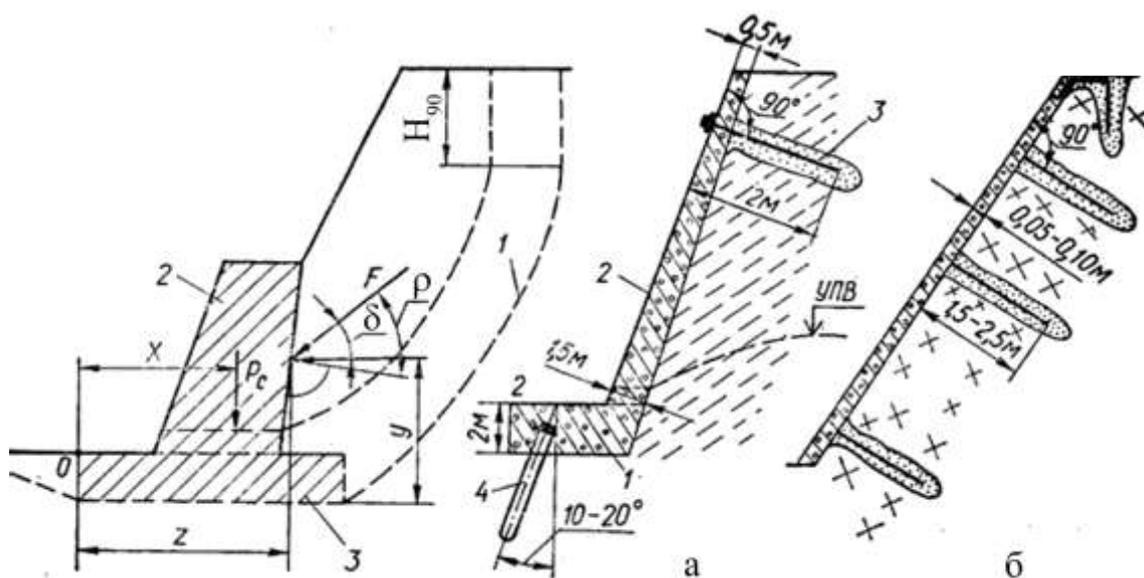


Рис. 1.28. Схема к расчёту массивной подпорной стены на сдвиг и опрокидывание (слева): 1 – поверхность скольжения; 2 – подпорная стенка; 3 – подошва стенки; P_c – собственная масса стены, кг; F – равнодействующая оползневого давления, МПа; δ – угол наклона равнодействующей оползневого давления к горизонту, град; ρ – угол между нормалью к внутренней части подпорной стенки и равнодействующей оползневого давления, град; x , y , z – плечи удерживающих и опрокидывающих сил. Железобетонные защитные стенки (справа): а – на фундаменте; б – подвесная на штангах; 1 – фундамент; 2 – дренажное окно; 3 – штанга диаметром до 40 мм; 4 – свая массивная; УПВ – уровень подземных вод

Если стена возводится на слабом основании, то расчётом проверяется возможность сдвига под подошвой стены. Коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле

$$n = \frac{(P_c + F \sin \delta) f}{F \cos \delta},$$

где P_c – собственная масса стены, кг; F – равнодействующая оползневоего давления, МПа; δ – угол наклона равнодействующей оползневоего давления к горизонту, град; f – коэффициент трения подошвы стены по основанию.

Устойчивость стены против опрокидывания определяется соотношением моментов удерживающих $M_{уд}$ (кН·м) и опрокидывающих $M_{опр}$ (кН·м):

$$n = M_{уд} / M_{опр} .$$

Момент удерживающей силы относительно точки O :

$$M_{уд} = P_c x + F \sin \delta z ,$$

а опрокидывающей силы

$$M_{опр} = F \cos \delta y ,$$

где x , y , z – плечи удерживающих и опрокидывающих сил.

Тогда коэффициент запаса устойчивости стены против опрокидывания можно определить из выражения

$$n = \frac{P_c x + F \sin \delta z}{F \cos \delta y} .$$

Массивная подпорная стена редко применяется в практике открытых горных работ из-за следующих недостатков:

- трудоёмкости возведения этих сооружений, требующей значительного расхода материалов, затрат на изготовление конструкций, на использование механизмов и рабочей силы;
- высокой себестоимости укрепления по сравнению с другими способами;
- значительных размеров, связанных с требуемой несущей способностью;
- большой массы, создающей дополнительную нагрузку на нижележащие уступы.

Защитная стенка выполняет функцию укрепления откосов и защиты их поверхности от проникновения в него различных агентов выветривания. В отличие от подпорной стены она имеет небольшую толщину (0,5–1,5 м). Устойчивость защитной стены достигается за счёт заделки её фундамента в основание укрепляемого уступа и анкеровки верхней её части (рис. 1.28, справа). Подвесные монолит-

ные или сборные (из плит) железобетонные тонкие стенки толщиной 5–10 см сооружаются для предотвращения образования осыпей в трещиноватых скальных и полускальных породах.

Защитный слой в виде изолирующих покрытий поверхности откоса, получаемый в результате торкретирования с применением мелких фракций заполнителей (до 8 мм), называется торкрет-бетоном, а с использованием крупных фракций (до 25 мм) – набрызг-бетоном. Толщина защитного слоя из торкрет-бетона не превышает 65 мм, а из набрызг-бетона – 300 мм. Для увеличения прочности и снижения усадочных напряжений изолирующего покрытия торкретирование производят по металлической сетке с диаметром проволоки 2–6 мм и размером ячейки 100×100 или 150×150 мм. Сцепление торкрет-бетона с арматурой равно в среднем 1,5 МПа.

Для изолирующего покрытия поверхности пологих откосов применяют пленки из горячего битума с минеральными наполнителями (зола, мел, песок и др.) в количестве, не превышающем 30% объёма. При битумизации применяют битумы с низкой температурой размягчения и более высокой проницаемостью и пластичностью (марка III).

Контрфорс – насыпное сооружение из пород скальной вскрыши, применяют для укрепления откосов уступов нерабочих бортов, капитальных траншей и отвалов рыхлых пород. Этот способ является наиболее простым, эффективным, технологичным, мобильным и дешёвым по сравнению с другими противооползневыми сооружениями, применяемыми на карьерах. Пригрузка откоса скальными породами служит подпорной стеной и дренажной призмой, предотвращает набухание и оплывины глинистых пород, защищает поверхность откоса от эрозионного разрушения, а поверхность фильтрующего откоса – от промерзания, образования наледей, обеспечивает нормальные условия для работы дренажных устройств. Недостатки этого способа укрепления: большие масса насыпного сооружения и занимаемая им площадь.

Важнейшее требование укрепления откосов с помощью контрфорсов на предельном контуре борта карьера – недопущение задержки при сооружении пригрузки после выемки пород в заходке и заоткоске уступа. Ведение горных работ в этом случае должно осуществляться в соответствии с паспортом управления и укрепле-

ния уступа. Оно включает последовательное проведение технологических операций по выемке приконтурной полосы, заоткоске уступа и формированию контрфорса. Допустимая величина обнажения незаоткошенного уступа по простиранию определяется расчётом устойчивости откоса и не должна превышать минимального размера, необходимого для производства выемочно-погрузочных работ в забое.

При сооружении контрфорса на нерабочих бортах материал пригрузки укладывают в период времени, когда атмосферные осадки на свежее обнаженные поверхности откоса не попадают. Максимальный срок стояния непригруженного откоса после заоткоски в период выпадения атмосферных осадков или при влажности горных пород, превышающей естественную, может достигать 3–7 суток в зависимости от коэффициента запаса устойчивости откоса. С учётом кратковременного стояния откоса до сооружения контрфорса коэффициент запаса устойчивости можно принимать равным 1,1, т. е. менее нормативного значения.

При высоком уровне подземных вод в откосе для предотвращения фильтрационных деформаций дренажную призму и контрфорс формируют вслед подвигания забоя экскаватора. Контрфорсы отсыпают на подготовленное скальное или полускальное основание, взрыхлённое на глубину 1–1,5 м буровзрывным способом. Это повышает сопротивление сдвигу контрфорса в основании. При наличии в основании слабых пород, поддающихся экскавации, производят выемку на такую же глубину, с тем чтобы основание контрфорса не совпало с поверхностью скольжения. Повышает сопротивление сдвигу в основании контрфорса возведение свайного основания. Фундамент представляет собой ряд крутонаклонных свай в сторону выемки, забитых в основании уступа, верхние концы которых выступают на 2–2,5 м над подошвой контрфорса. Выступающие концы свай перевязывают железобетонными ригелями и после этого производят отсыпку скальных пород.

Параметры контрфорсов определяют для предотвращения поверхностных и глубинных деформаций откосов. Для предотвращения поверхностных деформаций откосов, связанных с воздействием поверхностных вод и колебанием температуры (агенты выветривания), сооружают контрфорс с минимально допустимой шириной основания и крутизной его откоса, равной углу естественного отко-

са скальных пород (32–40°). Минимальную толщину слоя контрфорса по вертикали h_{\min} (м) в выбранной точке поверхности откоса с углом β определяют исходя из необходимой величины нормального давления σ_{\min} (МПа), препятствующего развитию давления набухания глинистых пород и обеспечивающего удерживание частиц контрфорса на наклонной поверхности. Приближенное значение h_{\min} определяют по формуле

$$h_{\min} = \sigma_{\min} / (\gamma_k \cos \beta),$$

где σ_{\min} – минимальное нормальное давление (напряжение), МПа; γ_k – удельный вес материала контрфорса, кН/м³; β – угол наклона откоса уступа, град.

Ширина контрфорса поверху a (м) и понизу b (м) определяется путём построения угла естественного откоса скальных пород для такого значения σ_{\min} , которое превосходит все другие расчётные значения (рис. 1.29).

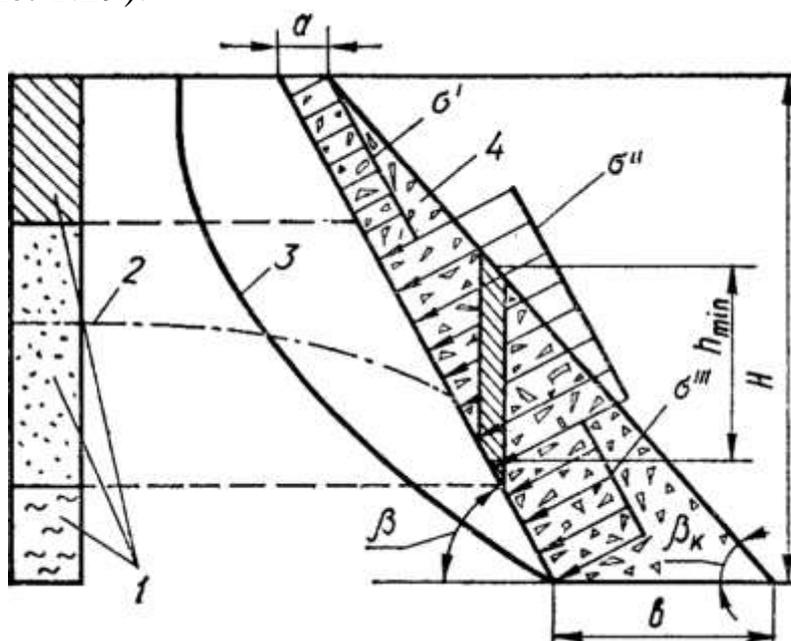


Рис. 1.29. Схема расчёта параметров контрфорса для предотвращения поверхностных и фильтрационных деформаций откоса: 1 – песчано-глинистые породы; 2 – депрессионная поверхность подземных вод; 3 – поверхность скольжения; 4 – материал контрфорса; H – высота уступа; β – угол откоса; β_k – угол откоса контрфорса; a – ширина контрфорса по верху; b – ширина контрфорса по низу; h_{\min} – минимальная толщина слоя контрфорса по вертикали, м; σ' , σ'' , σ''' – минимальные величины нормального давления (МПа) для удержания слоев горных пород, слагающих уступ

Параметры противофильтрационного контрфорса (дренажной призмы), препятствующего выносу частиц из массива и развитию языка оплывания, определяют с учётом высоты промежутка высачивания, расчётного заложения откоса, ширины зоны осыпания и параметров устойчивой против выпора пород призмы. После определения параметров противофильтрационного контрфорса (дренажной призмы, препятствующей выносу частиц из массива и развитию языка оплывания) выполняется контрольный расчёт его устойчивости с коэффициентом запаса 1,2–1,3 на контакте между песчано-гравийным слоем и поверхностью откоса уступа.

Прочность контрфорса повышается путём его укладки слоями с последующей укаткой. При этом создаются условия для увеличения угла зацепления кусков породы и исключается неблагоприятная слоистость в сторону выемки. Кроме этого, используя песок для заполнения пустот между кусками, улучшается их защемление, что повышает сопротивление сдвигу материала контрфорса.

В качестве материала контрфорса используются неклассифицированные скальные породы в объёме до 80% с крупностью 10–50 см и добавкой более мелкой фракции из разнозернистых песков или отходов обогатительных фабрик. На участках с интенсивным высачиванием подземных вод сначала укладывается обратный фильтр, состоящий из слоёв песка, гравия и щебня, а затем пригрузку.

Контрфорс возводится с нижней бермы уступа на высоту не менее одной трети его высоты, затем допускается укладка с верхней бермы. Технологические схемы сооружения контрфорса выбираются и разрабатываются в зависимости от горнотехнических условий и имеющегося в наличии на предприятии горнотранспортного оборудования.

Способы укрепления откосов с помощью подпорных стенок показаны на рис. 1.30.

Известен опыт применения контрфорсов на предельном контуре карьера №1 Криворожского ГОКа (Кривбасс) объёмом $450 \cdot 10^3$ м и длиной по простиранию 920 м для укрепления части борта высотой 20–30 м, сложенного рыхлыми водонасыщенными отложениями.

Недостатком данного способа укрепления является поверхностный характер его воздействия, т. е. только на откос уступа, вследствие чего он недостаточно эффективен для предотвращения деформаций и обрушений бортов карьеров, сложенных породами глинистого состава с нежёстким сцеплением минеральных частиц между собой.

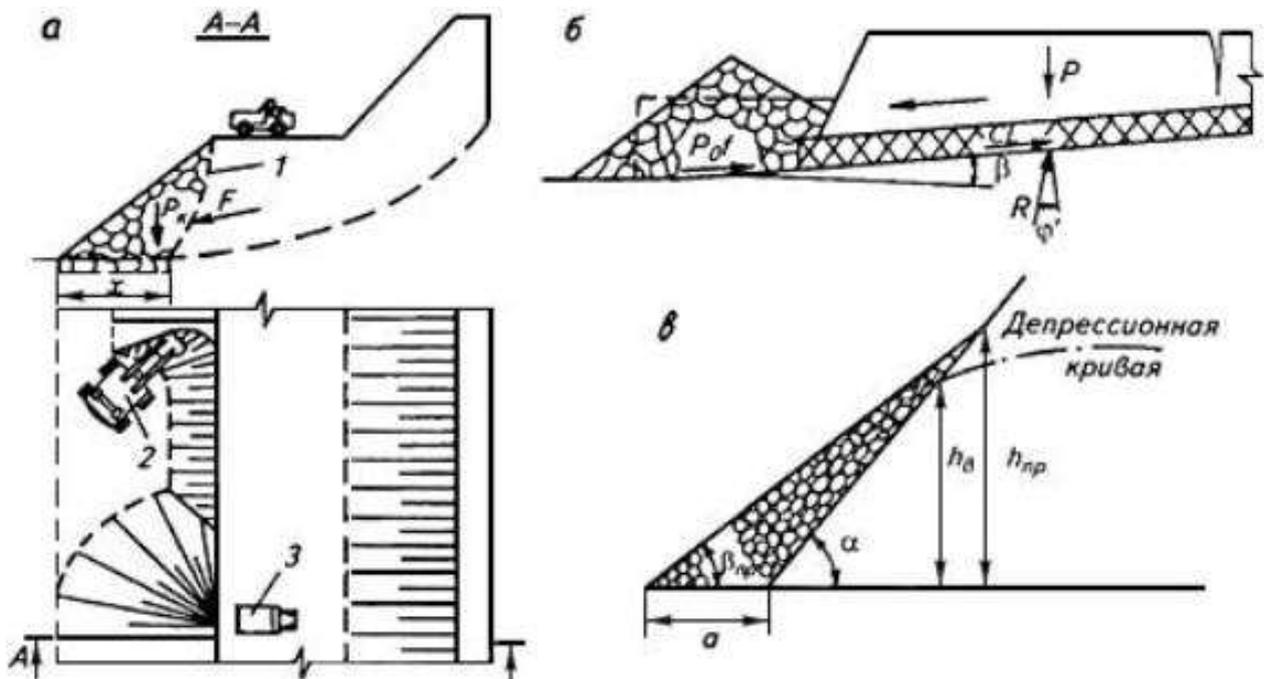


Рис. 1.30. Способы укрепления откосов с помощью подпорных стен: а – последовательность отсыпки контрфорса (1) автосамосвалом (3) в забое экскаватора (2); б – временная пригрузка рабочего борта; в – пригрузка фильтрующим материалом обводнённого уступа

1.11. Упрочнение массива горных пород

Методы упрочнения массива горных пород, получившие применение в практике открытых горных работ – цементация горных пород, силикатизация, смолизация, термическое упрочнение и упрочнение рыхлых пород камуфлетным взрывом.

Цементация горных пород состоит в том, что путём нагнетания цементного раствора через скважины искусственно закрепляются пустоты и трещины, в результате чего повышается их монолитность и водогазонепроницаемость (рис. 1.31).

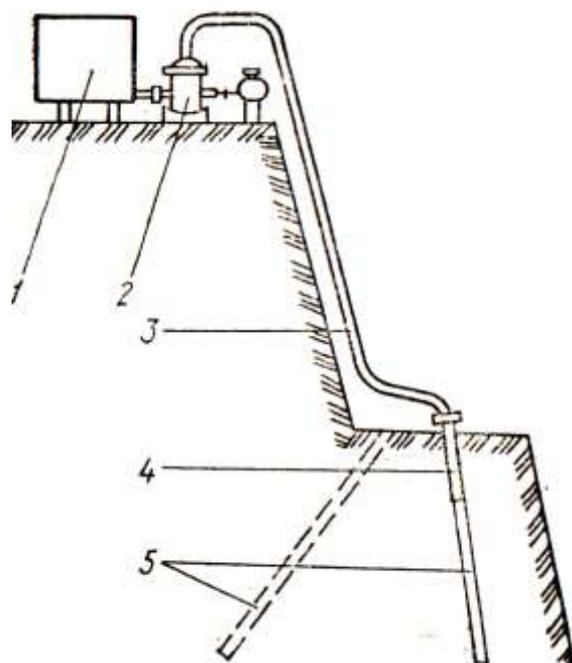


Рис. 1.31. Схема установки для нагнетания цементного раствора: 1 – растворный узел; 2 – насос; 3 – напорный трубопровод; 4 – иньектор; 5 – скважина

Тампонируют трещиноватые породы цементными растворами, в которых отношение цемента к воде изменяется от 1:5 до 1:20.

Область применения цементного тампонирования – от сильно-трещиноватых скальных массивов с шириной трещин не менее 0,15–0,20 мм и удельным водопоглощением не ниже 10^{-2} л/мин до галечников и крупнозернистых песков с преобладающим в их составе размером зёрен до 0,8 мм и коэффициентом фильтрации, превышающим 0,1–0,2 м/сут. На карьерах применяют цементацию для упрочнения трещиноватых массивов скальных и полускальных пород (гранитов, гранито-гнейсов, габбро, кварцитов, сланцев, песчаников, известняков и т. п.), а также для сооружения противофильтрационных завес.

Цементный раствор представляет собой цементную суспензию, которая вследствие значительного давления, создаваемого насосом в скважине, проникает в нарушенные и трещиноватые зоны массива. Для упрочнения больших объёмов трещиноватого массива применяется глубинная цементация с помощью буровых скважин, цементный раствор через которые подаётся под давлением 1,5–4,0 МПа и более.

Нагнетается цементный раствор через веер скважин диаметром 100–200 мм, пробуренных с верхней площадки уступа или с по-

верхности откоса, используя подвесной полок или «люльку». Основное оборудование для цементации откосов включает растворомешалки, цементационные насосы, приёмные ёмкости, трубопроводы, шланги высокого давления, запорную арматуру, инжекторы (нагнетатели), измерительную и регулировочную аппаратуру (рис. 1.32).

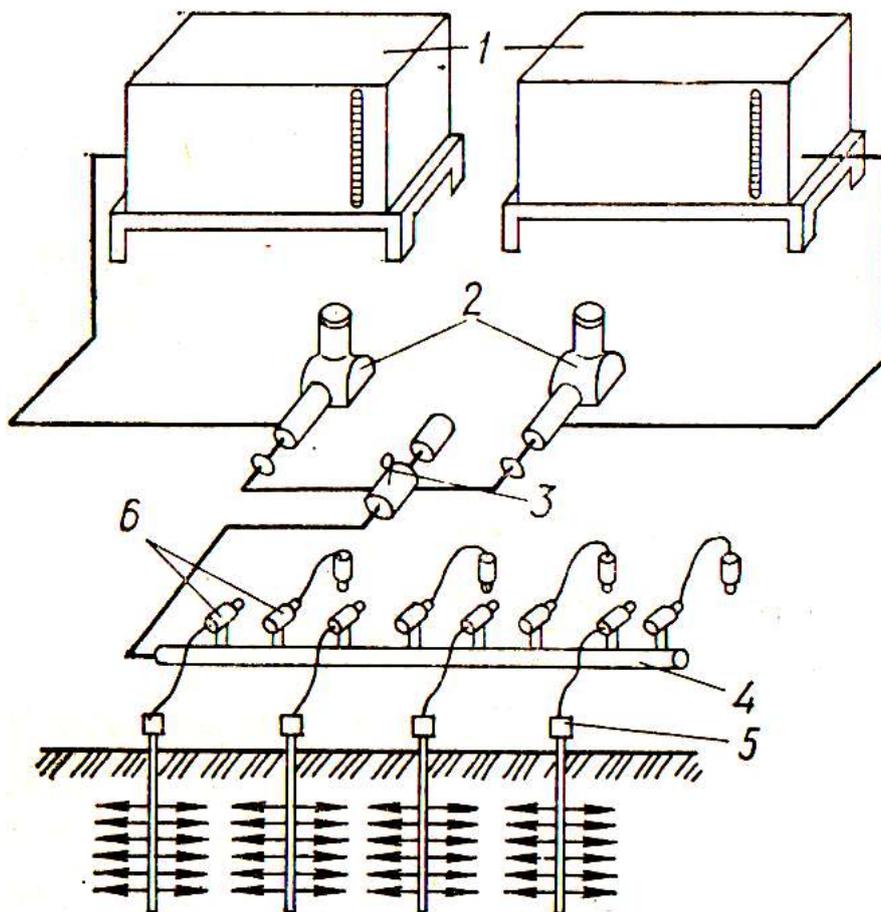


Рис. 1.32. Технологическая схема химического закрепления горных пород: 1 – баки для маточного раствора и отвердителя; 2 – дозирующие воронки; 3 – смеситель; 4 – распределительная колонка; 5 – инжектор; 6 – расходомеры

При цементации откосов необходимо соблюдать следующие условия: не допускать повышения гидростатического давления по границе укрепленной части; обеспечивать закрепление поверхностей ослабления, формирующих поверхности скольжения и контактов между блоками. Выбор цемента для упрочнения массива горных пород зависит от агрессивности подземных вод, интенсивности и характера трещиноватости пород, сроков схватывания и твердения раствора. Для приготовления цементационного материала исполь-

зуют различные типы цементов марки не ниже 400, заполнители (песок, молотый шлак, хвосты и т. п.) и химические добавки. Величина зёрен песка не должна превышать 0,1 мм при цементации тонкотрещиноватых пород и 1 мм при цементации крупнотрещиноватых и закарстованных пород. Содержание глинистых и пылеватых частиц не должно быть более 5–6% от массы песка. При наличии агрессивных вод в тонко- и мелкотрещиноватых массивах горных пород для их цементации применяют глинозёмистый или сульфатостойкий цемент, способный увеличить зону распространения раствора и стойкость цементного камня против разрушающего действия подземных вод.

При наличии напорных вод применяются быстросхватывающиеся цементы, содержащие химические добавки, ускоряющие твердение цементного камня. Для сокращения сроков схватывания и твердения цементных растворов в них добавляют хлористый кальций, соду, жидкое стекло или хлористые соединения железа, алюминия и бария в количестве 1,5–2,0% от массы цемента.

В некоторых сложных гидрогеологических условиях применяют химические добавки, замедляющие сроки схватывания и твердения цементных растворов, что увеличивает их проницаемость в трещины и пустоты горных пород за счёт пластичности и подвижности. Кроме этого, повышается коррозионная стойкость цементов в агрессивной среде.

В настоящее время нашёл применение способ закрепления массива по технологии гидроструйной цементации (ГСЦ или Jet grouting) горных пород. Технология ГСЦ появилась практически одновременно в трёх странах – Японии, Италии, Англии. Инженерная идея оказалась настолько плодотворной, что в течение последних двух десятилетий технология ГСЦ мгновенно распространилась по всему миру, позволяя не только более эффективно решать традиционные задачи, но и найти новые решения иных проблем в области подземного строительства.

В настоящее время как в нашей стране, так и во всем мире ГСЦ горных пород является наиболее прогрессивной технологией закрепления слабых и неустойчивых пород для последующей проходки горных выработок или строительства подземных сооружений; возведения противодиффузионных завес; укрепления откосов, стенок котлованов и т. д.

Сущность технологии ГСЦ горных пород заключается в использовании кинетической энергии высокоскоростной суспензионной водноцементной струи, направляемой на разрушение и перемешивание горной породы в массиве без создания в нём избыточного давления.

Технология закрепления массива ГСЦ осуществляется в два этапа (рис. 1.33).

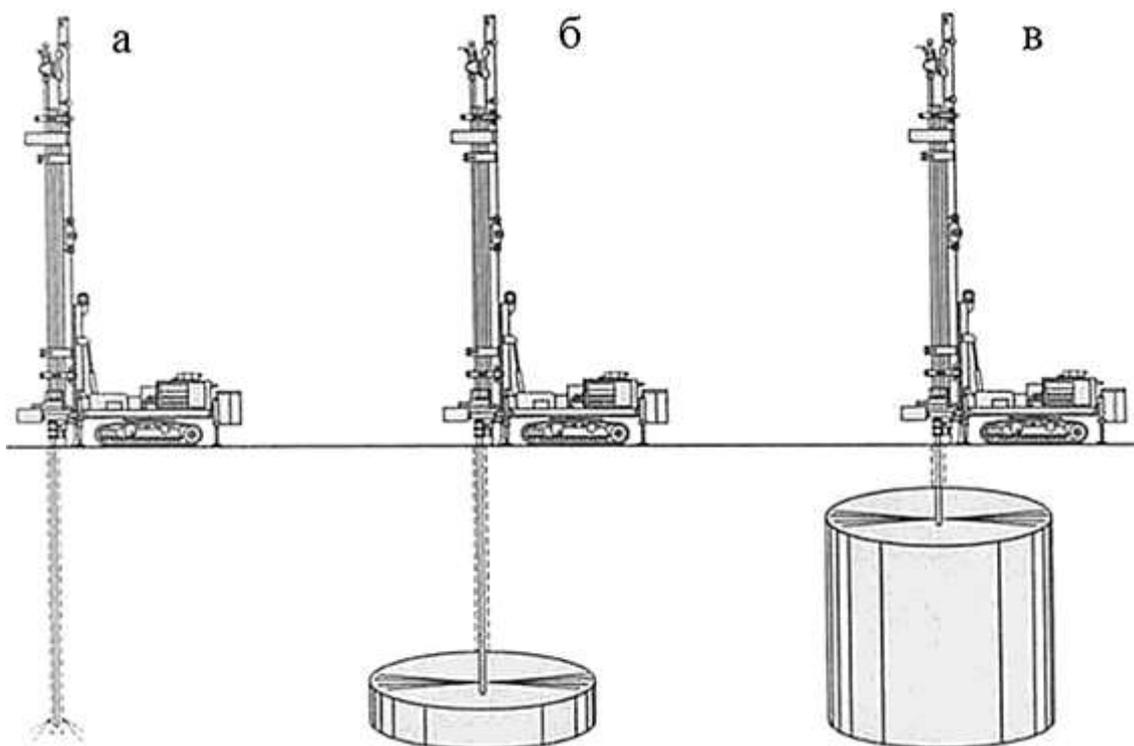


Рис. 1.33. Технологическая последовательность получения закреплённого массива способом ГСЦ: *а* – бурение пилотной скважины; *б* – разрушение и перемешивание горной породы водноцементной суспензионной струей; *в* – извлечение буровой колонны из закреплённого массива

На первом этапе специальной оборудованной установкой для ГСЦ бурят скважину на расчётную глубину с одновременной промывкой скважины цементным раствором под небольшим давлением (5 МПа), который подаётся в породоразрушающий элемент.

На втором этапе производят подъём колонны с одновременным вращением (до 25 об/мин) и повышают давление подаваемого цементного раствора до 50 МПа, создавая струю с высокой кинетической энергией. В результате цементный раствор разрушает окружающий массив, перемешивается с ним в режиме «mix-in-place» (перемешивание на месте) и образуется породный массив диамет-

ром до 2,5 м из совершенно нового материала – породобетона – с высокими несущими и противофильтрационными показателями.

К преимуществам данной технологии по сравнению с другими способами искусственного укрепления неустойчивых горных пород следует отнести высокую скорость работы, возможность работы в стесненных условиях, экономичность, простоту конструкции отсутствие негативных динамических воздействий.

По сравнению с традиционными технологиями инъекционного закрепления, ГСЦ позволяет закреплять практически весь диапазон пород – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов, улучшая прочностные и деформационные свойства любых сжимаемых горных пород как природного, так и техногенного происхождения. Еще одним важным преимуществом ГСЦ является высокая предсказуемость результатов закрепления.

Широкое применение этого метода в промышленном, гражданском и дорожном строительстве, подземных разработках говорит о его эффективности применения. Однако отсутствие опыта применения ГСЦ на открытых горных разработках делает актуальной научную задачу – выбор и обоснование параметров способа укрепления бортов карьера с помощью ГСЦ.

Укрепление откосов цементацией производилось на Кургашиканском карьере Алтын-Топканского свинцово-цинкового комбината (Таджикистан). На участке борта протяжённостью 125 м, высотой уступа 30 м, сложенного сиенит-диоритами и известняками, имеющими интенсивную трещиноватость и мелкоблочную структуру массива, нагнетался цементный раствор под давлением до 1,5 МПа через скважины глубиной 20–30 м. Для нагнетания раствора в массив применяли инъекторы с резиновым тампоном и трубки-кондукторы длиной 2,7 м. Расстояние между скважинами было выбрано 5–6 м с целью создания перекрытия зон тампонажа массива. На участке пробурено 19 вертикальных и 6 наклонных скважин общей длиной 695 м. Объём укрепленного массива составил $14 \cdot 10^3 \text{ м}^3$, расход цемента – 58 т. В результате тампонирующего объёма цементного камня достиг 50 м^3 .

Силикатизация – один из способов химического упрочнения массивов, сложенных рыхлыми породами. Основное отличие химического закрепления горных пород от их цементации в том, что химическое закрепление осуществляется мгновенно и достигается

прочность на одноосное сжатие не более 5 МПа, в то время как срок схватывания цементного раствора длится не менее 28 дней и достигается более высокая прочность.

Существует несколько способов силикатизации – нагнетания в массив через скважины под давлением маловязких силикатных растворов или их производных (неорганические высокомолекулярные соединения, рис. 1.34).

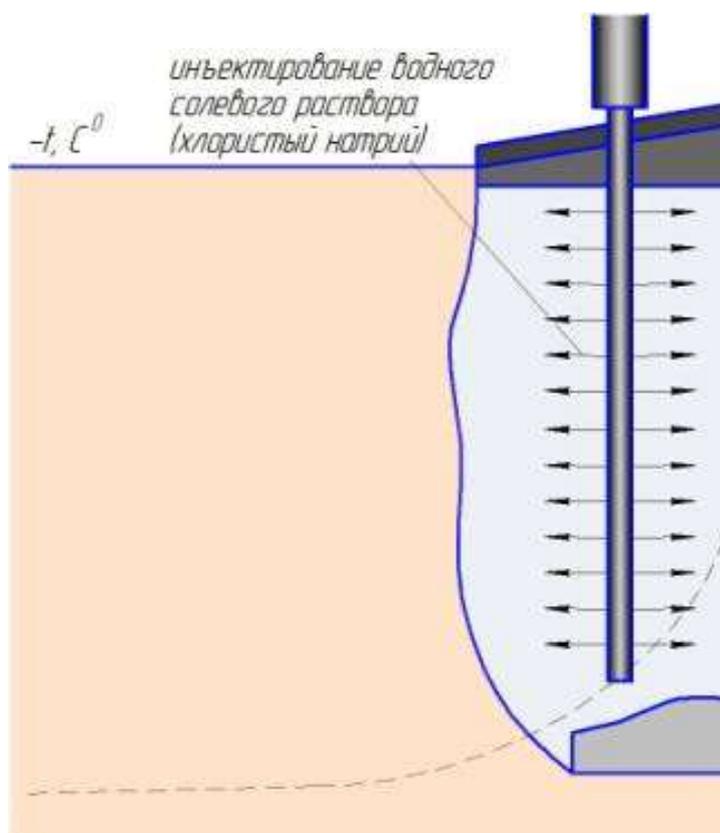


Рис. 1.34. Способ силикатизации пород

Экспериментальные исследования укрепленного вскрышного комплекса показывают, что после силикатизации уступов их прочность увеличивается примерно на 25%. В то же время данный способ применим только при небольших объемах горных пород, подлежащих закреплению, поэтому в горном деле его применение ограничено.

Выбирая способ силикатного закрепления горных пород, учитывают химико-минералогический состав пород, инженерно-геологические и гидрогеологические условия массива.

При силикатизации в зависимости от влажности и проницаемости рыхлых горных пород применяются следующие рецептуры растворов: двухрастворный, однорастворный, алюмосиликатный,

кремнефтористо-силикатный, силиката натрия и серной кислоты, силикатно-органический, газовой силикатизации, глинисто-силикатный.

Двухрастворный способ силикатизации массивов – это поочередное нагнетание раствора силиката натрия (жидкое стекло) плотностью 1350–1440 кг/м³ и раствора хлористого кальция плотностью 1260–1280 кг/м³. В результате физико-химической реакции между этими растворами образуется цементирующее новообразование – гель кремниевой кислоты, придающий закрепляемым крупно- и среднезернистым пескам с коэффициентом фильтрации 2–80 м/сут достаточно высокую прочность и водонепроницаемость. Радиус закрепления для песков с коэффициентом фильтрации 2–20 м/сут составляет 30–60 см, а для песков с коэффициентом фильтрации 20–80 м/сут – 60–100 см. Прочность песков на одноосное сжатие, закреплённых таким способом, достигает 2–4 МПа; они обладают высокой морозостойкостью, устойчивы в кислотах, в растворах нейтральных и кислых солей и недостаточно устойчивы в щелочных средах, в которых растворяются компоненты цементирующего геля кремниевой кислоты.

Основной недостаток двухрастворной силикатизации – невозможность упрочнять малопроницаемые пески.

Однорастворная силикатизация применяется для упрочнения мелких и пылеватых песков с коэффициентом фильтрации 0,5–5 м/сут, а также лёссовых пород с коэффициентом фильтрации 0,1–2,0 м/сут. Сущность однорастворного способа силикатизации заключается в нагнетании в массив раствора силиката натрия с предварительно введённой в него химической добавкой (отверждающего реагента), которая в строго определённое время приводит к образованию геля кремниевой кислоты, цементирующего массив. В качестве отверждающих реагентов используются растворы кислот, кислых солей и органических отвердителей.

При упрочнении пылеватых песков с коэффициентом фильтрации от 0,1 до 10 м/сут используются силиказоли, компоненты гелеобразующих растворов которых состоят из фосфорной кислоты и жидкого стекла; серной кислоты, сернокислого алюминия и жидкого стекла; щавелевой кислоты и жидкого стекла.

Алюмосиликатная рецептура однорастворного способа силикатизации массива применена при создании противофильтрацион-

ной завесы в основании Асуанской плотины (Египет), сложенного мелко- и среднезернистыми песками с коэффициентом фильтрации 1,5–18 м/сут. Объем упрочнённого и водонепроницаемого массива в основании Асуанской плотины составил около 2 млн м³.

При взаимодействии разбавленных растворов силиката натрия и алюмината натрия в определённых соотношениях образуется гель по всему объёму смешиваемых растворов.

Прочность упрочнённых алюмосиликатными гелями мелких песков на одноосное сжатие достигает 0,2 МПа, при этом пески становятся водоустойчивы и практически водонепроницаемы.

Мелкозернистые пески упрочняют с применением *кремнефтористо-силикатных рецептур*, в которых в качестве отвердителя силикатных растворов используется кремнефтористоводородная кислота – побочный продукт суперфосфатного производства.

Прочность на одноосное сжатие песков, закреплённых кремнефтористо-силикатными гелями, достигает 5 МПа, а закреплённых золями – 3–4 МПа. Радиус упрочнения достигает 60–100 см.

Для однорастворной силикатизации мелкозернистых карбонатных песков в качестве отвердителя силикатного раствора применяется серная кислота.

Упрочнённые мелкозернистые карбонатные пески приобретают водоустойчивость и водонепроницаемость при высоких гидравлических градиентах. Показатели упрочнения аналогичных песков алюмосиликатной рецептурой ниже показателей упрочнения, произведенного по рецептуре, составленной на основе раствора силиката натрия и серной кислоты.

Для упрочнения песчаных горных пород при естественной влажности с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 25 м/сут применяются *силикатно-органические растворы*. В качестве органических отвердителей силикатных растворов используются сложные эфиры алифатических кислот и амидные соединения. Из сложных эфиров применяют наиболее дешёвый уксусно-этиловый эфир (этилацетат).

Способ упрочнения песчаных горных пород *газовой силикатизацией* заключается в том, что в массив через специально оборудованные скважины нагнетается углекислый газ, а затем – раствор силиката натрия плотностью от 1190 до 1300 кг/м³. Для окончательного отверждения силикатного раствора углекислый газ нагнетается

вторично. На упрочнение 1 м^3 песчаных пород расходуют $5,5\text{--}7,5$ кг углекислого газа и $300\text{--}350$ л раствора силиката натрия.

Глинисто-силикатные растворы используются для создания в песчано-гравелистых породах противofильтрационных завес. По сравнению с цементацией элювиальных отложений, позволяющей осуществлять надёжное упрочнение только при коэффициентах фильтрации больше 80 м/сут , глинисто-силикатные растворы дают возможность тампонировать грунты с коэффициентом фильтрации менее 50 м/с .

Для приготовления глинисто-силикатных растворов необходимы высокодисперсные каолиновые, гидрослюдистые и бентонитовые глины. В качестве основы глинисто-силикатных тампонажных растворов применяют также небентонитовые глины с предварительной обработкой специальными химическими реагентами-диспергаторами и понизителями вязкости (фтористый натрий).

Технология упрочнения песчаных отложений глинисто-силикатными растворами включает следующие операции: приготовление высокодисперсных глинистых растворов, смешение глинистого раствора с силикатом натрия, нагнетание раствора в массив через скважины. Основное оборудование состоит из глиномешалки, растворомешалки, гидроциклонов, бассейна для хранения раствора, смесителя растворов с дозатором и закольцованной системы трубопроводов, включающей инъекционные скважины. Растворы нагнетают в скважины под давлением 6 МПа при расходе раствора от 15 до 100 л/мин .

Электрохимический способ применяется для упрочнения горных пород с коэффициентом фильтрации менее $0,1 \text{ м/сут}$. Сущность способа заключается в том, что искусственно созданное постоянное электрическое поле в массиве песчано-глинистых пород вызывает электрокинетические явления: электроосмос – направленное движение подземных вод от анода (положительного электрода) к катоду (отрицательному электроду) и электрофорез – направленное движение заряженных дисперсных глинистых и химических частиц растворов от катода к аноду. В результате электрохимического упрочнения глинистых пород массив осушается и уплотняется; повышается его водонепроницаемость, устойчивость и механическая прочность.

При электрохимическом способе упрочнения глинистых пород может использоваться, например, следующий комплекс оборудования: комплексная трансформаторная подстанция КТПН-400/6, выпрямительное устройство АТП-500/275, трёхполюсный разъединитель наружной установки РЛН-10/200 и кабель марки КШВГ-6 и КРПТ. Electroдами катодных скважин служат перфорированные металлические трубы диаметром 38–40 мм. Анодные скважины обеспечивают подачу напряжения в массив через анодные токовводы, изготовленные из двух ниток круглой арматурной стали диаметром 20 мм. Длины катодов и анодов равны глубине скважин. В качестве электролита применяют раствор хлористого кальция.

Последовательность операций при эксплуатации скважин следующая: для катодных бурят скважины на проектную глубину; производят обсадку скважины перфорированной трубой; подключают к трубе отрицательный полюс и подают электроэнергию (при условии подключения анодной скважины); периодически по мере наполнения скважины водой отключают энергию и откачивают воду; для анодных – при необходимости пробуренную скважину обсаживают трубой; опускают в скважину токоввод; заполняют ствол скважины песком; извлекают обсадную трубу и устанавливают оголовок; заливают электролит до полного наполнения скважины; подключают электроэнергию; периодически в скважину подливают электролит и прекращают его подачу за 25–40 ч до отключения электроэнергии.

Смолизация – способ упрочнения мелкотрещиноватых скальных, полускальных пород и мелких пылеватых сухих и водонасыщенных песков с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 5 м/сут органическими полимерами. Способ смолизации основан на способности синтетических смол под действием кислых или щелочных отвердителей (коагулянтов) образовывать прочные и водонепроницаемые гелеобразные соединения, которые цементируют сыпучие и нарушенные горные породы в монолитные блоки. Для этой цели применяют следующие смолы: фурановые, производные акриловых кислот, резорциноформальдегидные, хром-лигниновые, фенолформальдегидные, мочевиноформальдегидные (карбамидные), эпоксидные и др.

При смолизации песка растворами на основе фурфурола и фурфуролового спирта прочность закреплённого массива колеблется от

0,5 до 22 МПа. Однако применять фурфурол часто отказываются из-за взрывоопасности, токсичности реагентов и высокой стоимости.

Для глубинной смолизации горных пород используется акриловая смола АМ-9, состоящая из акриламида и метиленадиакриламида. Для отверждения смолы применяются специальные катализаторы, инициаторы и ингибиторы. Время гелеобразования регулируется от нескольких минут до 2 ч. Прочность закреплённых песков не более 0,5 МПа.

Резорцинформальдегидные смолы имеют следующие преимущества: хорошо разводятся водой; имеют незначительную вязкость; способны отверждаться в присутствии катализаторов в нейтральной, кислой и щелочной среде. Исходная смола разбавляется водой в соотношении 1:1–1:3 и отверждается раствором параформа в щелочи. Смола упрочняет песок, лёссы и уплотняет фильтрующий бетон.

Для смолизации проницаемых отложений разработаны хром-лигнинные рецептуры более доступных полимеров. Время образования плотного нерастворимого геля в воде регулируется введением бихромата натрия (оно длится от нескольких минут до 2 ч), однако высокая стоимость и дефицитность бихромата натрия, высокая начальная вязкость, токсичность хрома при его выщелачивании являются недостатками хром-лигнинной рецептуры.

Для глубинной смолизации рыхлых отложений широко применяются карбамидные смолы (при сооружении противотрационных завес). Карбамидные смолы изготавливают из недефицитного сырья (мочевина и формальдегид), которые хорошо растворяются в воде, имеют незначительную вязкость, отверждаются при нормальной положительной температуре с введением дешёвых отвердителей типа кислот и растворов кислых солей. В зависимости от концентрации раствора карбамидной смолы прочность закреплённых песков достигает 1,2–4,0 МПа.

Для разведения смолы разработана рецептура карбамидно-солевого состава, в которой применяется насыщенный раствор технического хлористого натрия. Смолизация массивов горных пород производится с помощью оборудования, применяемого при силикатизации: растворомешалок, насосов для нагнетания растворов, дозировочных распределительных устройств, ёмкостей для хранения и приготовления смол и добавок отвердителей, трубопроводов и гиб-

ких шлангов, инжекторов, перфораторов и контрольно-измерительной аппаратуры.

Термическое упрочнение горных пород заключается в нагнетании через скважины в массив пористых пород нагретого воздуха или раскаленных продуктов сгорания топлива. Раскаленные продукты горения за счёт конвекции передают тепло окружающим породам по трещинам и порам. Применяя термический способ упрочнения пород, необходимо тщательно герметизировать устье скважины для исключения выхода продуктов горения из неё; не допускать плавления окружающих пород, снижающего воздухогазопроницаемость массива. Под воздействием раскаленных газообразных продуктов до 700–1000 °С и химических добавок изменяются физико-механические свойства пород: появляется монолитность; повышается прочность, воздухо- и влагонепроницаемость; теряется просадочность лёссовых пород. Оборудование для упрочнения массива горных пород термическим способом следующее: буровые станки; компрессоры для подачи в скважины сжатого воздуха под давлением не менее 0,05 МПа; насосная установка для подачи жидкого топлива к скважинам; горелки для сжигания топлива; газо- и воздухохранилища для распределения газа и сжатого воздуха по скважинам. В качестве топлива применяют нефть, солярку, мазут, коксовый и генераторный газы.

Упрочнение рыхлых пород камуфлетным взрывом с последующим заполнением образовавшихся полостей бетоном и металлической арматурой применялось на Михайловском железорудном карьере (КМА) при опытно-промышленных испытаниях. В результате вскрытия скважин обнаружены вокруг них зоны уплотнения пород, препятствующие «обтеканию» и продавливанию между ними пород более слабых.

1.12. Комбинированные способы укрепления откосов и техника безопасности

Сущность комбинированных способов укрепления откосов заключается в применении в сложных инженерно-геологических условиях механического укрепления в сочетании с упрочнением массива горных пород или с изолирующими и защитными покрытиями.

Возможны следующие сочетания способов укрепления откосов и упрочнения части массива горных пород (рис. 1.35).

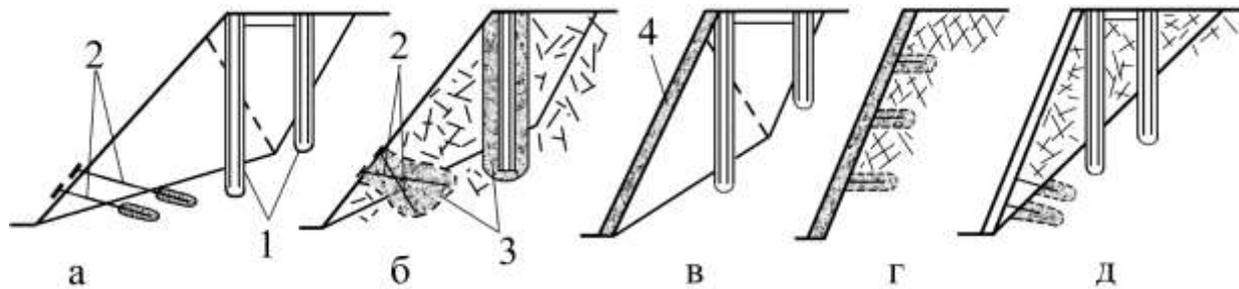


Рис. 1.35. Схемы комбинированного укрепления откосов: *а* – железобетонные сваи со штангами или тросовыми тяжами; *б* – железобетонные сваи и штанги с цементацией или смолизацией; *в* – железобетонные сваи и *г* – штанги с изолирующим покрытием; *д* – железобетонные сваи со штангами и изолирующим покрытием; 1 – железобетонная свая; 2 – штанги (анкеры); 3 – зона цементации или смолизации; 4 – подвесная железобетонная стенка (изолирующее покрытие)

Целесообразность укрепления откосов определяется на основании сравнения технико-экономических показателей для двух вариантов, включающих: формирование пологого устойчивого борта без укрепления отдельных уступов и формирование крутого с укреплением уступов. Экономический эффект от применения укрепления уступов достигается в результате сокращения объёма вскрышных работ за счёт повышения крутизны и уменьшения ширины нерабочих берм на закреплённых участках борта, а также за счёт сокращения затрат на уборку оползневых масс и простоев горнотранспортного оборудования.

Кроме комбинации способов укрепления откосов в сложных горнотехнических условиях может применяться комплексное укрепление откосов, при котором используют наряду с комбинированным способом ряд других, имеющих самостоятельное значение. Комплексное укрепление повышает срок службы противооползневых сооружений и эффективность противооползневых работ. Так, на Сибайском меднорудном карьере (Башкирия) для снижения влияния поверхностных вод на бермах откосов, укреплённых шпунтовыми подпорными стенками из металлических труб и набивных железобетонных свай, высажено 2560 саженцев тополя и клена, 7000 саженцев акации и посеяны многолетние травы, что исключило дальнейшую эрозию откосов.

После завершения противооползневых работ следует организовать наблюдения за работой противооползневых конструкций и сооружений. Наилучший эффект дают противооползневые работы, выполненные на основании экспериментальных исследований в натуральных условиях на крупномасштабных моделях.

Производство работ по укреплению откосов и упрочнению массива горных пород выполняют на основании правил техники безопасности, предусмотренных СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть I. Общие требования», СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство» и Правилами по охране труда в строительстве, утвержденными приказом Минтруда России от 01.06.2015 № 336н.

Во всех случаях безопасность производства по искусственной защите откосов от оползневых явлений зависит от запаса устойчивости уступов с коэффициентом более единицы. Участки с признаками деформации на поверхности берм и откосов в виде трещин, вывалов и смещений в массиве горных пород относят к опасным. Работы на них должны производиться при соблюдении следующих специальных мер предосторожности, обеспечивающих безопасность работающих людей и механизмов: дистанционного управления механизмами, использования предохранительных поясов с канатами, закреплёнными за надёжную опору (анкеры), устройства ограждений верхних бровок уступов и т. п.

Полная безопасность производства работ обеспечивается в том случае, если горные работы еще не приблизились к участку укрепления на предельном контуре карьера или же наоборот, удалились на нижележащие горизонты. Однако постоянно существует необходимость укреплять или упрочнять участки бортов действующих карьеров.

Основные требования к безопасному ведению работ по искусственному укреплению откосов в карьерах и на отвалах должны соответствовать действующим Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности **«Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых»**, утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. № 599 (далее – ПБ).

При укреплении уступов железобетонными сваями и шпонами работы производят с рабочей площадки или бермы уступа, поэтому прежде всего принимаются меры, предотвращающие падение кусков горной породы с вышележащих уступов путём сборки «козырьков», глыб и заколов. Буровой станок при бурении скважин для монтажа свай располагают на спланированной площадке на безопасном расстоянии от верхней бровки уступа. При бурении скважин на границе призмы возможного обрушения управляют станком дистанционно. После окончания бурения каждой скважины (чтобы избежать засорения и для безопасности людей) их немедленно перекрывают пробками. Производство буровых работ по укреплению откосов должно вестись с соблюдением требований ПБ.

При укреплении уступов сваями и шпонами с использованием энергии взрыва для увеличения полости в зоне формирования поверхности скольжения руководствуются действующими **«Правилами безопасности при взрывных работах»**, утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. № 605.

1.13. Мероприятия по ликвидации возникающих деформаций откосов

Горные работы на оползневых участках. Если применение технологических и инженерных способов управления устойчивостью откосов не даёт положительного результата и развитие оползневых явлений мешает ведению горных работ, то приходится внедрять мероприятия, направленные сначала на снижение активности оползневого процесса, а затем на полную его локализацию и остановку. Для этого используется часть горного технологического оборудования или после перестройки технологической схемы вскрышных работ – управляемое обрушение и оползнеобразование.

Основные мероприятия по ликвидации возникших деформаций откосов и предотвращению дальнейшего их развития – планировка поверхности оползня и обеспечение стока поверхностных и подземных вод, отгрузка оползневых масс, разгрузка призмы активного давления с заоткоской слабых участков с оставлением целиков и взрыванием подошвы откоса. Планировка поверхности оползня и обеспечение стока поверхностных и подземных вод стабилизируют

деформации откосов, возникших в результате скопления атмосферных осадков в прибортовой полосе, на бермах и рабочих площадках уступов и отвалов, а также высачивания подземных вод на откосах.

В ряде случаев на незаоткошенных уступах с нависающими козырьками в рыхлых отложениях обрушающиеся породы впитывают атмосферные воды и создают подпор выходящих на откос подземных вод, что значительно активизирует развитие оползня вначале на небольшом участке, затем с постепенным захватом значительных площадей по простиранию уступов.

Планировка оползневых навалов и гряд, заоткоска уступов и отвод скопившихся вод стабилизируют оползневые массы. Так, при разрушении железобетонного лотка нагорной канавы нерабочего северного борта строящегося Грушевского карьера (Марганецкий ГОК) длительное время происходило насыщение массива поверхностными водами. В результате деформации уступа высотой 20 м и шириной по фронту до 600 м произошло перекрытие оползневыми массами водоносных горизонтов, что привело к подъёму уровней вод в теле оползня и к его активизации. После того, как была отремонтирована гидрозашита карьера на земной поверхности, спланированы оползневые массы бульдозерами под углами 15–20°, пройдены три прорези в теле оползня вкрест простирания борта до водупоров водоносных горизонтов и отвода вод в дренажные каналы карьерного водоотлива, деформации нерабочего борта прекратились.

Разгрузка призмы активного давления с заоткоской участка, на котором существует вертикальная трещина отрыва, увеличение массы призмы упора путём переэкскавации оползневых масс от головы оползня к его языку и формирование упорной дамбы в подошве – эффективная мера борьбы с деформациями откосов.

Медленное развитие оползневых деформаций при углах наклона борта или отвала менее 20–25° позволяет выполнить необходимый объём земляных работ. Оставление целиков для предотвращения дальнейшего развития оползня в насыщенных водой рыхлых отложениях нашло применение на угольных карьерах. Так, на Коркинском карьере (Южный Урал) в течение 10 лет на одном из участков для удержания надвигающихся на призабойную часть насыщенных водой суглинков и глин в почве оставлялся целик мощностью от 6 до 9 м угольного пласта. Однако этот метод стано-

вится неэффективным (несмотря на заоткоску борта), если не обеспечен отвод поверхностных и подземных вод, насыщающих рыхлую толщу.

Для уменьшения потерь полезного ископаемого в ленточных целиках, оставляемых для поддержания устойчивости внутреннего отвала, разработан способ взрывания размещённых в целике камерных зарядов ВВ. Предварительно определяются величина оползневое давления и параметры целика. По мере удаления фронта добычных работ от внутреннего отвала взрывают ленточный целик на сброс с последующим расположением взорванной массы в выработанном пространстве на значительном расстоянии от отвала. Эта масса отрабатывается заходками длиной не более 10 м, чтобы не вызывать значительных деформаций отвала.

Взрывание основания, сложенного полускальными и скальными породами, при развитии контактных, покровных и подошвенных оползней повышает сопротивление сдвигу по поверхности скольжения. Стабилизация оползня наступает при увеличении сопротивления сдвигу по поверхности скольжения на 10–15%, для чего достаточно раздробить взрывом около 5% площади этой поверхности.

Условия ведения горных работ на оползнеопасных участках не должны противоречить основному правовому документу, которым являются ПБ. Горные работы на оползневых участках ведутся в соответствии со специальным проектом, в котором определяются мероприятия по безопасности работ. В связи со спецификой горных работ на оползнеопасных участках и их повышенной опасностью, всем рабочим и ИТР необходимо хорошо знать требования техники безопасности и неуклонно их придерживаться в практической деятельности.

Несчастные случаи, связанные с возникновением деформаций откосов, происходят в основном при транспортировке и экскавации горной массы. Причинами несчастных случаев являются: при транспортировке горной массы – въезд на участки отвалов, не ограждённых от призмывы возможного обрушения; при экскавации горной массы – применение опасных приёмов работы и нахождение обслуживающего персонала в опасной зоне работающего экскаватора или возможного обрушения уступа.

Одно из важнейших условий безопасности технологических процессов при открытой разработке месторождений полезных ис-

копаемых – это обеспечение и сохранение устойчивого состояния уступов, бортов карьеров и отвалов в течение всего срока их существования.

На карьерах и отвалах, уступы и борта которых склонны к развитию оползневых явлений, должны быть организованы инструментальные наблюдения за состоянием откосов. Задачи противооползневой службы на открытых разработках следующие:

- проведение систематических наблюдений за состоянием горных работ в карьере и на отвалах;

- детальное изучение геологического строения, условий залегания, структуры и тектоники массива полезного ископаемого, налегающих и вмещающих пород, пород основания отвалов;

- установление зон и участков возможного проявления разрушающих деформаций, своевременное сообщение о них руководству предприятия;

- проведение инструментальных наблюдений за деформациями бортов, уступов и отвалов;

- изучение возникающих нарушений устойчивости, определение их характера, степени опасности и причин возникновения, их документирование;

- разработка мер борьбы с возникающими нарушениями устойчивости, подготовка материалов, составление проектов искусственного укрепления опасных зон и участков, специальной технологии работ и надзор за выполнением;

- систематический контроль за состоянием противодеформационных сооружений и выполнением мероприятий, предотвращающих развитие нарушений устойчивости;

- контроль и корректировка проектных параметров открытых разработок.

Результаты исследований по определению параметров уступов не должны противоречить требованиям ПБ.

Высота уступа не должна превышать максимальной высоты черпания одноковшовых экскаваторов типа прямая лопата при разработке полезных ископаемых и наносов без применения взрывных работ и не должна превышать 1,5 высоты черпания прямой лопаты при разработке крепких пород с применением взрывных работ способом однорядного или многорядного взрывания (высота развала должна быть меньше высоты черпания экскаватора) или высоты и

глубины черпания экскаватора (при разработке драглайнами или обратными гидравлическими лопатами). При этом применяются дополнительные меры, препятствующие произвольному обрушению образующихся козырьков и навесей.

Углы откосов рабочих уступов допускаются:

- при работе роторных экскаваторов, экскаваторов типа мехлопата и драглайна – до 80° ;

- при работе многочерпаковых цепных экскаваторов с нижним черпанием – не более угла естественного откоса этих пород.

Высоту забоя, превышающую допустимую вследствие местного повышения рельефа местности, понижения кровли ПИ или массового взрыва, следует снижать вспомогательными средствами механизации (бульдозеры, скреперы, специальные насадки на зубья ковша, разрушение мелкошпуровым взрыванием).

Возникновение козырьков и навесей зависит от квалификации машиниста экскаватора, качества рыхления горной массы взрывом, климатических условий, высоты разрабатываемого уступа. Иногда машинист экскаватора избирает большую, чем следовало бы, толщину стружки, уменьшая тем самым высоту черпания. В результате профиль откоса приобретает вогнутую форму, а в верхней его части образуется навесь, угрожающая обрушением и повреждением экскаватора. Во избежание образования таких козырьков машинист экскаватора в зависимости от конкретных горнотехнических условий должен избирать оптимальную толщину стружки, обеспечивающую достаточную устойчивость откоса и равномерное подвигание забоя с работой на полную нагрузку.

Горное и транспортное оборудование, транспортные коммуникации, линии энергоснабжения и связи должны располагаться на рабочих площадках уступов за пределами призмы возможного обрушения. При попадании транспортных коммуникаций, опор линии электроснабжения и связи в зону оползнеобразования необходимо немедленно известить об этом лиц сменного надзора. Если замечены признаки оползнеобразования уступов, бортов или отвалов, то горнотранспортное оборудование должно быть выведено из опасной зоны.

При вскрышных работах по бестранспортной технологии разработки расстояние между нижними бровками уступа полезного ис-

копаемого и породного отвала устанавливается проектом или планом горных работ.

При расположении на отвале железнодорожных путей или конвейерных линий расстояние от нижней бровки отвала до оси ж/д пути или конвейера должно быть не менее 4 м.

Погашение уступов на предельном или промежуточном контуре карьера должно предусматривать оставление предохранительных берм шириной не менее одной трети расстояния по вертикали между смежными бермами. Бермы должны оставляться не более чем через три уступа.

При погашении уступов необходимо выдерживать общий угол наклона борта карьера, установленный проектом на основании специальных исследований.

При отвалообразовании с использованием мехлопат необходимо выполнять правила техники безопасности, относящиеся к обеспечению устойчивости откосов. Так, в приёмном бункере, из которого экскаватор черпает породу, необходимо, чтобы расстояние от оси железнодорожного пути отвального тупика до верхней бровки бункера оставалось не менее 1,6 м при грузоподъёмности думпкара до 60 т и 1,8 м при грузоподъёмности более 60 т. Это обеспечивает устойчивость откосов отвального тупика и безопасность подвижного состава.

Если несущая способность отвальных масс низка или структура горных пород нарушена, то, чтобы экскаватор не оседал в породе, его нужно устанавливать на металлические листы, увеличивающие площадь опорной поверхности и способствующие более равномерному распределению давления. Безопасная высота отвала устанавливается в пределах рабочих параметров горнотранспортных машин в зависимости от горнотехнических условий с учётом физико-механических свойств и неоднородности отвальной массы, несущей способности основания, времени уплотнения и скорости формирования отвала.

Безопасность работ на автомобильных отвалах в основном обеспечивается разгрузкой автосамосвалов за пределами призмы возможного обрушения и планировкой отвальной площадки бульдозером, обеспечивающей достаточный фронт для маневрирования автосамосвалов при наличии опасных деформаций поверхности. Бровка отвальной площадки ограждается от призмы возможного

обрушения предохранительным породным валом высотой не ниже 0,7 м и шириной у основания не менее 1,5 м, который служит ориентиром для водителя, т. е. границей опасной зоны оползня. На некоторых отвалах для предупреждения въезда автомобилей на призму возможного обрушения применяются металлические упоры, которые с точки зрения безопасности более надёжны, чем предохранительный породный вал. Однако они менее практичны, так как приходится часто перемещать их, что затрудняет действия транспорта и повышает опасность работы персонала, обслуживающего отвал.

Для ориентировки водителей на отвалах устанавливаются переносные знаки, указывающие места разгрузки автосамосвалов, участки отвала, где разгрузка запрещена, а также места, где остановка автомобилей для разгрузки требует особой бдительности.

Отвальные площадки должны иметь угол наклона от бровки площадки к её центру не менее 3° . Такой уклон препятствует произвольному качению автомобиля при аварии в сторону призмы возможного обрушения. Требование соблюдать меры безопасности при работе на внешних автомобильных отвалах в зонах сдвижения горных пород в результате подземных горных работ должно выполняться особенно тщательно и чётко. Необходим систематический контроль за деформациями отвала. Если обнаружены признаки сдвижения горных пород, оседание поверхности отвала и появление трещин, то работы следует немедленно прекратить.

Для заполнения вскрышными породами провалов (воронок обрушения), образовавшихся от отработки залежей подземным способом, разрабатываются специальные мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение отвальных работ, на основе исследований процесса сдвижения горных пород в конкретных горнотехнических условиях.

1.14. Поэтапное управление состоянием откосов на глубоких карьерах

Наращивание и поддержание мощности действующих карьеров путём расширения их границ в плане и в глубину приводит к увеличению площадей обнажения откосов. Это требует применения профилактических противооползневых мероприятий, техноло-

гических и инженерных методов управления устойчивостью откосов. Если весь срок службы глубокого карьера с начала строительства и до его погашения разделить на пять периодов продолжительностью 10–15 лет каждый, то можно выделить следующие пять характерных этапов.

Первый этап управления состоянием откосов включает строительство карьера (начало взаимодействия системы «массив–карьер»). На этом этапе вскрывается толща обводнённых рыхлых пород. В карьерах часто наблюдаются обрушения, оползни и оплывины откосов, связанные с водопроявлениями.

Использование способов осушения на этом этапе в ряде случаев малоэффективно, а выколаживание уступов не приводит к желаемым результатам. Количество и объём деформированных зон уменьшаются по мере поверхностного дренажа откосов и формирования пологой депрессионной воронки. К этому этапу относятся начальные научные исследования устойчивости бортов карьеров. Ведутся наблюдения за нарушениями устойчивости откосов, уточняются инженерно-геологическая и гидрогеологическая характеристики месторождения.

Второй этап управления состоянием откосов охватывает освоение проектной мощности карьера. На данном этапе в карьере отсутствуют постоянные борта за исключением участков, содержащих транспортные коммуникации. На этих участках углы наклонов бортов гораздо положе предельных за счёт размеров рабочих площадок.

На втором этапе наблюдаются преимущественно мелкие нарушения устойчивости, не приводящие к существенным осложнениям. Это наиболее спокойный период развития карьера с точки зрения обеспечения устойчивости откосов по сравнению с активной оползневой деятельностью в период строительства. Однако сокращать объём наблюдений за деформациями и исследований вопросов устойчивости откосов нельзя, так как без достаточного научного обоснования в проекты последующих очередей развития карьеров закладываются более крутые углы откосов, устойчивость которых не обеспечивается соответствующими противодеформационными мероприятиями.

Третий этап управления состоянием откосов включает начало оформления постоянных бортов карьеров на предельном или про-

межуточном контуре. На этом этапе производится оформление уступов в рыхлых отложениях на предельном контуре карьера, масштаб активизации оползневых явлений сравнительно небольшой, однако в связи с длительным стоянием бортов возникает необходимость укреплять откосы. При этом необходимы большие дополнительные затраты на противооползневые мероприятия, фильтрационную пригрузку, устройство системы дренажа, водоотлив, контрфорсы, подпорные и защитные стенки.

Инженерно-геологические условия на карьерах осложняются за счёт увеличения воронки дренажа, поднятия уровней подземных вод в связи с утечками из технологических водоводов, фильтрации из хвостохранилищ, скопления дождевых и талых вод в балках, прудах и их аккумуляции отвалами. В этот период ведутся систематические маркшейдерские наблюдения за деформацией откосов, проводится изучение динамики оползневых явлений и влияния горнотехнических факторов на состояние массива горных пород.

Четвертый этап управления состоянием откосов охватывает оформление постоянных бортов в полускальных и скальных трещиноватых породах. На этом этапе в массиве горных пород, нарушенном взрывами, на предельном контуре карьера происходят вывалы, обрушения, осыпи откосов, активизируются деформации уступов в рыхлой толще. В связи с этим необходимо применять антисейсмические мероприятия, ограничивать вес одновременно взрываемого заряда ВВ в блоке и группах на ступень замедления. При этом повышается объём буровых и взрывных работ, работ по заоткоске наклонными скважинами и по предварительному щелеобразованию, а также по «гладкому взрыванию».

На этом этапе формирования контуров карьера резко возрастает площадь поверхности скальных и полускальных уступов, подверженных выветриванию, срабатываются предохранительные и транспортные бермы. С ростом глубины карьера вскрываются и отчетливее проявляются особенности структурного строения массива горных пород, которые позволяют изучить деформационные и прочностные свойства массива, оценить влияние сейсмического воздействия взрывов на состояние бортов, экспериментально проверить эффективность противооползневых мероприятий. В связи с этим возрастает необходимость широких исследований, по резуль-

татам которых проектные организации должны корректировать проектные углы откосов уступов и нерабочих бортов.

Пятый этап управления состоянием откосов включает доработку карьера. На этой стадии формируются максимальные по высоте и углу наклона борта, что представляет собой наиболее ответственный период состояния устойчивости откосов.

При глубине карьеров 500–700 м возможно возникновение отрицательного воздействия на устойчивость бортов тектонических сил, закономерности проявления которых должны быть изучены.

При длительном стоянии уступов на верхних горизонтах развиваются процессы выветривания горных пород, активизирующиеся под влиянием БВР.

Рост тангенциальных напряжений с увеличением глубины карьера приводит к необратимым пластическим деформациям в бортах, начало которых оценивается по величине критической деформации сдвига, определяющейся в результате длительных инструментальных наблюдений. Эти наблюдения пока являются единственным методом, позволяющим установить приближение возможной деформации борта глубокого карьера. Поэтому возникает необходимость поэтапного и непрерывного изучения, проектирования и обеспечения устойчивости бортов глубоких карьеров на предельном контуре.

Изучение устойчивости бортов карьеров должно включать:

- систематические инструментальные маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов (**I–V** этапы);

- изучение инженерно-геологических особенностей массива горных пород, разработку методов искусственного укрепления (**II–IV** этапы);

- экспериментальные работы на карьере по искусственному укреплению (**II–IV** этапы).

Проектно-конструкторские работы предусматривают:

- разработку технологии заоткоски в рыхлой толще пород (**II, III** этапы);

- проектные решения по укреплению изменённых скальных пород, разработку сейсмобезопасной технологии ведения БВР на предельном контуре (**III, IV** этапы);

- разработку конструктивных элементов бортов на конец отработки карьера (**IV** этап).

Технологические работы включают:

- применение профилактических мероприятий по предварительному улучшению состояния откосов (I, II, III этапы);
- заоткоску уступов в рыхлой толще (III этап);
- заоткоску и искусственное укрепление полускальных изменённых горных пород (III, IV, V этапы);
- систематическое поддержание в устойчивом состоянии откосов и берм (I–V этапы);
- применение специальной технологии БВР на предельном контуре (III, IV, V этапы).

В таблице 1.6 представлены способы оформления нерабочих уступов на предельном контуре.

1.15. Управляемое обрушение и оползнеобразование вскрышных уступов

В условиях рыхлых песчано-глинистых пород, которые разрабатываются экскаваторами без предварительного рыхления, применяется способ управляемого обрушения и оползнеобразования. Сущность его заключается в отделении и рыхлении части массива горных пород в результате искусственно вызываемой деформации уступов, что позволяет использовать на выемочно-погрузочных работах оборудование, не связанное жёсткой зависимостью с высотой и углом наклона обрабатываемого уступа. На рис. 1.36 представлены виды обрушения откоса уступа.

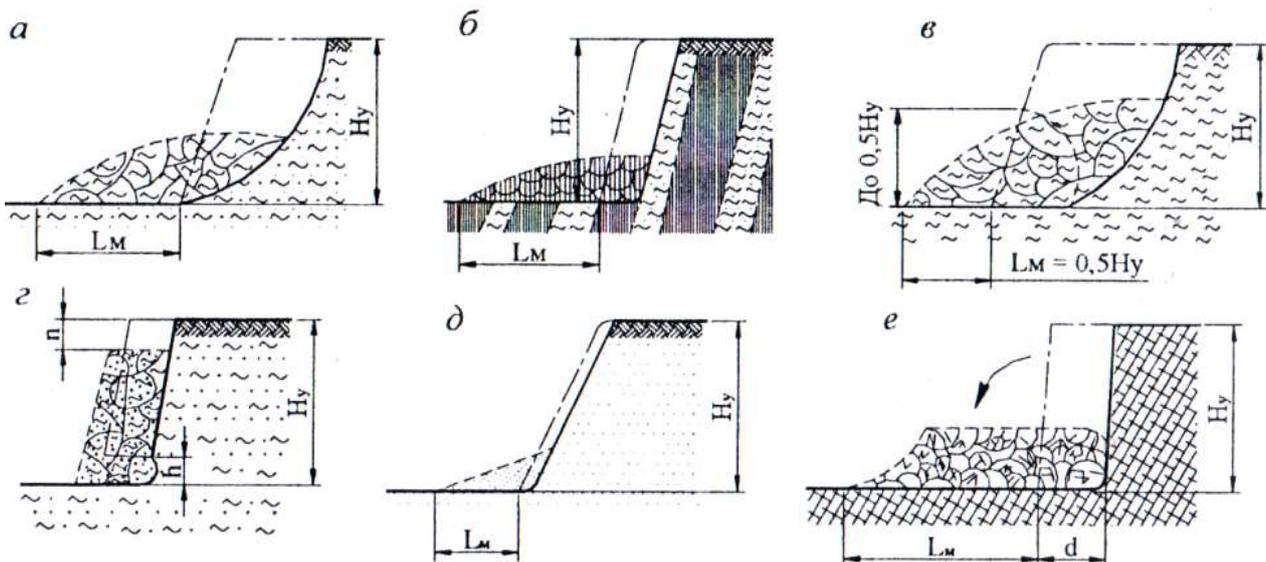


Рис. 1.36. Виды обрушения откоса уступа (а – е, см. табл. 1.7)

Таблица 1.6

Способы оформления нерабочих уступов на предельном контуре

Схема оформления нерабочих уступов в предельном контуре				Технический эффект от применения схем
Индекс метода	Метод	Индекс способа	Способ	
I	Предварительное щелеобразование на проектном контуре под расчётным углом наклона	1	Равномерное распределение скважин по контуру	Увеличение углов откосов уступов на 5–20°
		2	Равномерное распределение скважин по контуру с размещением холостой скважины между заряжаемыми	Увеличение углов откосов уступов на 5–20° и сокращение объёма буровых работ по заоткоске
II	Последующее оконтуривание взрыванием наклонных скважин на проектном контуре под расчётным углом наклона	1	Равномерное распределение скважин по контуру	Увеличение углов откосов уступов на 5–20°
		2	Равномерное распределение скважин по контуру с размещением холостой скважины между заряжаемыми	Увеличение углов откосов уступов на 5–20° и сокращение объёма буровых работ по заоткоске
III	Экскаваторный	1	При высоте рабочего уступа менее 10 м без разделения на подступы	Обеспечение заоткоски под расчётными углами; сокращение объёма буровзрывных работ по заоткоске
		2	При высоте рабочего уступа более 10 м с разделением на подступы	
IV	Естественная заоткоска	1	Без расположения взрывных скважин по контуру и оформления экскаваторами	Обеспечение расчётных устойчивых углов откосов; отсутствие затрат на заоткоску

Классификация видов обрушений по результатам натуральных наблюдений проф. Г. А. Нурка приведена в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Классификация видов обрушения уступов

Типы обрушений	Характер обрушения	Горнотехнические условия разработки	Особенности обрушения
I	Оползневое обрушение при однородных породах (рис. 1.36, а)	Высота уступа до 20–25 м	Поверхность скольжения близка к цилиндрической
II	Обрушение при разнородных породах (рис. 1.36, б)	При раздельных сочетаниях отдельных пород	Обрушение по поверхности контакта слоёв пород
III	Обвал со срезом при однородных породах (рис. 1.36, а, в)	Высота уступа 20 м; глинистые породы и лёссовидные суглинки	После углубления происходит срез породы. При просадках срезаемый слой перемещался на глубину вруба
III	Обвал с просадкой при однородных породах (рис. 1.36, б, г)	Высота уступа 10–12 м. Суглинистые породы	–
IV	Непрерывное обрушение по мере размыва (рис. 1.36, д)	Высота уступа до 20–25 м. Преимущественно пески	Непрерывное обрушение небольшими частями
V	Обрушение с опрокидыванием (рис. 1.36, е)	Высота уступа до 15 м. Слежавшиеся породы	Разрушение начинается в верхней части откоса и продолжается до рабочей площадки
VI	Обрушение со сползанием массива и опрокидыванием	При различных сочетаниях пород	Часть уступа (обычно верхняя) разрушается с опрокидыванием массива, часть – при оползневом обрушении

Применение указанного способа в ряде случаев экономически целесообразно, так как ведёт к сокращению ряда величин горнотехнических показателей: энергоёмкости вскрышных работ; количества уступов и рабочих площадок; удельной металлоёмкости вскрышного оборудования; себестоимости 1 м^3 вскрыши.

Способы управляемого деформирования уступов включают следующие виды управляемого обрушения:

- выкол горных пород блоками непостоянного объёма при подрезке (врубке) откоса уступа;
- отрыв вертикального блока и поворот его в сторону выемки;
- обрушение уступа.

Искусственное обрушение и оползнеобразование производится за счёт изменения параметров уступа, его механической или гидро-механической подработки (подрезки), благодаря ослаблению массива горных пород энергией взрыва, замачиванием и т. д.

В качестве основного классификационного признака проф. А. Г. Шапарем принята высота обрушаемого блока, которая предполагает характер его деформации, степень ослаблений массива и использования сил гравитации, технологические особенности отработки и назначение выемочно-погрузочного оборудования. По этому критерию все способы разделены на три группы (рис. 1.37).

В способах **А** силы гравитации используются для перемещения пород по откосу уступа.

Способы группы **Б** основаны на обрушении вертикальных блоков или уступов высотой, достигающей высоты вертикального обнажения для данных пород. При этом обрушение может производиться на горизонтальную (**Б-I**), наклонную (**Б-II**) или крутую (**Б-III**) поверхности.

В способах группы **В** производится ослабление основания уступа механическим, взрывным или иным способом. В способе **В-I** уступ дополнительно оконтуривается в кровле. Способ **В-II** предусматривает постоянную отгрузку оползшей массы при незатухающем развитии оползня. Способ **В-III** основан на управляемом сдвиге пород отвала, что достигается путём создания постоянной ёмкости в основании отвала.

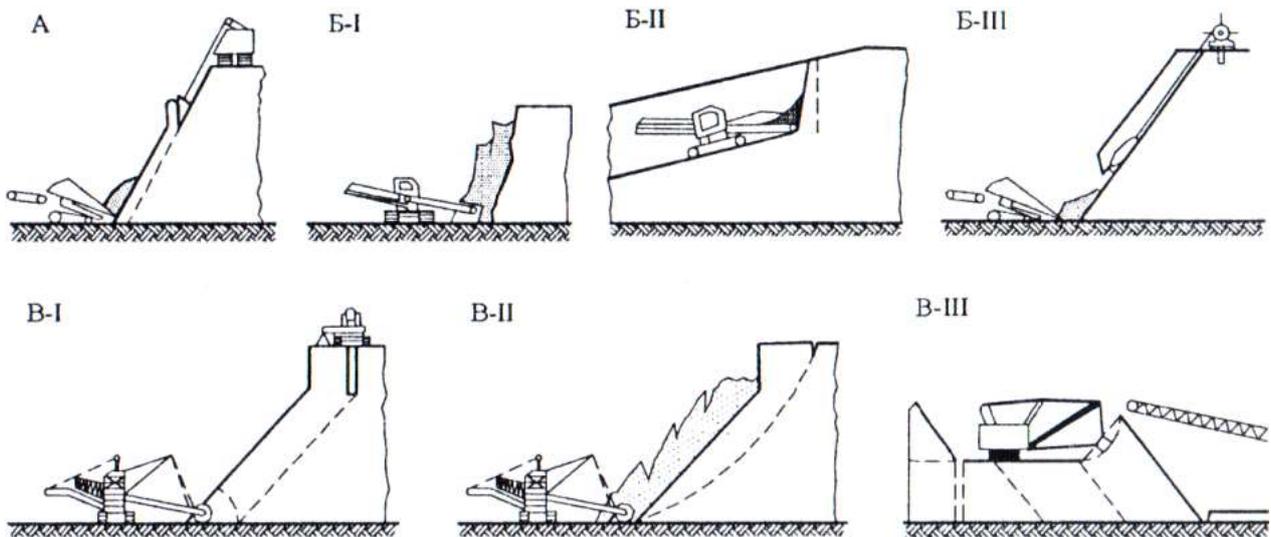


Рис. 1.37. Принципиальные схемы способов управляемого обрушения уступов

Существенное влияние на выбор способа управляемого обрушения и оползнеобразования оказывают естественные поверхности ослабления, наличие и местоположение в откосе более слабого или более крепкого слоя, влажность и обводнённость массива горных пород.

В качестве технических средств создания ослабляющих выработок (щелей) применяются драглайны, обратные гидравлические лопаты, гидромониторы.

Технология локального замачивания уступа состоит в заполнении водой оконтуривающих выработок, включении в воду смачивающих добавок, использовании ультразвукового капиллярного эффекта, что в несколько раз повышает водопроницаемость горных пород.

Для снижения устойчивости уступа с помощью БВР в его подошве производят серию взрывов в наклонных скважинах на выброс, а в кровле – в вертикальных скважинах для оконтуривания блока обрушения по ширине заходки и по длине фронта работ.

Искусственное обрушение и оползнеобразование отвалов в логах, оврагах, на склоне рельефа поверхности позволяет лучше использовать рабочие параметры экскаваторов, повысить эффективность их работы.

Классификация способов управления сдвижением пород отвалов, разработанная проф. А. Г. Шапарем, приведена в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Классификация способов управления сдвижением пород отвалов

Группа методов	Способ управления сдвижением пород отвалов	Средства для осуществления управления	Условия рационального применения способа	
			Основание отвала	Применяемый на вскрышных работах комплекс оборудования
I	Выемка призмы упора в основании отвала	Экскавационное оборудование	Горизонтальное и наклонное	ЭО, ВО, ВТО, ЭТО*
		Средства гидромеханизации		
		Взрывание на сброс или выброс	Наклонное и крутое	ЭТО и ВТО
		Надувные оболочки		
II	Дополнительная отсыпка пород в отвал, высота которого достигла предельных значений	—	Наклонное и крутое	ЭТО и ВТО
III	Изменение физико-механических свойств отвальных пород или основания отвала	Замачивание		
		Физико-химические воздействия		
		Укладка в основание пластичных пород		

* *Примечание:* комплексы ЭО – экскаваторно-отвальные; ВО – выемочно-отвальные; ВТО – выемочно-транспортно-отвальные; ЭТО – экскаваторно-транспортно-отвальные

2. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ОБВОДНЁННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Вода в горных породах

Вода в горных породах может находиться в связанном и свободном состояниях.

Связанная вода наиболее распространена в глинистых грунтах и непосредственно влияет на структуру горных пород. Влажность горной породы, определяемая максимальным количеством связанной воды, называется максимальной молекулярной влагоёмкостью. В глинистых грунтах этот показатель может измеряться десятками процентов от общей массы породы, а в песчаных он обычно равен нескольким процентам. **Свободная вода** заполняет поры горной породы, не занятые связанной водой; она разделяется на *гравитационную* и *капиллярную*.

Гравитационная вода обладает всеми свойствами капельно-жидкой воды. В частности, она движется под влиянием силы тяжести и создаёт гидростатическое давление, величина которого на любой глубине измеряется пьезометрической высотой, т. е. превышением поверхности уровня воды над данной точкой. При этом поверхность уровня, где гидростатическое давление отвечает атмосферному, определяется по отметке, на которой устанавливается вода в воображаемой скважине, пройденной в данную точку (скважина обсажена глухими трубами и принимает воду только своим дном). Если поверхность уровня лежит выше кровли водоносного пласта, ограниченного сверху водоупорным слоем, то она называется *пьезометрической поверхностью* (напорный пласт). Если же уровень в скважине, вскрывшей воду, остается на отметке вскрытия, то поверхность уровня называется *депрессионной* (безнапорный пласт).

Максимальное количество связанной и гравитационной воды, которое может вместить горная порода, выраженное в процентах от веса породы, называют *полной влагоёмкостью породы*. В объёмном выражении эта величина близка к пористости.

Ниже уровня грунтовых вод (т. е. уровня первого от дневной поверхности водоносного горизонта) горные породы находятся в

состоянии полной влагоёмкости и гидростатическое давление здесь больше атмосферного.

Выше этого уровня гравитационная вода отсутствует и свободная вода находится в капиллярном состоянии.

Капиллярная вода, поднимающаяся над уровнем грунтовых вод на десятки сантиметров в песках и до нескольких метров в глинах, характеризуется гидростатическим давлением, меньшим атмосферного, и способствует некоторому увеличению связности пород. Однако связность эта весьма неустойчива: при скоплении на земной поверхности воды, проникающей в горную породу и соединяющейся с капиллярной водой, последняя может легко переходить в гравитационное состояние.

Объёмы воды, отдаваемые горной породой при снижении депрессионной или пьезометрической поверхности, характеризуют её ёмкостные свойства. При этом вода может или свободно стекать (проявляется гравитационная ёмкость), или быть отжатой при приложении к породе дополнительной нагрузки (проявляется упругая ёмкость).

Коэффициент гравитационной водоотдачи пласта (μ) численно равен отношению объёма воды, освобождающейся из зоны понижения уровня безнапорного водоносного горизонта (депрессионной кривой), к объёму осушённой породы. Примерные значения коэффициентов гравитационной водоотдачи приведены в таблице 2.1.

Упругая ёмкость обусловлена тем, что при снижении гидростатического давления (поверхности уровней подземных вод) порода дополнительно уплотняется, а вода, наоборот, расширяется. В результате равновесие между объёмами пор и жидкости в породе нарушается и «лишняя» вода отжимается (порода при этом остается водонасыщенной). Количество воды, поступающее таким образом с единицы площади пласта при снижении напора в нём на 1 м, называется *коэффициентом упругой водоотдачи пласта* (μ). Ориентировочные его значения приведены в таблице 2.1.

Упругая ёмкость проявляется как в напорных, так и в безнапорных пластах, однако в безнапорных пластах она имеет подчинённое значение по сравнению с гравитационной. Поэтому на практике её учитывают лишь при дренировании напорных пластов.

Таблица 2.1

Коэффициенты водоотдачи для различных пород

Породы	Коэффициенты водоотдачи	
	Гравитационной	Упругой (на 1 м мощности пласта)
Крупнозернистые пески	0,30–0,35	10^{-4}
Среднезернистые пески	0,25–0,30	10^{-4}
Мелкозернистые пески	0,15–0,20	10^{-4}
Супеси	0,10–0,15	10^{-3}
Суглинки	0,01–0,05	10^{-3}
Закарстованные известняки	0,01–0,03	$10^{-5} - 10^{-4}$
Осадочные пористо-трещиноватые	0,01–0,03	$10^{-5} - 10^{-4}$
Сильно выветрелые, дезинтегрированные изверженные и метаморфические	0,01	10^{-5}
Плотные изверженные и метаморфические	< 0,005	$10^{-6} - 10^{-5}$

2.2. Основные представления о движении вод в горных породах

Главными действующими силами, определяющими фильтрацию (движение подземных вод) по порам и трещинам водонасыщенных горных пород, являются силы тяжести и гидростатического давления. В соответствии с этим, показателем энергии подземного потока является *напор подземных вод*, измеряемый в метрах:

$$H = z + h_{\text{п}} + p/\gamma_0,$$

где z – ордината точки, в которой определяется давление p , относительно произвольной плоскости сравнения, т. е. z определяет энергию, обусловленную силой тяжести; $h_{\text{п}}$ – пьезометрическая высота: $h = p/\gamma_0$, где γ_0 – удельный вес воды, то есть $h_{\text{п}}$ определяет долю энергии, обусловленную гидростатическим давлением p в данной точке.

Энергия потока затрачивается на преодоление сил сопротивления f , обусловленных вязкостью воды и трением о стенки пор или трещин. Многочисленные эксперименты доказывают, что движение воды в порах имеет ламинарный режим. Потери энергии на отрезке пути l , отражённые в изменении напора ΔH и равные работе сил сопротивления $f \cdot l$, оказываются поэтому пропорциональны величине

$V \cdot l$, где V – скорость фильтрации, равная расходу воды через единичное поперечное сечение фильтрующего пласта.

Подтверждением тому служит закон Дарси:

$$V = k \cdot J,$$

где J – безразмерный градиент напора, являющийся отношением потери напора к длине пути фильтрации ($J = \Delta H / l$), на котором отмечена данная потеря; k – коэффициент фильтрации.

Коэффициент фильтрации характеризует силы сопротивления, возникающие при движении воды через горную породу, и обратно пропорционален этим силам. Он является основной характеристикой при расчёте дренажа, определяющей водопроницаемость горных пород, скорость водоотдачи и радиус влияния дренажных устройств. В таблице 2.2 приведены его примерные значения для различных типов пород.

Таблица 2.2

Значения коэффициента фильтрации

Породы	k , м/сут
Очень чистые галечники, гравий с крупным песком, сильно закарстованные известняки	100–1000 и более
Галечники и гравий с песчаным заполнителем, крупнозернистый песок, интенсивно трещиноватые карбонатные породы	20–100
Мелко- и среднезернистые пески, галечники с песчаным и суглинистым заполнителем, трещиноватые карбонатные породы, интенсивно трещиноватые изверженные и метаморфические породы	5–20
Тонкозернистые пески, песчаники с глинистым цементом; трещиноватые изверженные и метаморфические породы	0,5–5
Супеси	0,1–1
Суглинки	0,01–1
Песчаные глины	0,01–0,001
Мягкие пластичные глины	< 0,001

Несвязные и слабосвязные горные породы, в которых $k < 1$, считаются слабопроницаемыми и плохо поддаются дренированию.

Трещиноватые твёрдые породы в отношении их дренируемости недостаточно характеризовать только величиной k . Например, при редкой сетке достаточно крупных трещин коэффициент фильтрации может быть небольшим, а дренируемость пород – хорошей.

Поэтому наряду с коэффициентом фильтрации для характеристики проводящих свойств пласта мощностью m используется *коэффициент водопроницаемости* $T = k \cdot m$, обычно измеряемый в квадратных метрах в сутки ($\text{м}^2/\text{сут}$).

Общая картина движения подземных вод к горным выработкам или дренажным сооружениям может быть представлена следующим образом. Вскрытие водоносного горизонта горной выработкой или каким-либо другим дренирующим сооружением (например, скважиной, из которой откачивается вода) создаёт в пласте область пониженного напора (гидростатического давления). Это вызывает, согласно закону Дарси, движение воды в сторону вскрывающей выработки. В первое время в выработки поступает вода из ближайших к ним зон водоносного пласта за счёт его гравитационной (безнапорные пласты) или упругой (напорные пласты) ёмкости. При этом происходит снижение уровней (давления), которое постепенно распространяется все дальше от области дренажа, и, таким образом, образуется депрессионная *воронка* или *зона влияния дренирующей выработки*.

Скорость распространения этого влияния зависит от *коэффициента уровнепроводности* $a = T / \mu$ или от *коэффициента пьезопроницаемости* $a' = T / \mu'$, измеряемых в квадратных метрах в сутки ($\text{м}^2/\text{сут}$).

Размеры зоны влияния дренирующей выработки пропорциональны величине $\sqrt{a} \cdot t$ или $\sqrt{a'} \cdot t$, где t – время от начала процесса. Так как $\mu < \mu'$, то в напорных пластах влияние дренажа распространяется при прочих равных условиях намного быстрее и дальше, чем в безнапорных.

После того, как зона влияния достигает какой-нибудь области питания водоносного пласта (например, река или водоём), начинается дополнительный приток вод из этой области. По мере продолжающегося (хотя и в замедленном темпе) понижения давления в зоне влияния, этот приток все более возрастает, так что может наступить момент, когда суммарное дополнительное поступление воды в пласт будет равно расходу воды, поступающей в горную или дренажную выработку. С этого момента снижение давления в пласте практически прекращается, наступает стационарный (не зависящий от времени) режим фильтрации в отличие от нестационарного режима на предыдущих этапах.

В данном случае была описана некоторая идеализированная схема движения подземных вод, которая отражает лишь общие тенденции в развитии процесса и не учитывает многие его детали (например, усиление инфильтрационного питания водоносных горизонтов или их взаимодействие друг с другом).

2.3. Общие вопросы защиты карьеров от воды

Подземные и поверхностные воды – важная, а иногда и определяющая причина инженерно-геологических явлений, вызывающих нарушения устойчивости бортов, откосов, уступов и ярусов отвалов карьеров. Большие суммарные водопритоки в карьеры создают опасную обстановку для горных работ, значительно снижают производительность труда в результате неблагоприятных условий эксплуатации горнотранспортного оборудования и высокой влажности полезного ископаемого.

Нарушения устойчивости (оползни, обрушения, оплывины и др.) приводят к выходу из строя технологического оборудования, дополнительным затратам на переэкскавацию, потерям и разубоживанию полезного ископаемого. Неблагоприятные условия работы горнотранспортного оборудования при больших притоках воды в карьер характеризуются затоплением рабочих площадок и забоев, образованием наледей, разжижением и налипанием горных пород и другими явлениями. Повышенная влажность полезного ископаемого делает его некондиционным, труднообогатимым и удорожает транспортировку (особенно в зимнее время). Для снижения отрицательного влияния воды на производство открытых горных работ предусматриваются специальные мероприятия по защите карьеров.

Защищают карьеры от поверхностных вод с помощью систем гидротехнических сооружений, имеющих целью сбор и отвод за пределы карьерных полей дождевых, талых и паводковых вод. Такие системы носят название *гидрозащиты карьера*.

Борьба с карьерными водами производится с помощью внутрикарьерного водоотлива. Для защиты от подземных вод широко применяется *дренаж* (англ. drain – осушать), предусматривающий перехват потока подземных вод или его части дренажными устройствами за пределами карьера. Дренаж позволяет снизить уровни, напоры и притоки подземных вод, а также частично или полностью

осушить водоносные горизонты в пределах карьерного поля. Аналогичные результаты могут быть достигнуты с помощью *барража* (фр. barrage – заграждение), заключающегося в ограждении карьера противодиффузионными завесами, сооружаемыми в водоносных горизонтах на пути движения потока подземных вод к горным выработкам. Этот способ защиты карьера перспективный в отношении охраны подземных вод от истощения и загрязнения.

В конечном итоге все мероприятия по защите карьеров от воды направлены на обеспечение безопасных условий ведения горных работ, наиболее полного извлечения запасов кондиционного полезного ископаемого с учётом охраны водных ресурсов района расположения месторождения и использования подземных и карьерных вод в народном хозяйстве (рис. 2.1). Проекты защиты карьеров от воды являются составной частью технических проектов разработки месторождений.

Системы защиты обосновываются для конкретных условий разработки месторождений, а сроки сооружения систем защиты увязываются с календарным планом развития горных работ.

Проектирование системы защиты карьера от воды ведётся с учётом многообразия природных факторов и принятой технологии ведения горных работ.

К *природным факторам*, влияющим на выбор системы защиты карьера от воды, относятся геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические, орографические и климатические.

Геологические факторы включают литологию, мощность, выдержанность и характер распространения по площади слоёв пород, тектоническое строение месторождения, глубину и элементы залегания полезного ископаемого.

Гидрогеологические факторы определяются:

- наличием и числом водоносных горизонтов, их мощностью и напором, коэффициентом фильтрации и водоотдачей, характером их питания и разгрузки, гидравлической связью между ними и поверхностными водотоками;

- наличием водоупорных и слабоводопроницаемых пород.

Инженерно-геологические факторы включают водные и физико-механические свойства горных пород, а также такие геологические явления как карст, суффозия (вынос водой растворимых веществ и мелких частиц породы) и др.

Орогидрографические факторы определяются рельефом поверхности и формой гидросети месторождения.

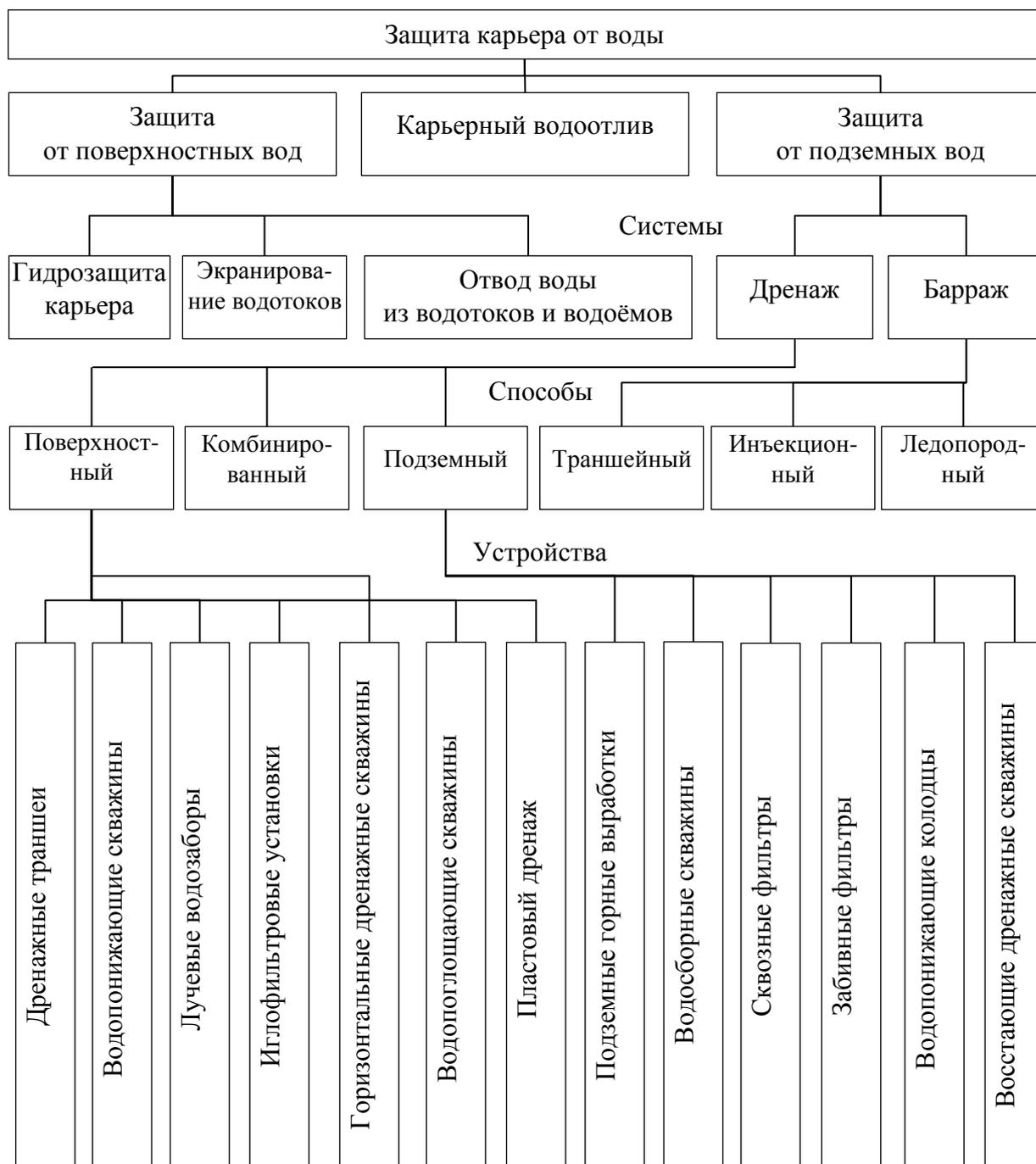


Рис. 2.1. Защита карьера от подземных вод

Выбор рациональных норм или пределов осушения при защите карьеров от подземных вод производится исходя из допустимых параметров откосов уступов и бортов карьеров и отвалов или допустимых уровней напоров и притоков воды, при которых инженерно-геологические явления не осложняют ведение горных работ.

На карьерах, где массивы представлены скальными устойчивыми породами, мероприятия по защите от подземных вод сводятся в основном к организованному приёму и отводу воды от добычных и вскрышных забоев, транспортных коммуникаций.

При производстве горных работ в связных водонепроницаемых породах, ниже которых залегают напорные водоносные горизонты, дренаж должен обеспечить снятие напоров до безопасных величин с точки зрения прорыва (выпора) напорных вод в подошве карьера.

Требования к осушению рыхлых несвязных пород определяются из условий фильтрационной устойчивости откосов. Главным фактором здесь является критический приток воды, вызывающий фильтрационные деформации, предельно допустимые для принятого горного оборудования.

2.4. Дренажные системы

Дренажные системы карьеров представляют собой комплекс дренажных устройств, предназначенных для перехвата подземных вод и осушения водоносных горизонтов, вводимых в работу в определённой последовательности и располагаемых по конкретной схеме. Последовательность ввода в работу дренажных устройств, располагаемых в плане в высотном отношении по какой-либо схеме, определяет систему дренажа. При этом выбор системы зависит от гидро- и инженерно-геологических условий эксплуатации карьера (табл. 2.3).

Дренажные системы по схемам расположения устройств, способам сооружения и срокам службы подразделяются на несколько типов. В зависимости от сроков сооружения выделяются *опережающие* (предварительные) и *параллельные* дренажные системы.

Опережающая дренажная система применяется на месторождениях со сложными гидрогеологическими условиями, когда без предварительного снижения уровней (напоров) невозможно или весьма затруднительно проведение вскрышных работ. В этом случае дренажные системы сооружаются и вводятся в строй за 1–3 года до начала эксплуатации месторождения. Время опережения дренажа по отношению к горным работам устанавливается в соответствии с расчётом сроков формирования депрессионной воронки в пределах карьерного поля или участков первоначальной его отра-

ботки после ввода в эксплуатацию дренажной системы. В дальнейшем дренажная система развивается с опережением (во времени) по отношению к горным работам.

Таблица 2.3

**Классификация месторождений
по условиям дренирования карьерных полей (ВНИИИ)**

Категория месторождения	Группы по гидро- и инженерно-геологическим условиям эксплуатации карьера	
	А (разработка рыхлых песчаных и глинистых пород)	Б (разработка скальных и полускальных пород, не склонных к размоканию и разбуханию)
I (простые)	Притоки до 200 м ³ /ч. Горные работы выполняются с применением открытого водоотлива. При строительстве карьера применяют водопонижающие скважины с суммарным дебитом до 400 м ³ /ч	Притоки до 500 м ³ /ч. Горные работы выполняются с применением открытого водоотлива или водопонижающих скважин с суммарным дебитом до 500 м ³ /ч
II (сложные)	Притоки 200–1000 м ³ /ч. Применение средств глубинного дренажа	Притоки 500–3000 м ³ /ч. Применение средств глубинного дренажа
III (особо сложные)	Притоки более 1000 м ³ /ч. Необходим дренаж всей разрабатываемой толщи пород и подошвы карьера скважинами или подземным дренажным комплексом	Притоки более 3000 м ³ /ч. Необходим дренаж всей разрабатываемой толщи пород и подошвы карьера скважинами или подземным дренажным комплексом

Параллельная дренажная система применяется на месторождениях с относительно простыми гидрогеологическими условиями одновременно с горными работами – как вскрышными, так и по добыче полезных ископаемых. Параллельная дренажная система может действовать самостоятельно или совместно с опережающим дренажом. Такая дренажная система называется совмещенной и применяется для защиты карьеров от подземных вод с весьма сложными гидрогеологическими условиями.

По срокам службы дренажные системы разделяются на *постоянные* и *временные*.

Постоянная дренажная система строится за пределами карьера или на нерабочих бортах и находится в эксплуатации до окончания разработки месторождения. Отдельные дренажные устройства могут со временем заменяться новыми, но дренажная система остается в целом стабильной (рис. 2.2).

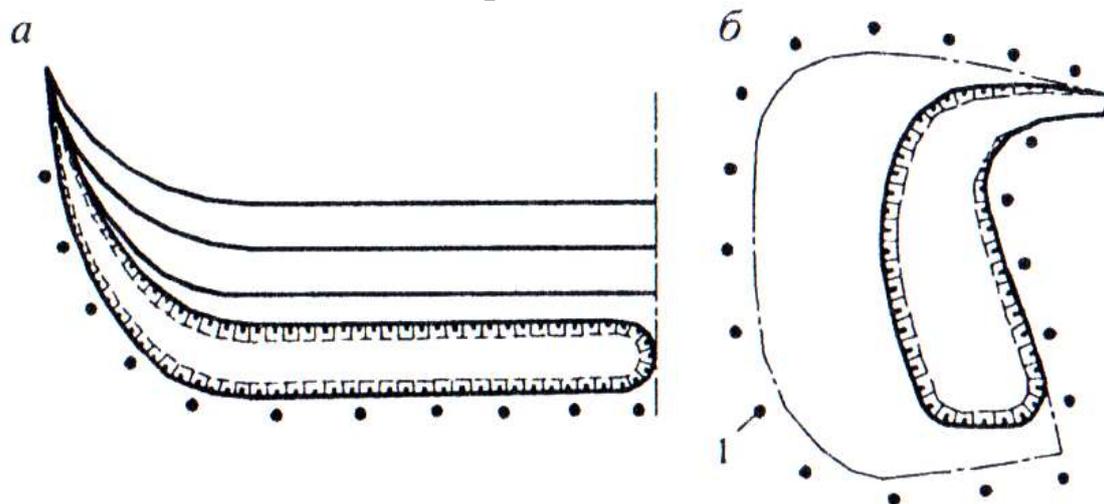


Рис. 2.2. Постоянные дренажные системы: *а* – однолинейная схема осушения карьера; *б* – одноконтурная схема осушения карьера; *1* – водопоглощающие скважины

Временная или скользящая дренажная система сооружается на рабочих бортах, служит для их защиты и переносится по мере продвижения фронта работ, существует в неизменном виде или строится другая (в зависимости от изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий). Скользящие схемы осушения показаны на рис. 2.3.

По способам сооружения дренажные системы разделяются на *поверхностные, подземные* и *комбинированные*.

Поверхностная дренажная система сооружается с поверхности земли или с поверхности уступов карьеров. В зависимости от величины снижения уровня или напора подземных вод различают мелкий и глубокий дренажи. Мелкий дренаж применяется для осушения полезного ископаемого и вмещающих пород у границ карьера или вскрышных траншей при неглубоком залегании водоносных горизонтов (80–100 м) в породах с хорошей водоотдачей. При этом в качестве дренажных устройств используются в основном открытые и закрытые дренажные траншеи, прибортовой дренаж, водопоглощающие скважины, иглофильтровые установки и горизонтальные дренажные скважины. Глубокий дренаж предусматривает пе-

рехват подземных вод и осушение глубоких водоносных горизонтов мощностью свыше 10 м, с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут, залегающих на глубинах 25–500 м, водопонижающими и поглощающими скважинами, лучевыми водозаборами и горизонтальными дренажными скважинами.

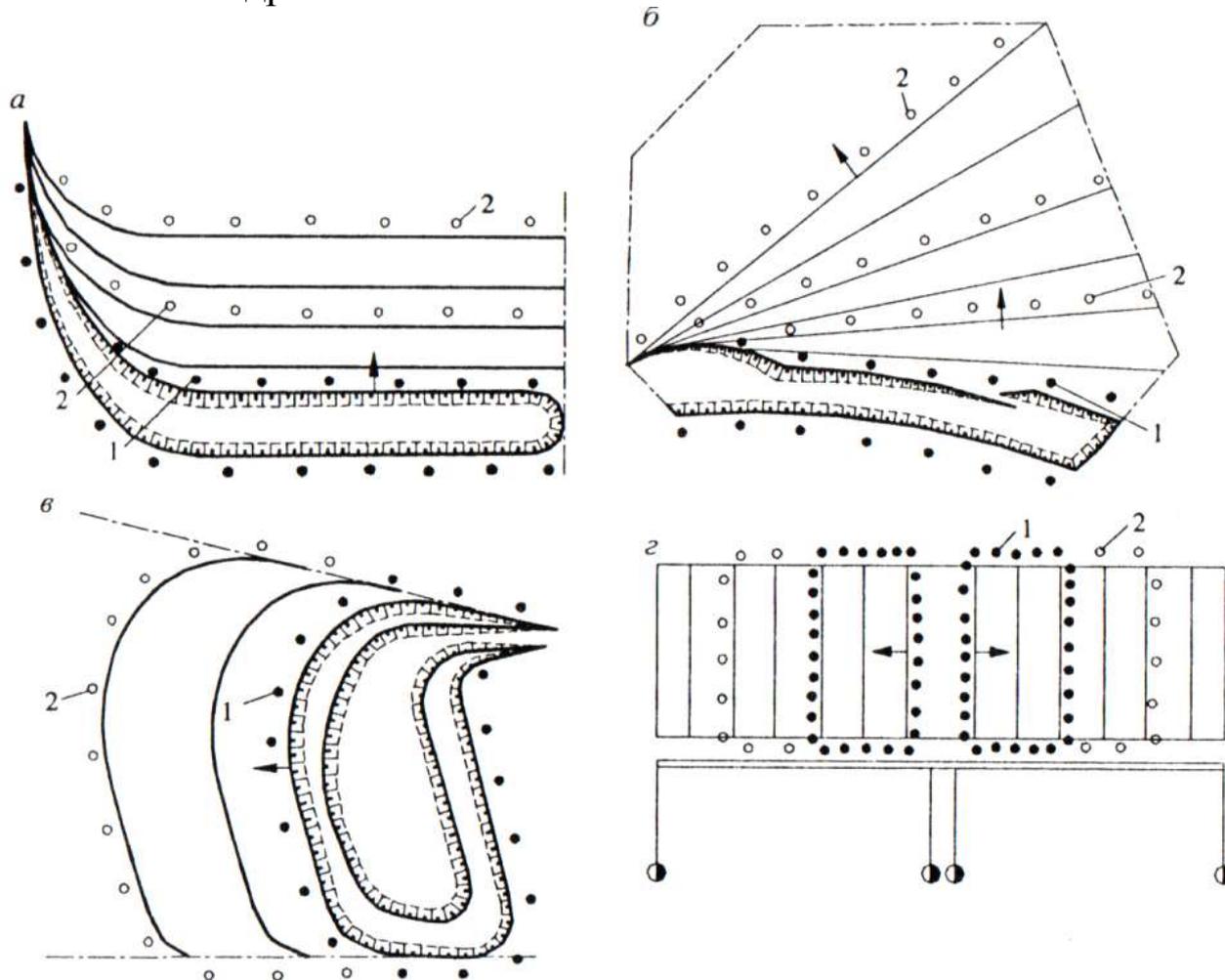


Рис. 2.3. Скользящие схемы осушения: а – скользящих параллельных рядов в карьере; б – скользящих веерных рядов; в – скользящих контуров; г – скользящих подземных контуров под выемочными участками карьера; 1 – водопонижающие скважины первой очереди; 2 – водопонижающие скважины второй и последующих очередей

Поверхностный дренаж имеет следующие *достоинства*: небольшие капитальные затраты; малые сроки сооружения; высокая оперативность управления осушением локальных участков карьерного поля. Недостатки его следующие: сложность централизации водоотлива дренажных вод; низкая надёжность погружных насосов; ограниченность применения по фильтрационным характеристикам горных пород (коэффициент фильтрации должен быть более 3–5 м/сут).

Подземная дренажная система предусматривает создание дренажной системы с использованием подземных горных выработок (шахтных стволов, штолен, штреков и квершлагов), в которых сооружаются забивные и сквозные фильтры, водосборные, разгрузочные и опережающие скважины, водопонижающие колодцы и другие дренажные устройства. От всех дренажных устройств подземные воды поступают в горные выработки и централизованно откачиваются на поверхность, за пределы карьерного поля. Подземная дренажная система перед поверхностной имеет следующие преимущества:

- применимость её для дренажа слабопроницаемых горных пород (с коэффициентом фильтрации менее 1–3 м/сут);
- надёжность и централизация дренажа;
- возможность отказа от карьерного водоотлива;
- более низкая стоимость эксплуатации.

Вместе с тем система обладает некоторыми недостатками: большой объём горных работ и высокая их стоимость; возможность осложнений при поддержании устойчивости дренажных выработок в сложных горно-геологических условиях.

Комбинированная дренажная система включает дренажные устройства, сооружаемые как с поверхности земли, так и из подземных горных выработок (при этом часть подземных вод откачивается в горные выработки). Применять комбинированную систему целесообразно в сложных и весьма сложных гидрогеологических условиях, при наличии двух и более водоносных горизонтов, подлежащих осушению.

По схемам расположения дренажных устройств в плане используют *кустовые, линейные, контурные* и *сетчатые* дренажные системы (рис. 2.4).

Кустовая дренажная система (рис. 2.4, а) применяется для защиты локальных участков карьерного поля в местах сосредоточенного развития подземных вод (водоносные линзы, водообильные зоны тектонических нарушений, закарстованные участки). В таких условиях дренажные устройства закладываются на выявленных обводнённых участках группами или кустами.

Линейная дренажная система (рис. 2.4, б) внедряется для перехвата потока подземных вод в пластах ограниченной ширины при поступлении воды в карьер преимущественно с какой-либо одной

стороны. Чаще всего она применяется на месторождениях с наклонным или крутым залеганием слоёв горных пород и высокой их водопроницаемостью. Целесообразно её применение для перехвата фильтрационного потока на пути движения к карьере из открытых водоёмов и водотоков. Она строится также для временного дренажа рабочих уступов карьера, разрезных и врезных траншей. *Контурная дренажная система* (рис. 2.4, *в*) применяется для полной защиты карьера от подземных вод и располагается по его периметру. Наиболее эффективно применение такой системы в условиях горизонтального залегания водоносных горизонтов с высокими фильтрационными свойствами. Для более полного перехвата потока подземных вод дренажная система может состоять из двух и более контуров. *Сетчатая дренажная система* (рис. 2.4, *г*) используется в основном в условиях при относительно равномерной обводнённости и малых коэффициентах фильтрации водоносных пород. Она применяется также для дренажа оснований отвалов.

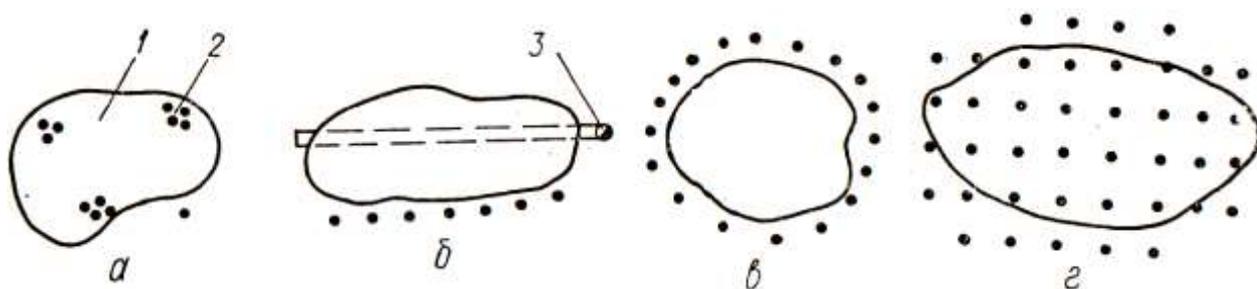


Рис. 2.4. Схемы расположения дренажных устройств в плане: *а* – кустовая; *б* – линейная; *в* – контурная; *г* – сетчатая; *1* – контур карьерного поля; *2* – водопонижающие скважины; *3* – подземная дренажная выработка

Приведённые выше дренажные системы в зависимости от числа водоносных горизонтов, подлежащих дренажу, могут быть *одно- и многоярусными* (рис. 2.5).

При наличии одного или нескольких разобщенных водоносных горизонтов, имеющих примерно одинаковые фильтрационные свойства, применяется *бесколлекторная* дренажная система (рис. 2.5, *а*). При этом дренаж каждого водоносного горизонта производится самостоятельно.

Если между смежными водоносными горизонтами существует гидравлическая связь, а нижерасположенный горизонт имеет значительно более высокую водопроницаемость, целесообразно применять *коллекторную* дренажную систему (рис. 2.5, *б*). В этом случае

вода из верхнего водоносного горизонта перепускается в нижний, а затем откачивается на поверхность.

Трёхъярусная коллекторная система показана на рис. 2.5, в, где существует три водоносных горизонта, средний из которых является коллектором для верхнего водоносного горизонта, а нижний дренируется самостоятельно.

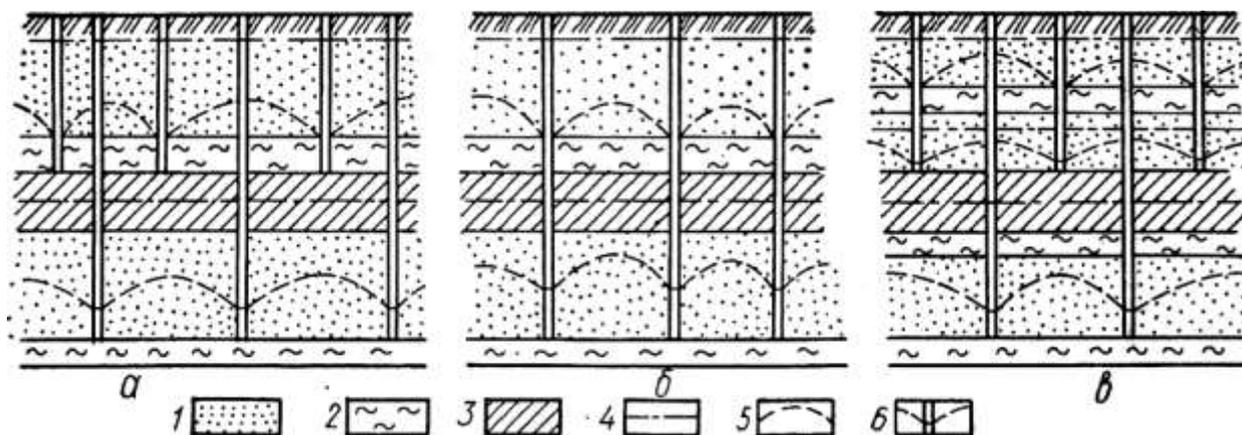


Рис. 2.5. Схемы расположения дренажных устройств в профиле: а – двухъярусная бесколлекторная; б – двухъярусная коллекторная; в – трёхъярусная; 1 – осушаемые водоносные горизонты; 2 – водоупорные породы; 3 – водопроницаемый пласт полезного ископаемого; 4 – напор (уровень) подземных вод до эксплуатации дренажных систем; 5 – депрессионная кривая; 6 – водопонижающая скважина

Выбор дренажной системы по способу сооружения, сроку ввода в эксплуатацию и службы, а также схемы расположения дренажных устройств в процессе открытой разработки месторождений определяется на основании технико-экономического сравнения вариантов.

2.5. Дренажные устройства и технические средства дренажа

Дренажные устройства предназначены для приёма, перехвата, транспортировки и откачки подземных вод и подразделяются на поверхностные и подземные.

Поверхностные дренажные устройства – это дренажные траншеи, горизонтальные трубчатые дрены, прибортовой и пластовый дренаж, водопонижающие, водопоглощающие разгрузочные и водосбросные скважины, горизонтальные дренажные скважины, сквозные фильтры, иглофильтровочные установки, лучевые водозаборы.

Дренажные траншеи (рис. 2.6, а) представляют собой вытянутые в плане котлованы глубиной до 15 м. Они применяются в контурных и линейных системах мелкого поверхностного дренажа для перехвата подземных вод и осушения водоносных горизонтов в пределах одного уступа. Вода стекает по дренажным траншеям в водосборники – зумпфы, откуда откачивается на поверхность с помощью стационарных насосных станций (рис. 2.7).

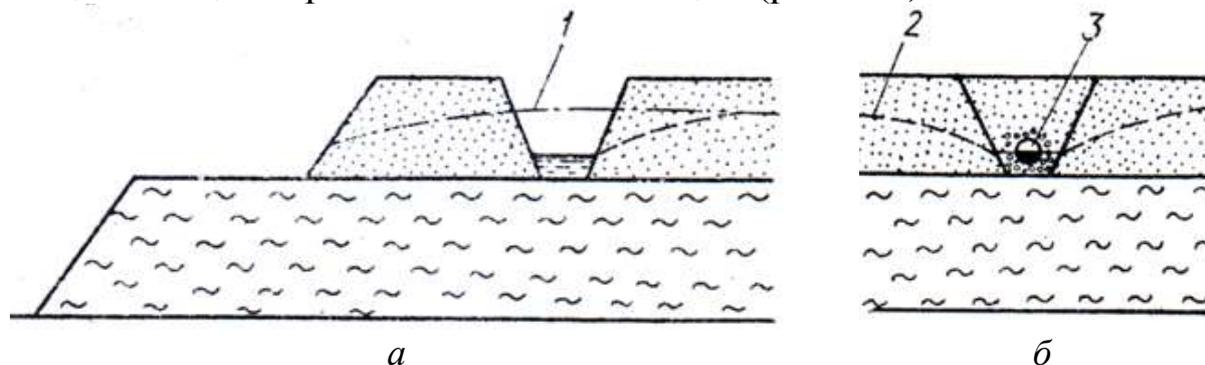


Рис. 2.6. Горизонтальные дренажные устройства для мелкого поверхностного дренажа: а – дренажная траншея; б – горизонтальная трубчатая дрена; 1 – положение уровня грунтовых вод до сооружения дрены; 2 – депрессионная кривая; 3 – перфорированная труба в гравийной фильтрующей обсыпке



Рис. 2.7. Откачка воды из зумпфа с помощью стационарной насосной установки, расположенной на площадке уступа

Также для этих целей используются передвижные насосные станции (рис. 2.8). Кроме того, дренажные траншеи, пройденные за контуром карьера, предназначены для перехвата ливневых и талых вод и входят в систему гидрозащиты.

а



б



Рис. 2.8. Откачка воды из зумпфа с помощью передвижных транспортируемых насосных станций: *а* – на салазках; *б* – на колесах

Траншеи проходятся специальными траншейными экскаваторами (ЭР-4, ЭР-5, ЭР-6, ЭР-7А, ЭТН-171, ЭМ-201, Э-153А и Э-221). При выполнении этой работы экскаваторы могут оборудоваться программным управлением. Вода из дренажных траншей выводится, если позволяет рельеф местности, самотёком или откачивается центробежными насосами низкого давления.

Горизонтальные трубчатые дрены (рис. 2.6, б) отличаются от дренажных траншей тем, что на дно траншеи укладывают трубы, предназначенные для сбора и транспортировки воды. Трубы-коллекторы засыпаются фильтрующим материалом в один-два слоя. Вода в трубы поступает через специально сделанные отверстия (перфорацию) или стыковые соединения. Применяются металлические, керамические, асбоцементные, стеклопластиковые и другие трубы. Трубчатые дрены рассчитаны на длительный срок эксплуатации и применяются для защиты бортов карьеров на предельном контуре, а также для дренирования оснований отвалов и промплощадок горнодобывающих предприятий.

Прибортовой дренаж представляет собой сочетание фильтрующей пригрузки с водоотводной канавой или трубчатой дренажем (рис. 2.9).

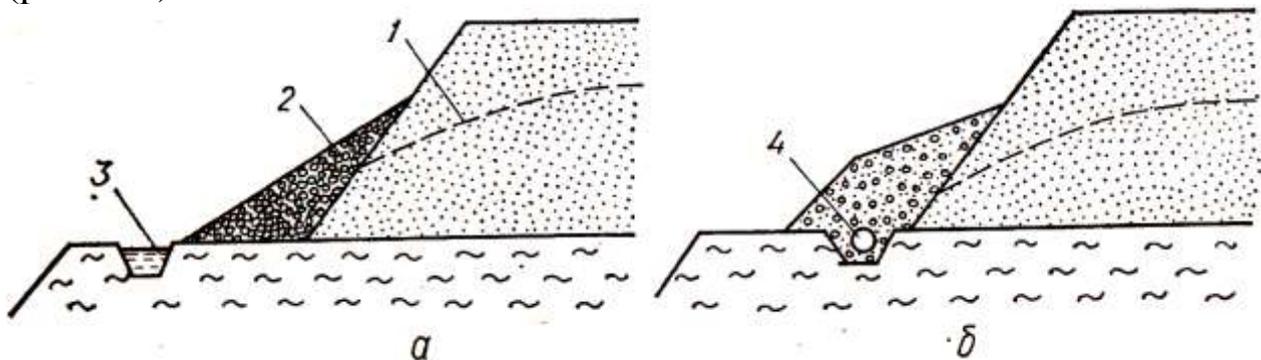


Рис. 2.9. Схемы прибортовых дренажей: сочетание фильтрующей пригрузки с дренажной канавой (а); с трубчатой дренажем (б); 1 – депрессионная кривая; 2 – фильтрующая пригрузка; 3 – дренажная канава; 4 – трубчатая дрена

Фильтрующая пригрузка выполняет роль упорной призмы и сооружается из щебня или гравия. Прибортовой дренаж имеет двойную цель:

- обеспечивать общую и фильтрационную устойчивость откоса;
- в сочетании с внешней дренажной системой полностью перехватывать фильтрационный поток.

Для создания качественного прибортового дренажа необходим тщательный подбор гранулометрического состава материала фильтрующей пригрузки, отвечающий следующим требованиям:

- водопроницаемость пригрузки должна на два порядка превышать защищаемые породы;
- пригрузка не должна допускать суффозии пород в откосе;
- материал пригрузки не должен заиливаться (кольтматироваться) мелкими частицами, выносимыми из защищаемого откоса.

Пластовый дренаж применяется для осушения оснований внутренних отвалов и повышения их устойчивости. Он представляет собой слой фильтрующего материала (щебень, крупнозернистый песок), укладываемого в основание защищаемого сооружения (рис. 2.10). Для повышения эффективности пластового дренажа в нём устанавливаются трубчатые дрены или сооружаются водосборные колодцы, из которых вода уходит самотёком или откачивается насосами. В качестве материала пластового дренажа применяются песчано-гравийные породы, имеющиеся во вскрышной толще при селективной их выемке.

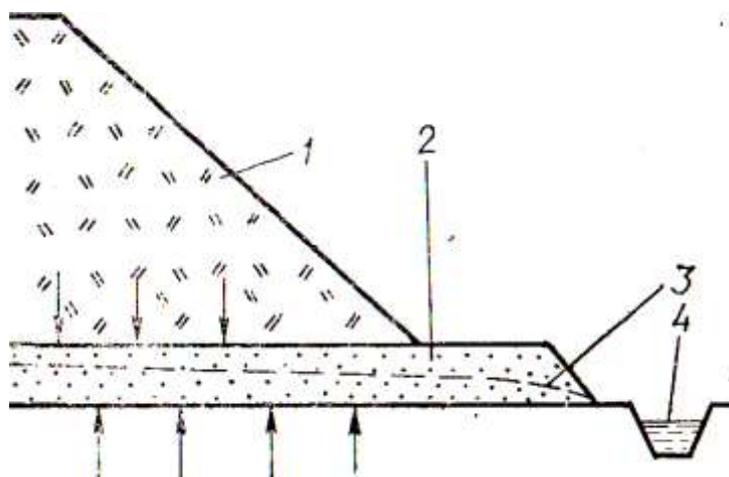


Рис. 2.10. Пластовый дренаж основания отвала: 1 – отвал; 2 – пласт фильтрующего материала; 3 – депрессионная кривая; 4 – водосборная канава

Водопонижающие скважины – это специальные буровые скважины, пробуренные в водоносных горизонтах, предназначенные для откачки воды насосами. Водопонижающие скважины диаметром 200–800 мм проводятся для снижения уровня (напора) в водоносных горизонтах мощностью свыше 10 м и с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут, залегающих на глубинах 25–500 м. Их бурят до подошвы водоносного горизонта, при пересечении водо-

носных горизонтов оборудуют фильтрами или перфорированными трубами (в трещиноватых породах) и оснащают погружными насосами.

Они могут применяться в различных гидрогеологических условиях и подразделяются на следующие виды: совершенные, несовершенные, комбинированные и коллекторные (рис. 2.11).

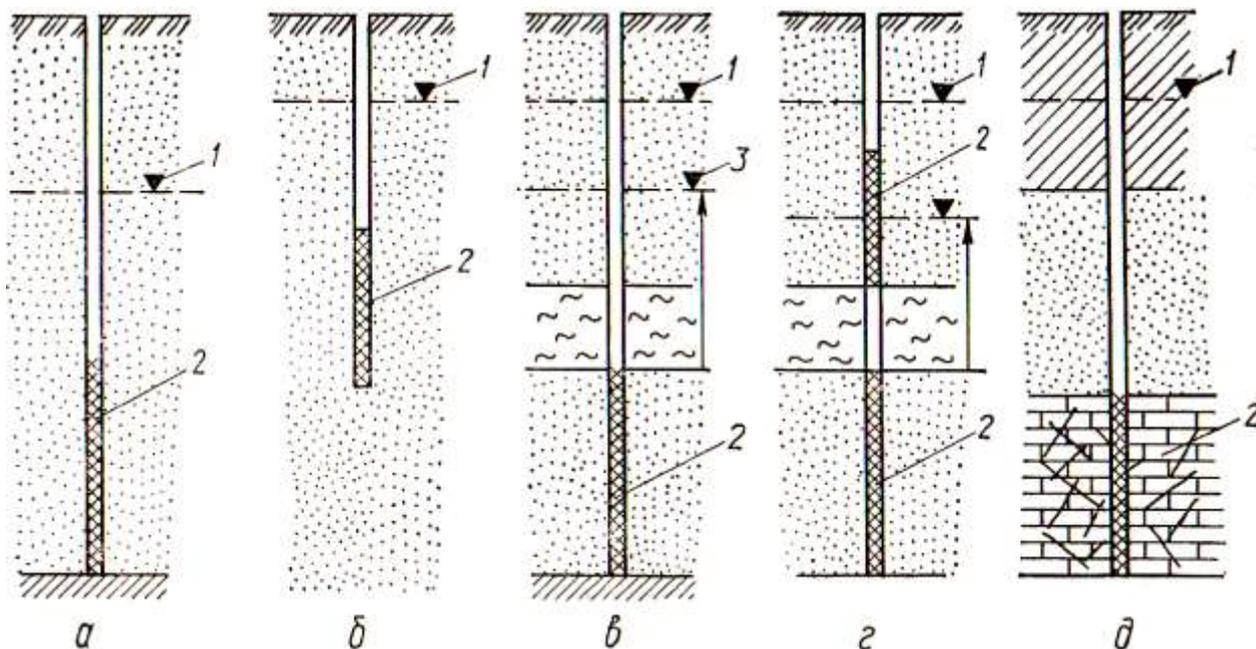


Рис. 2.11. Схемы водопонижающих скважин: *а* – совершенная в безнапорном водоносном горизонте; *б* – несовершенная; *в* – совершенная в напорном водоносном горизонте; *г* – комбинированная; *д* – коллекторная; 1 – уровень безнапорного водоносного горизонта; 2 – водоприёмная часть скважины (фильтр); 3 – уровень напорного водоносного горизонта

Совершенные скважины пересекают водоносный пласт на всю его мощность и используются для дренирования безнапорных водоносных горизонтов при мощности более 10 м и коэффициенте фильтрации более 1–3 м/сут (рис. 2.11, *а*), а также для дренирования напорных при меньших мощностях и коэффициентах фильтрации (рис. 2.11, *в*).

Несовершенные скважины (рис. 2.11, *б*) не добуриваются до водоупора и применяются для частичного дренирования безнапорных водоносных горизонтов большой мощности с высокими фильтрационными свойствами.

Комбинированные скважины (рис. 2.11, *г*) оборудуются на два и более водоносных горизонта, включая напорные. При откачке во-

ды из таких скважин одновременно дренируются все вскрываемые водоносные горизонты.

Коллекторные скважины (рис. 2.11, *д*) применяются для осушения слоистой водоносной толщи. Водоприёмная часть скважины размещается только в нижнем, наиболее водопроницаемом слое, который служит коллектором для верхних, менее проницаемых слоев.

Бурение водопонижающих скважин может производиться различными способами, выбор которых зависит от глубины, диаметра скважин и крепости горных пород. После бурения скважин производят крепление их обсадными трубами на участках неводонасыщенных слабых пород, а также при пересечении не требующих дренирования водоносных горизонтов. В качестве обсадных труб используются нержавеющие стальные, асбоцементные и пластмассовые трубы. После установки труб пространство между ними и стенками скважины цементируется.

В интервалах подлежащих осушению водоносных горизонтов устанавливаются фильтры (рис. 2.12) для пропуска в скважину воды без механических примесей. После крепления скважины обсадными трубами и установки фильтров делается опытная прокачка скважин.

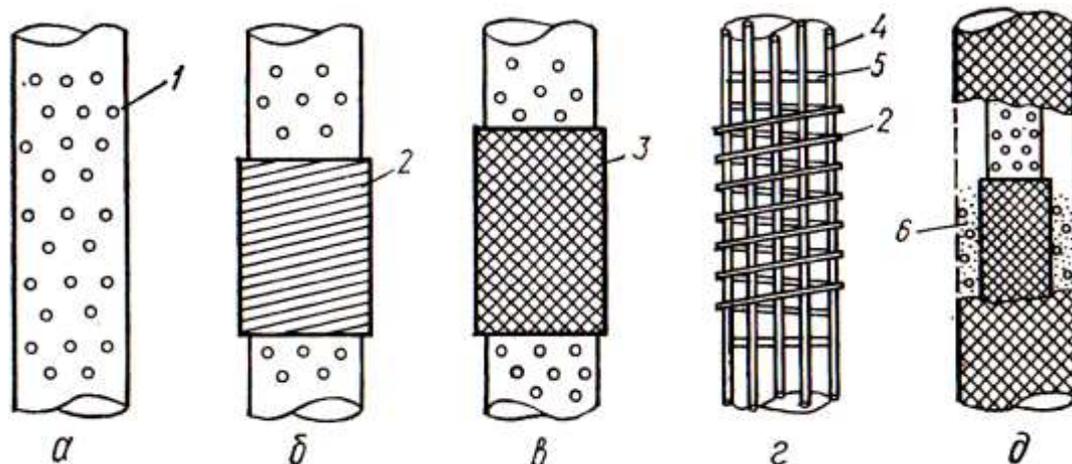


Рис. 2.12. Типы фильтров: *а* – дырчатый; *б* – проволочный; *в* – сетчатый; *г* – каркасно-стержневой; *д* – песчано-гравийный; 1 – отверстия; 2 – проволочная обмотка; 3 – сетка; 4 – стержневой каркас; 5 – опорный фланец; 6 – песчано-гравийная обсыпка

Эксплуатационная откачка воды из водопонижающих скважин осуществляется с помощью насосов трёх типов: всасывающих центробежных, глубинных непогружных и глубинных погружных (рис. 2.13).

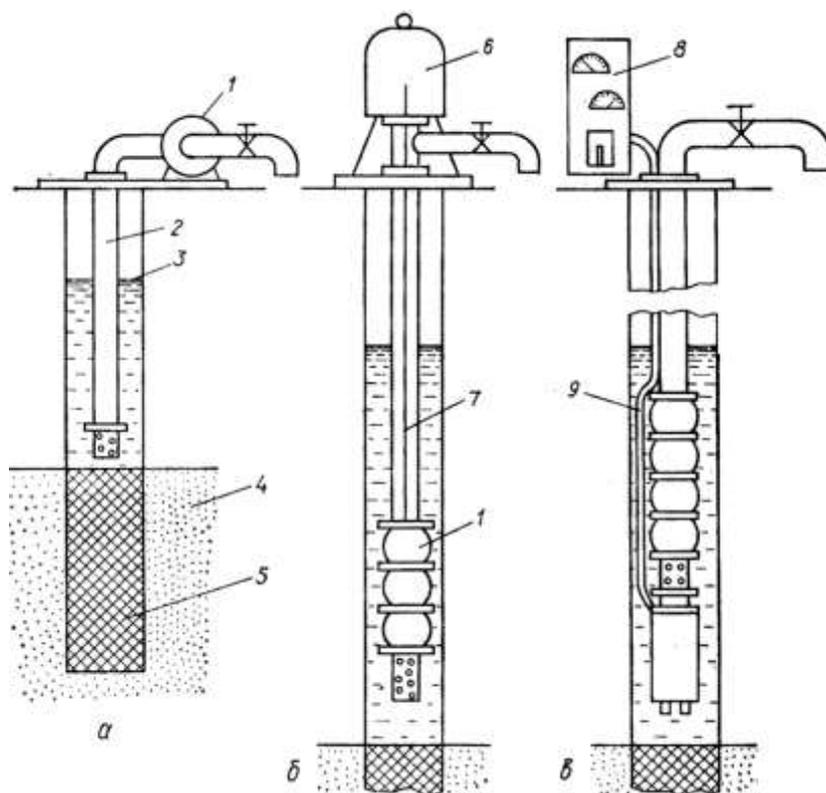


Рис. 2.13. Схемы установки насосов: *а* – центробежный всасывающий; *б* – непогружной глубинный; *в* – погружной глубинный; 1 – насосный узел; 2 – водоподъёмная труба; 3 – уровень воды в скважине; 4 – водоносный горизонт; 5 – фильтр; 6 – электродвигатель; 7 – трансмиссионный вал; 8 – станция управления; 9 – электрокабель

Погружной глубинный насос показан на рис. 2.14.

Водопоглощающие скважины предназначены для осушения верхних водоносных горизонтов путём перепуска воды в нижние (рис. 2.15). Водопоглощающие скважины сооружают для перепуска воды из верхних горизонтов с низкими фильтрационными свойствами в нижние с более высокими фильтрационными свойствами, когда величина напора воды в нижних горизонтах меньше напора на уровне залегания толщи разрабатываемого полезного ископаемого. Разность уровней в дренируемом и поглощаемом горизонтах обычно поддерживается водопонижающими скважинами.

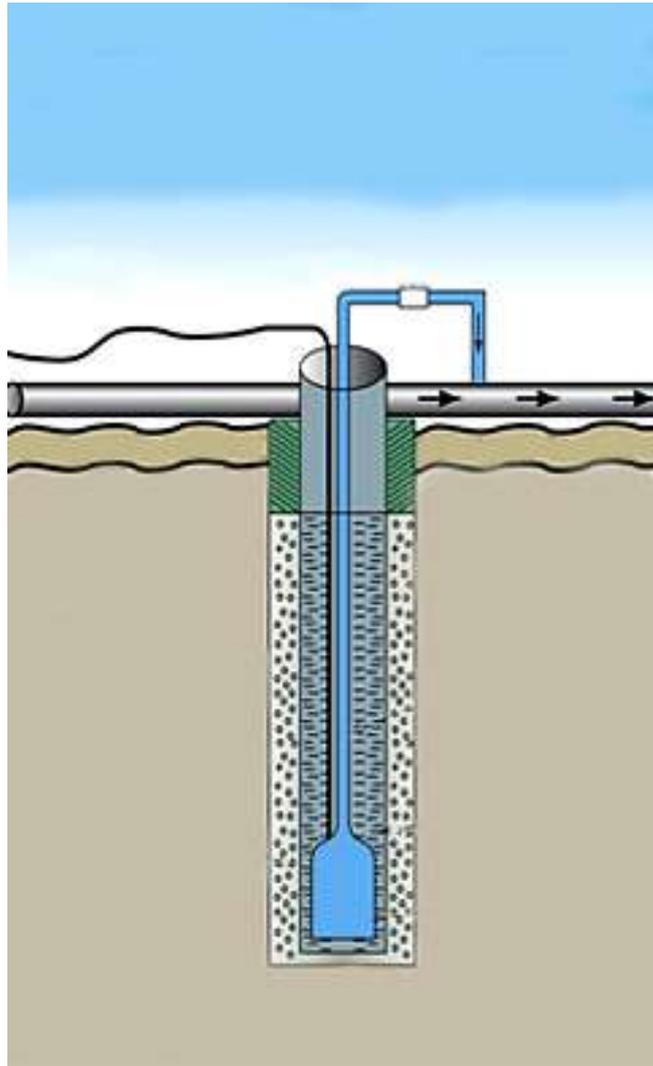


Рис. 2.14. Погружной глубинный насос

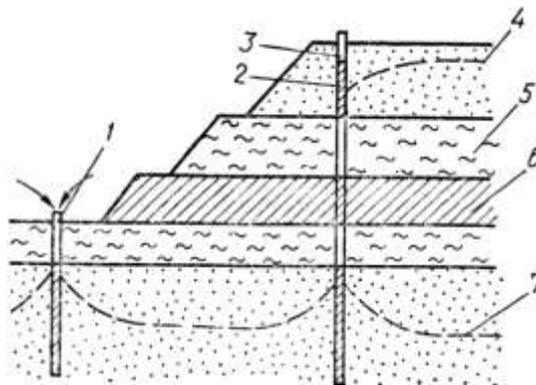


Рис. 2.15. Водосбросная и водопоглощающая скважины: 1 – водосбросная скважина; 2 – фильтр; 3 – водопоглощающая скважина; 4 – депрессионная кривая; 5 – водонепроницаемые породы; 6 – осушаемый горизонт; 7 – положение уровня воды в поглощающем горизонте

Водосбросные скважины используются для сброса карьерных вод в водоносные горизонты ниже дна карьера.

Разгрузочные скважины применяются для снятия гидростатического напора водоносного горизонта до безопасных величин. Вода из таких скважин самоизливается или фонтанирует (рис. 2.16).

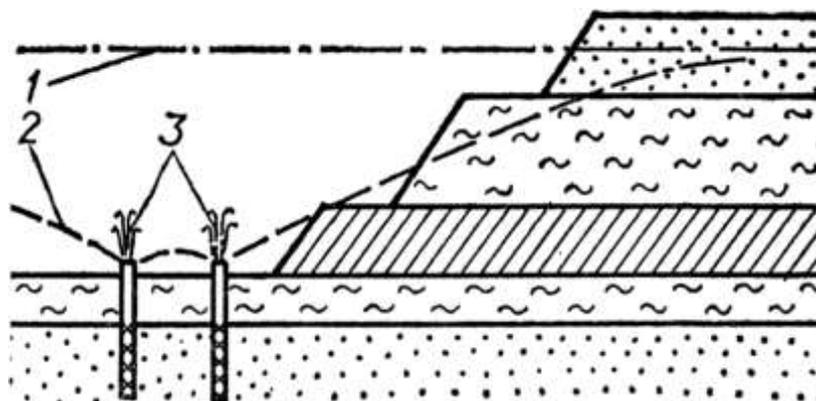


Рис. 2.16. Схема разгрузочных скважин: 1 – первоначальное положение напора подземных вод; 2 – сниженный напор; 3 – разгрузочные скважины

Горизонтальные скважины представляют собой самотечные горизонтальные дрены и закладываются у основания откосов уступов перпендикулярно борту карьера. Преимуществом этих скважин является значительно бóльшая их водозахватывающая способность при меньших капитальных и эксплуатационных затратах.

Горизонтальные скважины могут применяться в сочетании с открытым водоотливом (рис. 2.17, а) и с водопонижающими скважинами (рис. 2.17, б).

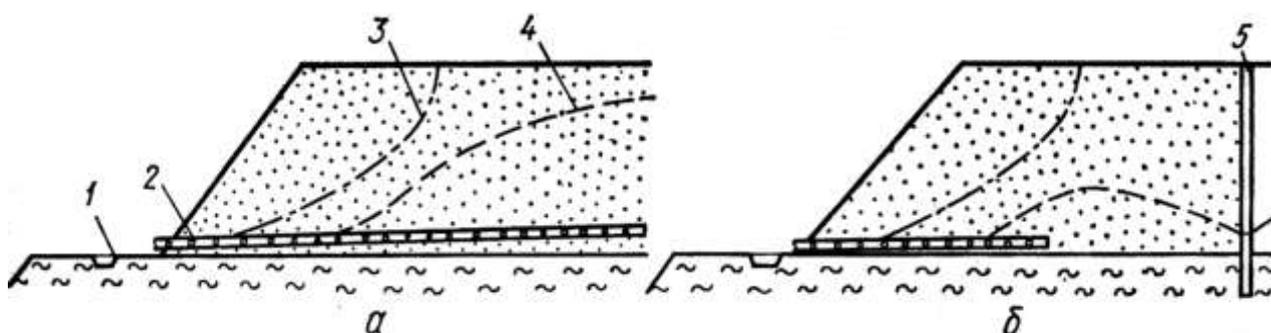


Рис. 2.17. Защита борта карьера горизонтальными дренажными скважинами: 1 – дренажная канава; 2 – горизонтальная дренажная скважина; 3 – линия возможного оползня уступа; 4 – депрессионная кривая; 5 – водопонижающая скважина

В горизонтальных скважинах применяются неметаллические легко разрушаемые экскаватором фильтры.

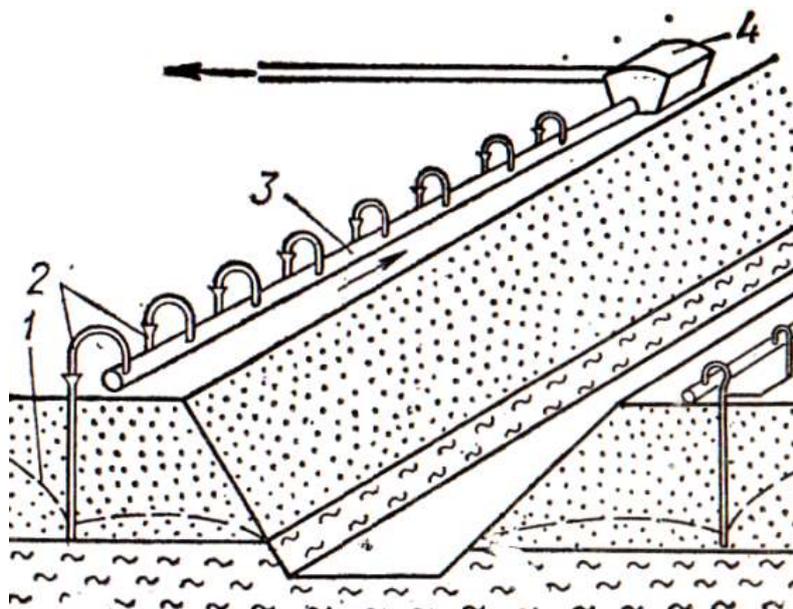


Рис. 2.19. Защита траншеи с помощью легкой иглофильтровой установки: 1 – депрессионная кривая; 2 – иглофильтры; 3 – всасывающий коллектор; 4 – вакуум-насос

Различают иглофильтры передвижные и легкие (рис. 2.20), отличающиеся только числом фильтров и производительностью. По расположению в плане различают однолинейные, двухлинейные и кольцевые, в профиле – одноярусные (на одном уступе), двухъярусные (на двух уступах).

Основной недостаток иглофильтровальных установок – малая высота подъема воды (6–8 м, 6 м для легких иглофильтров).

Лучевые водозаборы представляют собой вертикальные скважины или шахтные колодцы, из которых в пределах водоносного горизонта пробуриваются горизонтальные лучи-дрены (рис. 2.21).

Лучевые водозаборы обладают значительно большей водозахватывающей способностью и обеспечивают практически полный перехват подземных вод на пути их движения к карьеру.

Бурение горизонтальных лучей-дрен производится способом вращательного бурения, при этом шнекофильтры являются одновременно и буровым инструментом, и штангой. Бурение производится буровым агрегатом, расположенным в скважине диаметром не менее 0,8 м.

а



б



Рис. 2.20. Игольчатые фильтры: *а* – передвижные; *б* – легкие

Текущее осушение осуществляется в вариантах открытого (рис. 2.22, *а*) и подземного водоотлива (рис. 2.22, *б*).

Подземные дренажные устройства для осушения карьеров включают:

- подземные горные выработки (вертикальные вентиляционно-водоотливные стволы, околоствольные горизонтальные выработки для размещения водосборников и насосных установок, дренажные штреки);

- забивные фильтры;
- восстающие скважины (для дренирования водоносных горизонтов выше дренажных штреков);
- разгрузочные скважины (для уменьшения напоров вод ниже подошв дренажных штреков);
- водопонижающие колодцы (для понижения уровня безнапорных подземных вод).

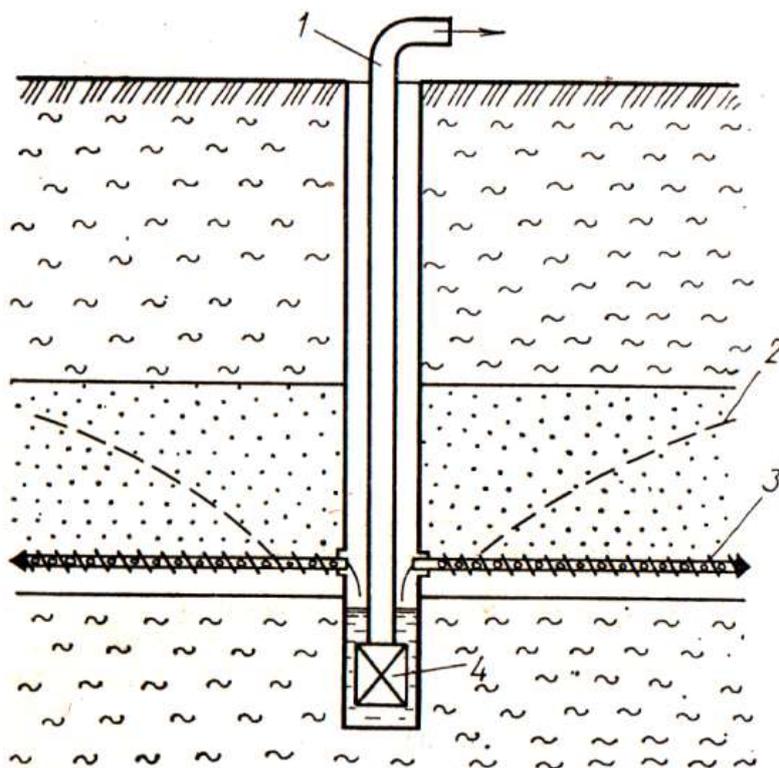


Рис. 2.21. Лучевой водозабор: 1 – водоподъемная труба; 2 – депрессионная воронка; 3 – шнекофильтры; 4 – насос

При глубоком залегании водоносных горизонтов применяют подземный способ осушения с использованием сети подземных дренажных штреков, сквозных фильтров, водопонижающих колодцев, опережающих выработок, восстающих, горизонтальных и наклонных скважин, пробуренных из дренажных горных выработок. Дренажные штреки проводят по кровле или почве полезного ископаемого, реже по пустым породам. Дренажные штреки сообщаются с поверхностью через штольни или стволы.

Дренаж воды в подземные выработки осуществляется через естественные трещины и тектонические нарушения, а при наличии водоупорных пород (мощностью более 2–3 м) в кровле или почве

пласта с помощью дренажных скважин различного назначения и направленности.

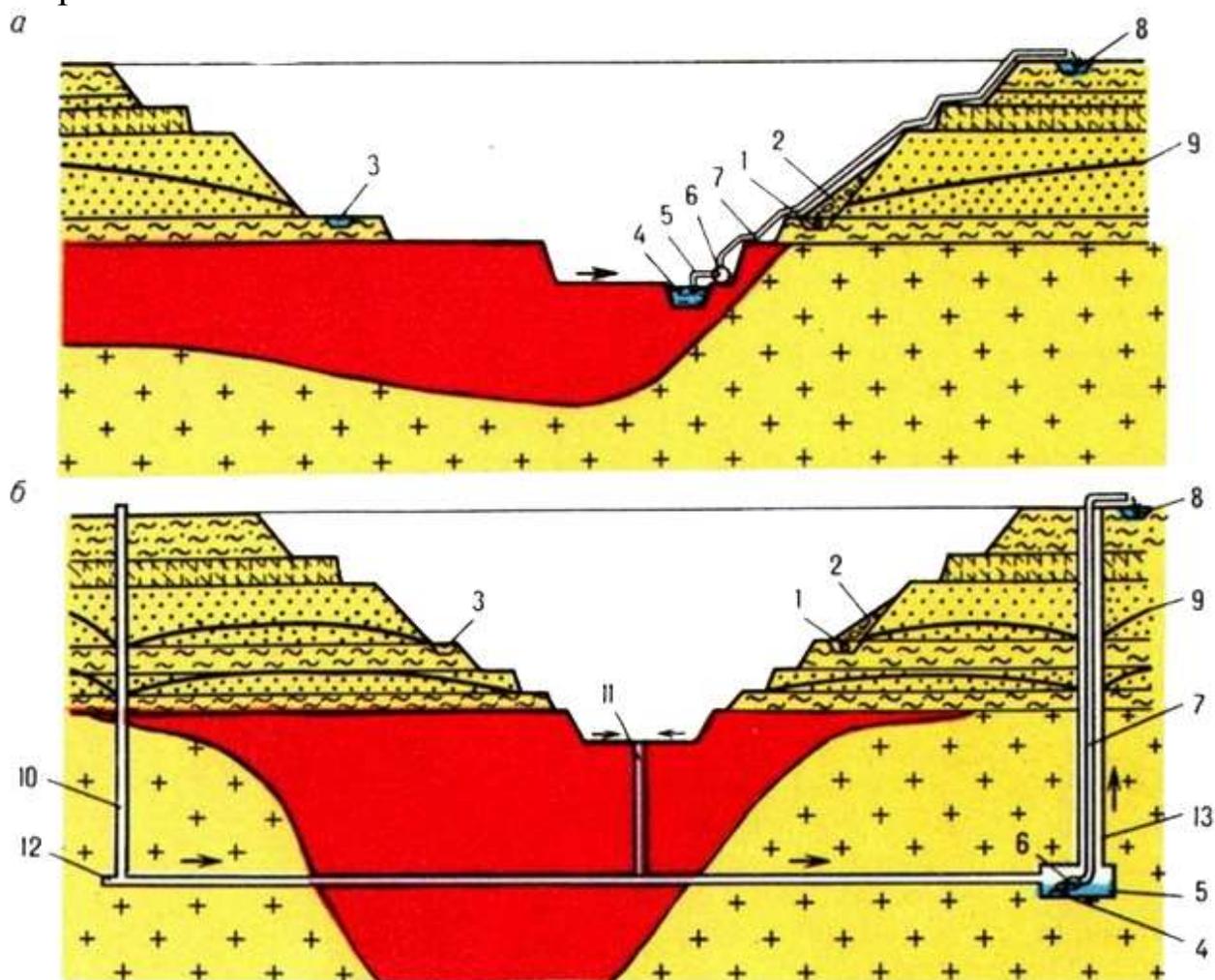


Рис. 2.22. Водоотлив на карьерах: 1 – дренажная канава; 2 – фильтрующий слой; 3 – водосборник; 4 – зумпф; 5 – всасывающий патрубок; 6 – насос; 7 – трубопровод; 8 – водоотводная поверхностная канава; 9 – водоносный горизонт; 10 – водопонижающий колодец (ствол); 11 – водопоглощающий колодец (ствол); 12 – горизонтальный водосборный штрек; 13 – водосбросной ствол

К примеру, для дренирования воды в штреки из вышележащих водоносных горизонтов при наличии водоупоров используются сквозные фильтры, представляющие собой скважины диаметром 100–500 мм, пробуренные в кровлю штрека с поверхности или из самой выработки и обсаженные трубами с фильтрами в интервалах водоносных горизонтов. Применяют их для дренажа водоносных горизонтов мощностью более 15 м, залегающих над полезным ископаемым на расстоянии свыше 30 м. Восстающие скважины (диаметром 50–125 мм) проводят из подземных выработок и оборудуют

фильтром в интервале водоносных горизонтов. Их применяют для дренажа водоносных горизонтов, залегающих на расстоянии 2–30 м от кровли выработки.

Для дренажа воды из водоносных горизонтов, расположенных ниже дренажной выработки, проходят водопонижающие колодцы или бурят нисходящие водопонижающие скважины. Водопонижающие колодцы – вертикальные горные выработки – закладывают на пониженных участках почвы выработок. Откачка воды из них осуществляется центробежными насосами.

Опережающие скважины (\varnothing 70–200 мм) проводят из подземных выработок в направлении обводнённых участков, содержащих напорные воды в целях предотвращения внезапных прорывов воды в забой выработки при её проведении.

Основные достоинства подземного дренажа:

- высокая степень централизации водоотлива;
- возможность использования как в хорошо проницаемых, так и сравнительно слабопроницаемых породах (с коэффициентом фильтрации $k = 1–5$ м/сут);
- простая организация внутрикарьерного водоотлива;
- относительно низкая стоимость эксплуатации.

Основные недостатки:

- большие технические трудности проведения подземных выработок в сложных гидрогеологических условиях (требуется большое число водопонижающих скважин для предварительного снижения напоров воды при проведении выработок);

- большая продолжительность строительства (годы). В связи с этим в период строительства и на первых этапах эксплуатации карьера чаще всего используются системы водопонижающих скважин и средства открытого водоотлива.

Преимущества систем поверхностного осушения водопонижающими скважинами, оборудованных погружными насосами:

- техническая простота исполнения;
- относительно малые первоначальные капитальные затраты;
- относительно быстрый ввод в эксплуатацию;
- высокая оперативность реагирования на изменение условий дренирования месторождения.

Недостатки систем поверхностного осушения с использованием водопонижающих скважин:

- малая эффективность в слабопроницаемых породах (при коэффициенте фильтрации $k < 5$ м/сут в несвязанных породах и менее 1 м/сут в трещиноватых);

- откачка воды большим числом самостоятельных водоотливных установок;

- большие эксплуатационные затраты, связанные с обслуживанием большого числа насосов;

- трудность централизованного водоотвода.

Комбинированное водоосушение является комбинацией способов поверхностного подземного дренажа воды.

Общим недостатком всех схем осушения карьерных полей являются:

- высокие затраты на выполнение дренажных работ. На месторождениях со сложными гидрогеологическими условиями – до 15–20% от общих вложений на строительство и эксплуатацию карьера;

- нарушение гидравлических и гидрохимических режимов подземных и поверхностных вод в районе открытых разработок при длительном дренаже, проявляющееся в снижении уровня подземных вод в радиусе нескольких десятков км, появлении депрессионных воронок, истощение водных ресурсов, загрязнение поверхностных водотоков и водоёмов карьерными водами;

- нарушению природного ландшафта на огромных территориях и т. д.

Эффективность того или иного вида дренажа на карьерах осуществляется соответствующими гидрогеологическими расчётами, а окончательный выбор способа производится на базе технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

Для повышения эффективности дренажных устройств и увеличения темпов осушения месторождений используют:

- гидравлический разрыв пород, торпедирование скважин, в карбонатных породах;

- кислотную обработку скважин, в песчаных породах;

- вакуумирование скважин, нагнетание в водоносный горизонт воздуха;

- электроосмос (дренажная скважина – катод, а специальные трубы между ними – анод) и пр.

Интенсификация работы дренажных устройств применяется для обеспечения их высокопроизводительной работы в течение всего периода эксплуатации.

Для повышения дебита дренажных устройств применяются технологические, физико-механические, химические и гидродинамические методы.

К числу *технологических* методов относится проходка многозабойных скважин, например, лучевые водозаборы.

Физико-механические методы включают:

- сваби́рование (сваб – поршень или вантуз);
- торпедирование и прострел скважин с помощью ВВ или специальных бронебойных снарядов для пробоя обсадных труб для образования новых и расширения существующих трещин в породе;
- гидравлический разрыв пласта (ГРП) предусматривает закачку в скважину жидкости под высоким давлением, что вызывает расширение трещин в породе водоносного горизонта;
- электроосмотическое осушение основано на движении воды к отрицательному электроду при создании постоянного электрического поля между дренажной скважиной (катод) и специальной трубкой, закладываемой в массив горных пород, что повышает водоприток к дренажной скважине.

Химические методы интенсификации водоотбора (декольматации) заключаются в обработке фильтров и прифильтровых зон скважин специальными реагентами (соляная кислота с добавками в виде фтористо-водородной или плавиковой кислоты или фторида-бифторида аммония), способными растворять частицы горных пород. Химическая обработка скважин сочетается со сваби́рованием.

Гидродинамические методы интенсификации водоотбора включают вакуумирование дренажных устройств и нагнетание воздуха в дренируемые пласты. Вакуумирование водопонижающих скважин производится с помощью вакуумных (рис. 2.23, а) или водоструйных (рис. 2.23, б) насосов.

Нагнетание воздуха в напорный водоносный горизонт увеличивает дебит дренажных устройств за счёт создания дополнительного напора за пределами дренируемого участка пласта и повышения потенциальной энергии фильтрационного потока.

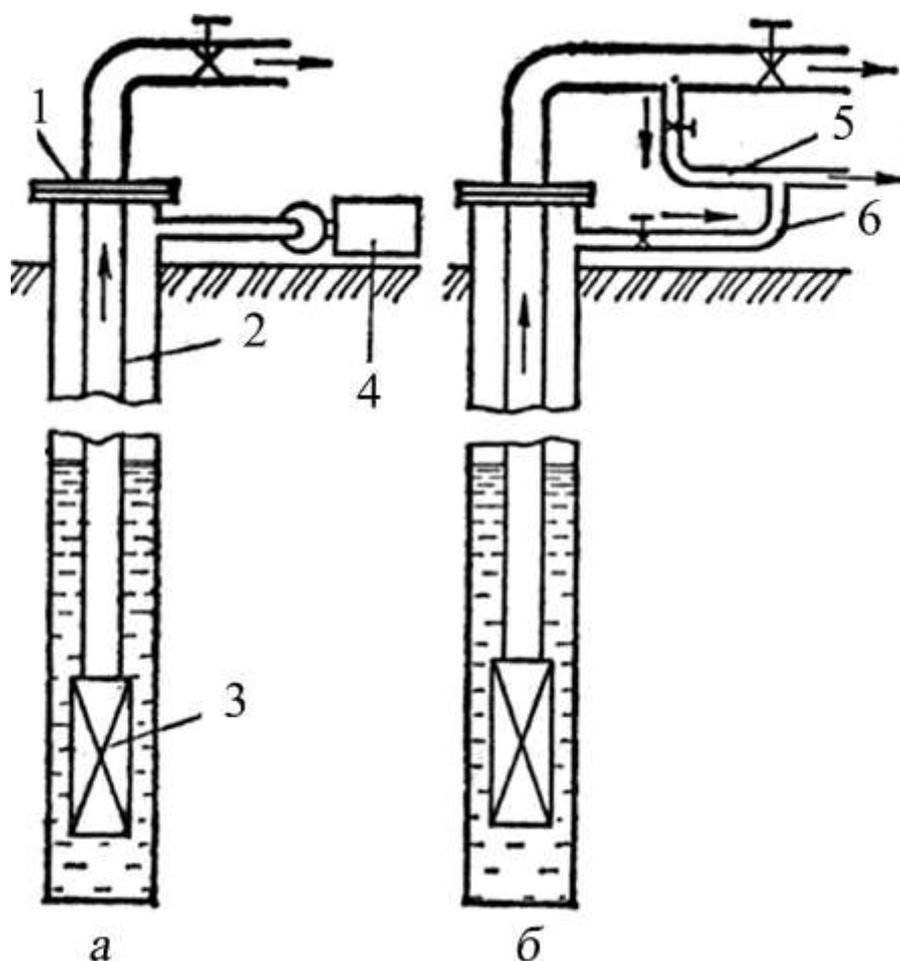


Рис. 2.23. Схемы вакуумирования водопонижающих скважин: 1 – уплотняющий фланец; 2 – водоподъёмные трубы; 3 – погружной насос; 4 – вакуум-насос; 5 – водоструйный насос; 6 – патрубок для отсоса воздуха из скважины

2.6. Барражные завесы

Дренаж, являющийся в настоящее время преобладающим способом защиты карьеров от подземных вод, имеет ряд существенных недостатков, связанных с отрицательным влиянием на окружающую среду. Длительная откачка подземных вод вызывает изменение условий их питания, движения и разгрузки, что приводит к формированию депрессионных воронок на больших площадях. В связи с этим нарушается режим рек, озёр, водохранилищ; осушаются колодцы и мелкие водозаборы питьевых вод; снижается производительность крупных водозаборов; ухудшается качество подземных вод в результате загрязнения отбираемых.

Вследствие значительных понижений уровней и напоров оседает поверхность земли и образуются мульды в зонах дренажа, что

приводит к деформациям поверхностных и подземных сооружений. В некоторых случаях интенсифицируются процессы карстообразования и суффозии. Исключить отрицательное влияние дренажа на окружающую среду и значительно повысить эффективность осушения карьеров позволяет такой метод борьбы с подземными водами, как *барраж*.

Барраж – это способ защиты карьеров от подземных вод путём полного или частичного ограждения горных выработок с помощью водонепроницаемых устройств.

Барраж представляет собой систему противофильтрационных завес, располагаемую в водоносных горизонтах на пути движения подземных вод к защищенному объекту. Впервые барражные (противофильтрационные) завесы применены в гидротехническом строительстве с целью защиты небольших по протяжённости и размерам участков. В горном деле барраж впервые внедрён при проходке шахтных стволов. С начала 60-х годов область применения и размеры барражных завес резко увеличились. Сегодня они широко практикуются в гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве.

Возможность применения в широких масштабах противофильтрационных завес для защиты карьеров от подземных вод впервые доказана исследованиями института ОАО «ВИОГЕМ» (Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений, защите сооружений от обводнения, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу, г. Белгород). Анализ природных условий эксплуатируемых, строящихся и проектируемых карьеров, для которых необходимы специальные работы по защите от подземных вод, свидетельствует, что в более чем 60% применение барража целесообразно.

Основное условие применения барражных завес – наличие в основании перекрываемых водоносных горизонтов водонепроницаемых связных (глинистых) пород. Противофильтрационная завеса должна соединяться с этими породами (обычно она заглубляется в них на 1,5–2 м), т. е. завеса должна быть совершенной (рис. 2.24).

По схемам расположения в плане барражные завесы делятся на линейные и контурные (незамкнутые и замкнутые). Линейные завесы применяются для защиты карьеров и их участков от плоскопараллельного движения вод, например, от реки, расположенной

вблизи борта карьера. Контурные – в условиях радиального потока подземных вод на карьерах.

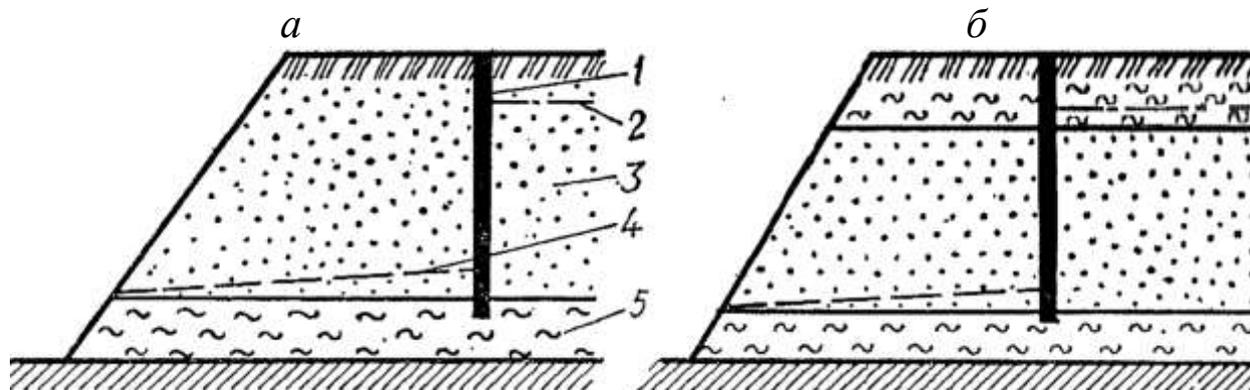


Рис. 2.24. Барражные завесы: *а* – в ненапорном горизонте; *б* – в напорном горизонте; 1 – противодиффузионная завеса; 2 – напор с внешней стороны завесы; 3 – водоносный горизонт; 4 – напор с внутренней стороны завесы; 5 – слой водоупорных глин

Применяются следующие основные типы барражей по способу их сооружения: траншейно-щелевые, скважинно-щелевые, инъекционные и криогенные (ледопородные).

При барраже уровень подземных вод в пределах водонепроницаемых устройств снижается за счёт водоотлива или дренажа, за их пределами он остается близким к естественному или несколько повышается за счёт подпора.

Барраж обеспечивает охрану ресурсов подземных вод, снижает эксплуатационные расходы на осушение – откачку статических запасов воды в пределах контура защищенного участка.

Барраж осуществляется с помощью инфузионных, инъекционных, криогенных и шпунтовых барражных устройств (занавесей).

Инфузионные (заливные, засыпные) устройства представляют из себя узкие вертикальные выработки (щели или траншеи), пройденные спецмашинами, траншеекопателями, экскаваторами до водоупорной подошвы обводнённых пород (песчаники, гравелистые породы, галечники) и заполненных глиной, глиноцементным раствором, рулонным синтетическим материалом и т. п. Применяют при небольшой (до 50 м) глубине залегания водоупоров выдержанных (в плане и разрезах) водоносных горизонтах и слабой проницаемости разрабатываемых пород (рис. 2.25).

Траншейно-щелевые барражи представляют собой подземные конструкции ленточного профиля, сооружаемые путём проходки вертикальной траншеи или щели с последующим заполнением её водонепроницаемым материалом. Строительство барражей включает два технологических этапа: проходку выработки специальным оборудованием и заполнение её водонепроницаемым материалом.

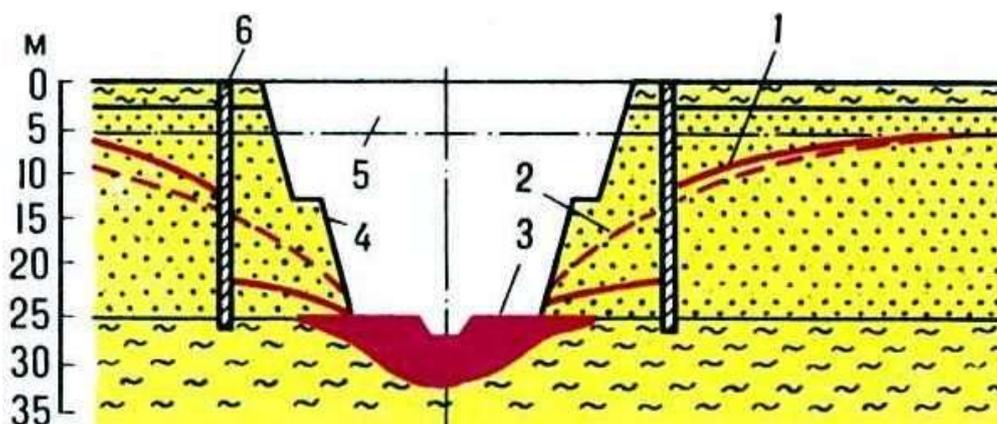


Рис. 2.25. Инфузионные барражные устройства: 1 – уровень подземных вод до барражной щели; 2 – уровень подземных вод без барражной щели; 3 – полезное ископаемое; 4 – откос уступа; 5 – водоносный горизонт; 6 – барраж

Для проходки щелеобразных выработок применяют драглайны, обратные гидравлические экскаваторы, скребковые траншеекопатели.

Проходка барражных траншей экскаваторами ведётся блоками с перевалкой породы на борт траншеи. Устойчивость стенок выработки обеспечивается глинистым раствором, которым заполняется траншея во время её проходки. После окончания проходки блока траншею засыпают с помощью бульдозера заполнителем, составленным из вынудой породы с добавлением глины.

Непрерывная проходка траншей ведётся с помощью специальных траншеекопателей с рабочим органом скребкового или врубфрезерного типа (рис. 2.26).

Скребковый траншеекопатель ЭГТ-570 сооружает противотрационные завесы шириной 0,6 м и глубиной до 12,5 м с производительностью до 400 м³/см.

Скважинно-щелевые барражи сооружаются с помощью буровых станков вращательного и ударного бурения, а также способом забивки или вибропогружения шпунта с последующим его извлечением. Основным недостатком является сложность контроля сплош-

ности завесы, особенно при бурении взаимопересекающихся скважин из-за их возможного искривления.

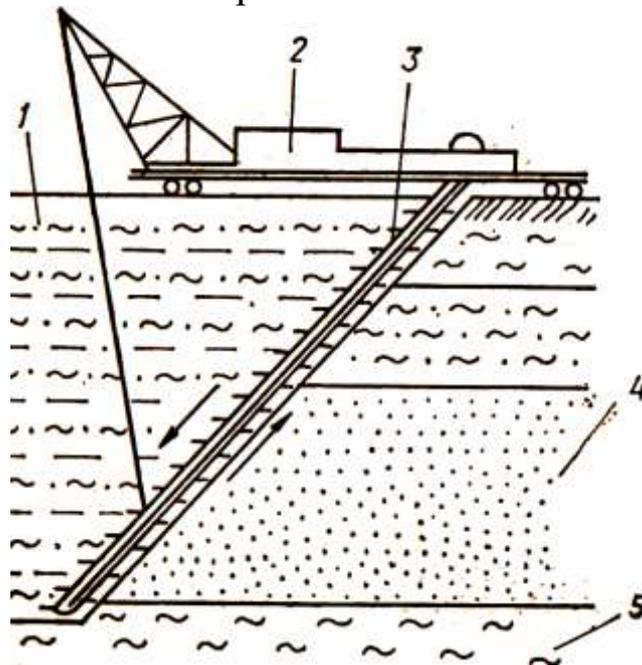


Рис. 2.26. Проходка барражных щелей траншеекопателями непрерывного действия: 1 – готовая траншея; 2 – траншеекопатель; 3 – рабочий орган и щелевой барраж; 4 – водоносные породы; 5 – водоупорный слой

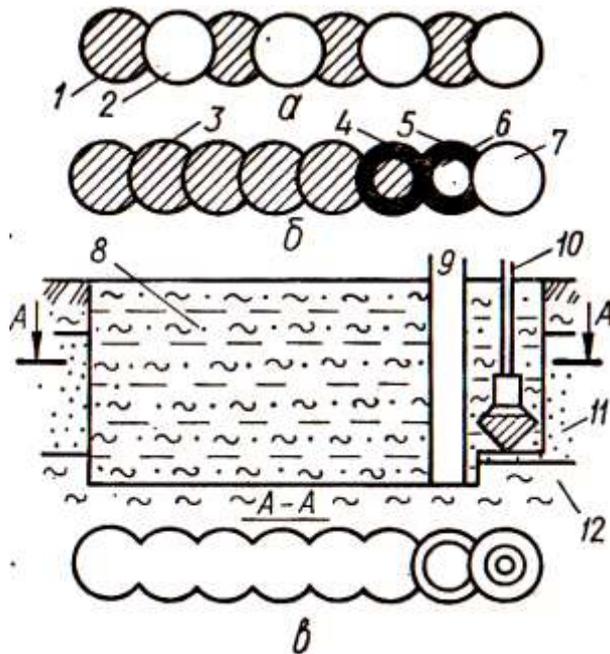


Рис. 2.27. Схемы бурения скважинно-щелевых барражей: а – поочередным бурением пересекающихся скважин; б – последовательным бурением; в – проходка полости блоками; 1 – скважины первой очереди (нечётные); 2 – второй очереди (чётные); 3 – забетонированные скважины; 4 – бетонируемая скважина; 5 – направляющая опалубка; 6 – пробуренная скважина; 7 – скважина в процессе бурения; 8 – готовая полость; 9 – направляющая колонна; 10 – буровой инструмент; 11 – водоносные породы; 12 – водоупорный слой

В качестве противодиффузионного материала используют глинистые, цементно-глинистые твердеющие и нетвердеющие растворы, ткани (мешковина, брезент), пропитанные битумом; синтетические материалы. *Инъекционные барражи* сооружаются нагнетанием в водоносный слой специальных закрепляющих растворов, проникающих в поры и трещины горных пород и резко уменьшающие их фильтрационную способность (рис. 2.28). В качестве инъекционных материалов служат цементные растворы, цементно-глинистые и глинистые, битумы, жидкое стекло, смолы.

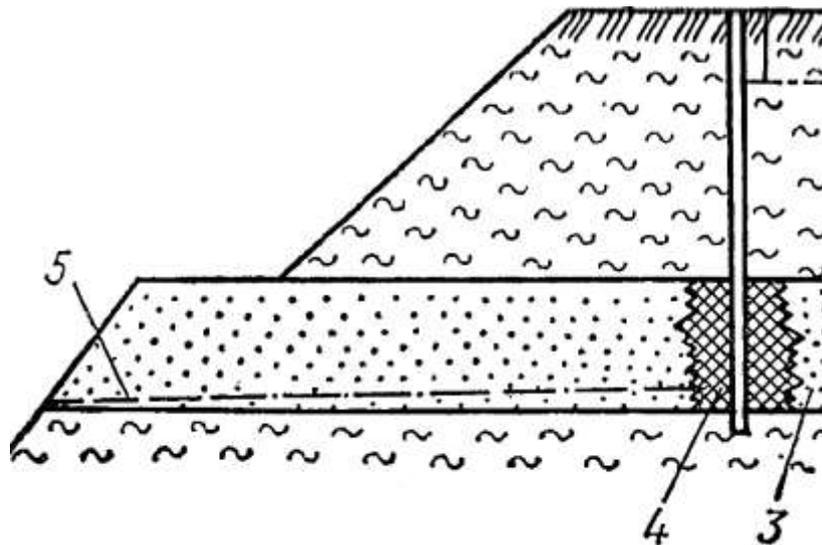


Рис. 2.28. Инъекционный барраж: 1 – скважина-инъектор; 2 – линия напора с внешней стороны барража; 3 – напорный водоносный горизонт; 4 – барраж; 5 – линия напора с внутренней стороны барража

В трещиноватых массивах используются цементные и цементно-глинистые растворы; битумы – в закарстованных породах, жидкое стекло – в песчаных породах фракции 1–1,2 мм.

Смолизация используется в мелкозернистых и пылеватых песках, которые требуют меньшего расхода тампонажного материала, и применяется на глубинах до нескольких сотен метров.

Криогенные (ледопородные) барражи создаются путём искусственного понижения температуры массива и замораживания содержащейся в нём свободной воды. Обычно они являются временным мероприятием.

Шпунтовые устройства сооружаются путём забивки металлических, бетонных и др. свай в песчано-глинистые породы (без крупных включений крепких пород) при небольших глубине залегания и толщине водоносных пород.

По схеме расположения в плане барражные устройства подразделяются на линейные, контурные, замкнутые и незамкнутые.

По схеме расположения в разрезе – на совершенные заглубленные на 0,5–1,0 м в водоупор и несовершенные – не достигающие до водоупора (применяются в скальных породах с затухающей вглубь трещиноватостью).

2.7. Гидрогеологические расчёты при защите карьеров от подземных вод

Гидрогеологические расчёты являются основой проектирования защиты карьеров от подземных вод. Они предполагают:

- определение общего притока вод к карьере в периоды строительства и эксплуатации в различные моменты времени;

- обоснование необходимости дренажных или барражных работ (установление предела осушения);

- обоснование типа и количества дренажных (барражных) устройств, расположения их в плане и разрезе, а также режима их работы во времени, производительности, общей продолжительности работы;

- определение величин снижения уровней (напоров) подземных вод в зонах действия водозаборных и барражных устройств;

- прогнозирование влияния водозащитных мероприятий на режим подземных вод и их качество в пределах месторождений и прилегающих к ним территорий.

На основе гидрогеологических расчётов устанавливаются объёмы и сроки защитных мероприятий при различных схемах расположения дренажных и противодиффузионных устройств и даётся сравнительная оценка технико-экономических показателей нескольких конкурирующих вариантов систем защиты карьеров от подземных вод.

Расчёты дренажа. В соответствии с руководством по дренированию карьерных полей, разработанным институтами ВНИМИ и УкрНИИпроект, а также согласно инструкции по проектированию осушения месторождений полезных ископаемых института ВИОГЕМ гидрогеологические расчёты дренажа рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Составляется типовая расчётная схема или строится сетка движения подземных вод с выделением характерных лент тока.

2. Определяются основные расчётные параметры для каждого водоносного горизонта:

а) мощность, напор или глубина потока подземных вод;
б) коэффициенты фильтрации, уровень проводности или пьезопроводности;

в) расстояния от областей питания и стока;

г) заданные понижения уровней или напоров подземных вод и величины «проскока» воды к откосам карьера;

д) заданное время, в течение которого должен быть достигнут необходимый эффект дренажа.

3. Рассчитывается общий приток воды к карьере или к отдельным участкам борта и изменение его во времени.

4. Оценивается влияние притока воды на условия ведения горных работ и устойчивость откосов. Если полученные величины притоков не осложняют условия горных работ, расчёт заканчивается определением пропускной способности открытых прибортовых канав или параметров горизонтального прибортового дренажа.

5. Намечается несколько возможных вариантов дренажных систем, каждый из которых рассчитывается для нескольких этапов работы карьера. На основе их технико-экономического сравнения выбирается оптимальный вариант защиты карьера от подземных вод.

Расчёты барражных завес заключаются в установлении следующих основных показателей:

- притока воды, поступающего через завесу к определённым участкам борта карьера и в карьер;

- положения уровня подземных вод с внешней и внутренней стороны завесы;

- толщины завесы при заданном коэффициенте фильтрации с учётом устойчивости бортов карьера или фильтрационных свойств материала завесы при заданной её толщине.

3. НАПРАВЛЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТВАЛЬНЫХ МАССИВОВ

3.1. Подготовка поверхности основания отвала

В зависимости от конкретных условий поверхность основания отвалов подготавливается по-разному.

Если в основании отвалов залегает маломощный слой слабых пород (торфа, пластичных глин и т. п.), а ниже расположенные слои являются прочными, обеспечивающими устойчивость отвала, то в этом случае наиболее рациональным является удаление слабого слоя перед началом отсыпки.

Если в основании отвала залегают слабые слои, имеющие значительную мощность (3–5 и более метров), вследствие чего их удаление перед отсыпкой отвала становится экономически неоправданным, то их целесообразно сохранить, но в этом случае меры по обеспечению устойчивости должны более полно учитывать физические свойства пород основания.

Если слабый слой представлен торфом, то необходимо регулирование интенсивности отсыпки (по площади и по высоте) отвала, с тем чтобы в период уплотнения торфа и рассеивания в нём порового давления высота отвала была минимальной, т. е. такой, при которой происходит уплотнение торфа, а нагрузка не вызывает развития деформаций. Практически для этой цели достаточно иметь предотвал высотой 3–5 м до момента полного уплотнения слоя торфа.

Последующее увеличение высоты отвала не приводит к развитию деформаций. Время уплотнения торфа, высота предотвала и высота основного яруса в зависимости от сдвиговых характеристик уплотненного слоя определяются экспериментально в конкретных условиях месторождения.

В предотвал желательно размещать хорошо фильтрующий материал. Если слабый слой состоит из пластичных глин, то в этом случае необходимо менять порядок отсыпки.

Если в основании залегают обводнённые породы, то отсыпка отвала сопровождается увлажнением нижней части и развитием в ней деформаций. В этих случаях для понижения уровня грунтовых вод наиболее целесообразно проведение передовой дренажной траншеи по периметру отвала, заполненной дренирующим материалом и имеющей уклон для стока не менее 2%.

По мере развития фронта отвальных работ проводятся и выполняются легко фильтрующими материалами дренажные каналы (также с уклоном не менее 2%).

При расположении отвалов на всхолмлённой поверхности необходимо обеспечить сток воды из пониженных участков путём проведения дренажных канав.

Если отвал располагается на наклонном основании и сопротивление сдвигу отвальных пород в основании меньше их сопротивления сдвигу в массиве отвала (или сопротивление сдвигу слоистого материала по контактам слоёв меньше сопротивления сдвигу отвальных пород), то могут развиваться оползни подошвенного типа. Взрывание основания в этом и многих случаях является эффективной мерой и при горизонтальном залегании основания отвала, так как кроме возрастания суммы удерживающих сил за счёт роста коэффициента внутреннего трения, при взрывании в основании отвала создается слой хорошо дренирующих пород, способствующих осушению пород отвала.

Если в основании внутреннего отвала залегает слабый водоупор, под которым находится водоносный горизонт (особенно напорный), то подготовка основания должна включать дренаж этого горизонта. При отсутствии дренажа на устойчивость отвала существенно влияет гидростатическое давление, снижающее эффективную составляющую давления пород отвала, набухание пород водоупора, увлажнение пород отвала в случае прорыва водоупора. Дренаж наиболее целесообразно осуществлять с помощью трубчатых водопонижающих колодцев, которые бурятся вслед за продвижением фронта добычных работ.

При расположении внутренних отвалов на лежащем боку, представленным слоистой толщей, имеющей напорные горизонты, отделённые от выработанного пространства водоупором, необходимо вскрывать эти горизонты с эффективным перехватом воды.

Если водоносные горизонты дают большие водоприток в карьер, вскрывать их не рекомендуется. В этом случае целесообразно оставлять толщу водоупора ненарушенной и пригружать её внутренними отвалами. Одним из наиболее существенных источников обводнения отвальных пород являются атмосферные осадки. Для отвода атмосферных вод с поверхности отвала и недопущения их

инфильтрации необходимо проводить планировку отвалов, придавая им уклон, равный 3° , в сторону водосборных канав.

Водосборные канавы должны проводиться по поверхности отвалов через 400–500 м с уклоном не менее 200‰ и обеспечивать сброс атмосферных вод за пределы отвалов.

3.2. Влияние технологии отсыпки отвалов на их устойчивость

Развитие открытого способа разработки сопровождается закономерным увеличением объёма удаляемых вскрышных работ, что, в свою очередь, вызывает необходимость сокращения площадей, отводимых под отвалы, а следовательно, увеличения их высоты и применения более мощного оборудования при отвалообразовании.

Обеспечение устойчивости отвалов в этих условиях в значительной степени начинает определяться технологией отсыпки и составом отвальных пород.

Практика производства горных работ показывает, что почти все отвалы сопровождаются оползневыми явлениями. Анализ устойчивости откосов отвалов, выполненный в ВИОГЕМ, показал, что 75% деформаций возникают в песчано-глинистых и 25% – в откосах скальных и полускальных породах отвалов.

К важнейшим технологическим параметрам, определяющим устойчивость отвалов, относятся:

- скорость отсыпки отвальной заходки (по высоте, по фронту);
- порядок отсыпки пород, различных по физическим свойствам (рис. 3.1);
- размеры отвальной заходки, призабойной зоны и т. п.

Центральным вопросом устойчивости отвалов является определение коэффициента запаса устойчивости массива пород, который зависит в том числе от структурной неоднородности гранулометрического состава пород отвала.

Гранулометрический состав горной породы может изменяться в процессе сегрегации, который имеет выраженное проявление при отвалообразовании скальных и сыпучих пород при периферийной схеме бульдозерного отвалообразования, когда разгрузка автосамосвала осуществляется на откос отвала: более крупные куски скатываются по откосу и располагаются в нижней его части; мелкие куски остаются в верхней и средней частях отвала (рис. 3.2).



Рис. 3.1. Отсыпка в отвал пород, различных по физическим свойствам



Рис. 3.2. Откос отвала, отсыпаемого по периферийной схеме

Этот процесс положительно сказывается на устойчивости отвалов тогда, когда крупные куски представляют собой породы с высокой сдвиговой прочностью. Созданная с применением разработанной в КузГТУ программы структурного моделирования зернистой среды ПСМЗС 1.0 математическая модель структуры периферийного отвала (рис. 3.3) позволила определить распределение фракций гранулометрического состава по высоте, а также спрогнозировать прочностные и физические параметры отвала на разной высоте от его основания.

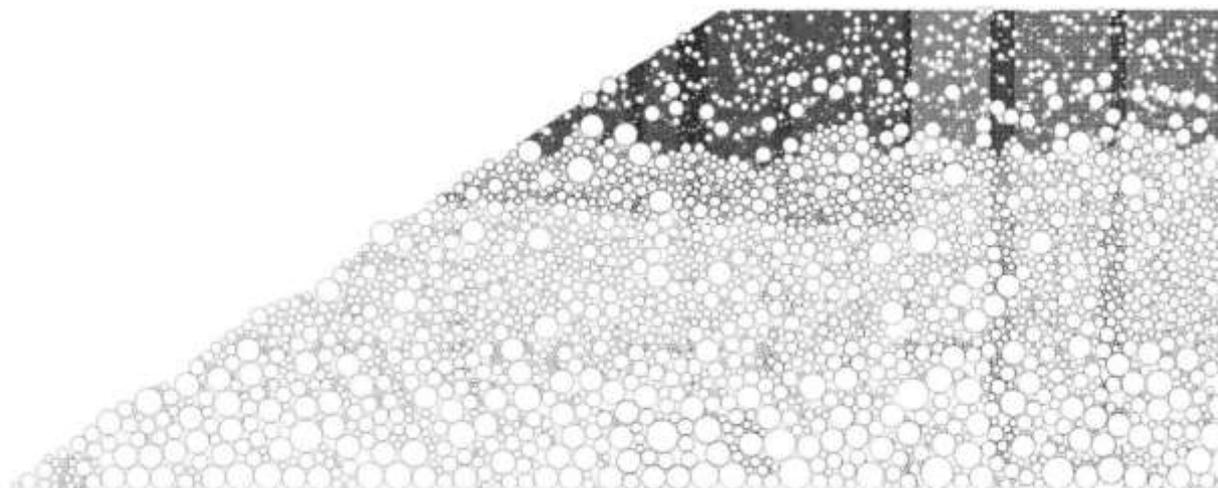


Рис. 3.3. Математическая модель структуры отвального массива, отсыпанного с применением периферийной схемы отвалообразования

При оценке устойчивости откоса необходимо, во-первых, учитывать, что угол внутреннего трения по всему массиву отвала является величиной непостоянной, которая в зависимости от структуры массива и влажности может изменяться в широких пределах. Так, например, для характерных вмещающих пород Кузбасса были выявлены соотношения коэффициента трения между кусками породы, находящейся в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Средние значения коэффициентов трения
по неровной шероховатой поверхности кусков**

	Песчаник	Аргиллит	Алевролит
Песчаник	0,90 (0,45)*	0,60 (0,38)	0,78 (0,4)
Аргиллит		0,40 (0,33)	0,43 (0,35)
Алевролит			0,49 (0,43)

* Примечание: в скобках даны значения для водонасыщенного состояния пород.

Во-вторых, в результате сегрегации пород поверхность откоса приобретает кривизну, что следует учитывать при определении коэффициента запаса устойчивости.

Таким образом, явление сегрегации при укладке в отвалы скальной вскрыши является существенным.

Процесс разделения породы по крупности при движении горной массы по откосу отвала скальной вскрыши претерпевает фазные переходы:

- первая фаза – это фаза начала движения горной массы в виде консолидированного образования, с коэффициентом разрыхления, обеспечивающим определённую стабильность объёма пород в данный момент времени;

- вторая (промежуточная) фаза характеризуется постепенным увеличением числа отдельностей, движение которых напоминает хаотически сталкивающиеся свободные частицы;

- третья фаза – это фаза «свободного движения» отдельностей, то есть когда подавляющее большинство частиц при своем движении периодически испытывают действие окружения с одного-двух направлений.

Вклад каждой из фаз в разделительный процесс горной массы, двигающейся по откосу, определяется свойствами горных пород, высотой отвала, производительностью отвалообразования, технологией и параметрами процесса отвалообразования. Основные выводы при этом сводятся к следующему:

- при отсыпке сыпучих пород на горизонтальное либо на наклонное основание происходит установление определённого угла естественного откоса, который для данного типа пород зависит от класса крупности и влажности и не зависит от способа формирования насыпи;

- реальная поверхность откоса отвала, сложенного из сыпучих пород, имеет кривизну, которая определяется распределением масс по крупности и влажностью слагающих пород.

- при отсыпке отвала из скальных сыпучих пород определённого гранулометрического состава происходит перераспределение масс по крупности материала: в верхней части доминирует мелкая фракция, в нижней части – крупная. При этом более качественное разделение по крупности наблюдается при подаче исходного материала непосредственно на откос отвала, поскольку в этом случае

обеспечивается максимальное рассредоточение слагающих частиц при падении под откос;

- характерной особенностью откоса является наличие в нижней части выполаживающей призмы (по существу – контрфорса), состоящей из крупных фракций. Высота призмы тем больше, чем выше процентный состав крупной фракции в исходном материале и может колебаться в пределах 0,2–0,4 высоты отвала.

Разделительная способность наклонной поверхности отвалов увеличивается по мере возрастания их высоты. В процессе сползания консолидированной породной массы по откосу отвала происходит «втирание» мелких фракций в пространство между кусками крупных фракций. Постепенно просеиваясь между кусками, мелкие фракции-заполнители перемещаются от верха к середине и в меньшей степени к основанию отвала. Это позволяет сделать вывод о том, что для сыпучей горной породы определённого гранулометрического состава существует минимальная высота наклонной поверхности, на которой эффективно происходит разделение породы по крупности.

Таким образом, с целью максимального раскрытия складированного скального материала по крупности рекомендуется периферийная разгрузка автосамосвалов на отвалах с максимальным объёмом отгружаемой породы непосредственно под откос.

В результате разделения на фракции структура отвала по высоте формируется слоистой с разными коэффициентами сцепления отдельностей на вогнутой поверхности откоса отвала (рис. 3.4, слои 1, 2, 3).

Расчёт устойчивости неоднородных откосов отвалов осуществляем способом суммирования сил на поверхности разрушения. Коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле

$$F' = \sum \tau_{уд} / \sum \tau_{сд},$$

где $\tau_{уд}$ и $\tau_{сд}$ – соответственно сумма удерживающих и сумма сдвигающих напряжений, действующих на поверхности разрушения.

Этот же принцип применяется и для расчёта коэффициента устойчивости в произвольной части отвального массива. В программе ПСМЗС 1.0 реализована возможность расчёта коэффициента устойчивости с применением сеточной модели: структурная модель отвального массива разбивается на условные блоки, в каждом

из которых на контактах частиц рассчитывается сумма сдвигающих $\sum \tau_{сд}$ и сумма удерживающих напряжений $\sum \tau_{уд}$, после чего рассчитывается F' . При $F' < 1$ принимается, что участок отвального массива (или блок сеточной модели) находится в неустойчивом состоянии и в нём возникнут соответствующие деформации. При числе блоков с $F' < 1$ в приоткосной части отвала более числа блоков с $F' > 1$ в теле отвала развиваются опасные деформации, что приводит к его разрушению.

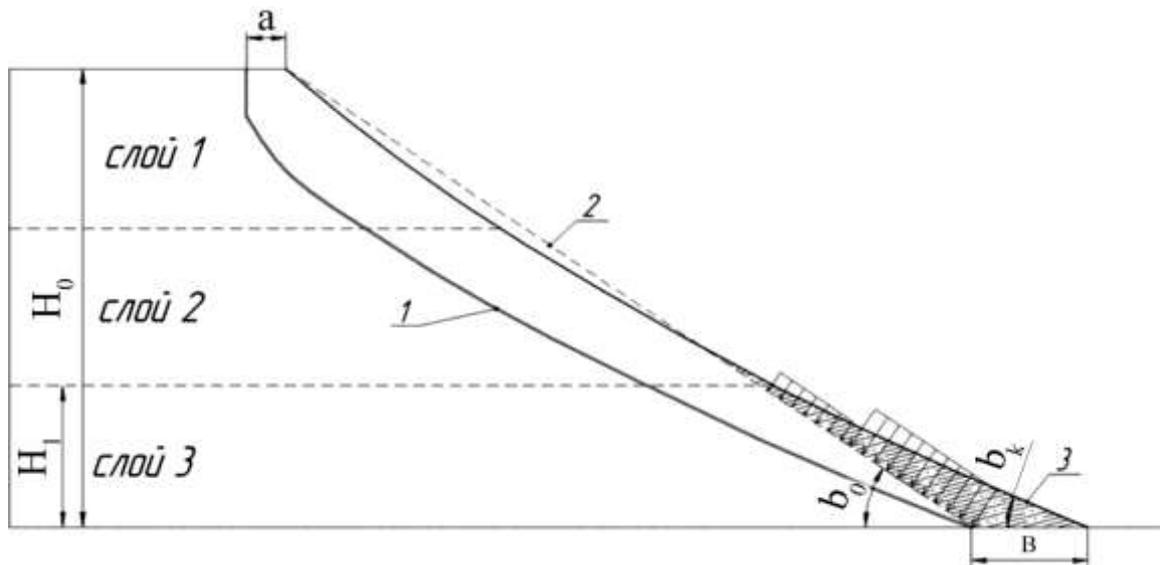


Рис. 3.4. Схема расчёта параметров для естественного контрфорса для предотвращения поверхностных и фильтрационных деформаций: 1 – поверхность скольжения; 2 – прямолинейный откос; 3 – выполаживающая призма

При наличии естественного контрфорса в выражении для расчёта для коэффициента запаса устойчивости следует учитывать нормальное давление σ_{\min} :

$$F_k = \sum \tau_{уд} + \sigma_{\min} l_d / \sum \tau_{сд},$$

где l_d – длина откоса, на которую действует нагрузка контрфорса, м.

С учётом естественной кривизны откоса, при наличии в нижней части упорной призмы-контрфорса, коэффициент запаса устойчивости увеличивается на 10–12%. Это может служить основанием безопасного повышения высоты ярусов внешних и внутренних отвалов скальной вскрыши. В результате появляется возможность размещения дополнительно 10% объёмов скальных вскрышных пород в пределах занятых под отвала площадей за счёт увеличения

высоты отвала и уменьшение платы за землю. Необходимо отметить, что во многих случаях изменение этих параметров весьма не сложно, в связи с чем изменение технологии отсыпки является эффективным методом обеспечения устойчивости.

Общим принципом, обеспечивающим наилучшие условия устойчивости отвала, является такая последовательность отсыпки, при которой сопротивление сдвигу пород нарастает сверху вниз.

Применение для отвалообразования мощных вскрышных комплексов (транспортно-отвальных мостов, ленточных отвалообразователей, крупных моделей драглайнов и мехлопат) приводит при разработке песчано-глинистых пород различного состава к ряду специфических особенностей формирования отвала.

За счёт падения глинистых пород с большой высоты происходит почти полное разрушение их структуры, и порода превращается в грунтовую пасту. Это приводит к образованию в основании отвала ослабленного слоя, по которому в дальнейшем может формироваться поверхность скольжения. Процесс выемки сопровождается большим рыхлением пород с повышенным содержанием песчаных фракций, а глинистые породы имеют, как правило, повышенную крупность. В результате отсыпки по откосу глинистые породы скатываются вниз, что приводит к дополнительному ослаблению нижней части отвала.

Устойчивость отвала может быть достигнута за счёт применения оборудования, позволяющего вести селективную выемку и раздельное размещение пород в отвале:

- транспортно-отвальные мосты с промежуточными станциями отсыпки;

- ленточные отвалообразователи и драглайны с рабочими параметрами, обеспечивающими возможность послойного формирования отвала с размещением в его нижней части наиболее устойчивых пород;

- роторные экскаваторы, допускающие возможность селективной выемки.

Бульдозерные, плужные, экскаваторные отвалы в большинстве случаев имеют более равномерное распределение отвальных пород. Однако из-за неравномерности ведения вскрышных работ на отдельных участках с различными по характеристикам сопротивления сдвигу породам отвалы могут приобретать косослоистое строение,

что в общем случае снижает их устойчивость. Для обеспечения устойчивости в этом случае необходимо стремиться к максимальному усреднению состава пород.

При наличии во вскрышной толще весьма слабых пород рекомендуется отсыпать их послойно сверху основного отвала.

При опасности возникновения подподошвенных оползней (при слабом основании отвалов) изменение параметров отвальных заходок во многих случаях позволяет избежать развития оползневых явлений. В этих случаях эффективными мерами являются увеличение высоты предотвала с целью увеличения размеров призмы упора и сокращения призабойной зоны. Целесообразно также увеличение ширины отвальной заходки.

Если скорость увеличения высоты отвала и скорость нарастания нормальных напряжений превосходят скорость оттока воды из пор (скорость рассеивания порового давления), то устойчивость отвала ухудшается и могут развиваться оползни надподошвенного и подподошвенного типов.

При снижении скорости отсыпки отвала происходит рассеивание порового давления и обеспечивается устойчивость отвала. Это может быть достигнуто за счет:

- снижения производительности вскрышного комплекса (при определённой площади отвала);
- увеличения площади отвальных заходок (при внешних отвалах);
- отсыпки породы в предотвал небольшой высоты (4–6 м), где будет происходить рассеивание порового давления без нарушения устойчивости (малая высота отвала). При этом желательно формировать предотвал из хорошо фильтрующих пород.

4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НА КАРЬЕРАХ

4.1. Цель, принципы и задачи геомеханического контроля

Геомеханический контроль проводится на карьерах с целью получения информации о напряжённо-деформированном состоянии горных пород в массиве, физико-механических свойствах пород, устойчивости откосов уступов и бортов, несущей способности естественных и искусственных оснований.

Эффективность контроля зависит от последовательной реализации следующих принципов:

- непрерывности многоэтапного процесса построения расчётной модели объекта, в результате чего уровень её точности возрастает от этапа к этапу;

- адаптации расчётной модели к объекту, т. е. приспособления её в соответствии с поступающей информацией;

- обратной связи модели с объектом, т. е. эффективности контроля и учёта объёма требований, вытекающих из предполагаемого напряжённо-деформированного состояния массива.

Основными задачами геомеханического контроля являются:

- 1) установление положения депрессионных кривых в обводнённых массивах на различных этапах разработки карьеров;

- 2) регистрация деформаций бортов карьеров и отвалов с помощью наземных инструментальных наблюдений и аэрофотограмметрии;

- 3) определение напряжений в массиве и характера их распределения между минеральным скелетом и поровой водой в водонасыщенных горных породах;

- 4) систематическое определение прочностных, деформационных и водно-физических характеристик горных пород в массиве;

- 5) установление текущих значений коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров и отвалов;

- б) определение скорости смещения пород в откосах по результатам маркшейдерской съёмки её значений с критическими, установленными с использованием аналитических зависимостей.

Для получения достоверной картины изменения массива в пространстве и во времени на различных этапах освоения месторождений измерительная аппаратура должна закладываться в кон-

тролируемую среду на стадии разведки, функционировать в процессе и после завершения горных работ. Использование натуральных методов исследований позволяет существенно снизить влияние факторов, искажающих показатели состояния и свойств пород в образце.

В целом методы и задачи геомеханического контроля на карьерах показаны на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Методы и задачи геомеханического контроля на карьерах

4.2. Геомеханический контроль бортовых массивов пород

На характеристики процессов сдвижения горных пород влияют многие факторы, из которых к началу строительства и эксплуатации месторождений не все бывают достаточно хорошо изучены, поэтому работы в карьерах ведут, как правило, под контролем инструментальных и визуальных наблюдений. По результатам этих наблюдений корректируют параметры карьеров и разрабатывают противодеформационные мероприятия.

При открытом способе отработки месторождений выполняется следующий комплекс работ:

а) проводят систематические глазомерные наблюдения за состоянием откосов в карьере и на отвалах;

б) изучают геологические и гидрогеологические условия месторождения, условия залегания породных слоев, структуру массива полезного ископаемого, налегающих и вмещающих пород, пород основания отвалов;

в) выявляют зоны и участки возможного проявления разрушающих деформаций откосов на карьерах и организывают на этих участках стационарные инструментальные наблюдения;

г) проводят инструментальные наблюдения за деформациями бортов уступов и откосов отвалов;

д) документируют возникающие нарушения устойчивости, устанавливается их характер, степень опасности и анализируют причины возникновения;

е) составляются проекты искусственного укрепления ослабленных зон и участков, контрфорсов, пригрузок откосов, обосновывать специальную технологию горных работ и другие мероприятия по борьбе с разрушениями откосов на карьерах;

ж) осуществляют систематический контроль за состоянием противодеформационных сооружений и выполнением мероприятий, предотвращающих развитие нарушений устойчивости откосов;

з) контролируют соблюдение проектных параметров откосов уступов, отвалов и бортов карьеров, корректируют углы откосов рабочих уступов и отдельных участков рабочих бортов.

Для проведения инструментальных наблюдений за деформациями бортов карьеров и откосов отвалов закладывают специальные наблюдательные станции, состоящие, как правило, из несколь-

ких профильных линий грунтовых реперов. Методика закладки наблюдательных станций и проведения наблюдений на них определяется поставленными задачами и условиями разработки месторождения. Наблюдения на этих станциях должны начинаться одновременно с началом развития вскрышных работ на карьерах. Наблюдательные станции закладывают по проектам, содержащим план станции в масштабе 1:1000 или 1:2000, краткую пояснительную записку и соответствующие геологические карты и разрезы. Реперы наблюдательной станции располагают по линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера в предельном положении. Крайние пункты профильной линии закладывают вне зоны деформаций, возникающих при углубке карьера до проектной глубины. Обычно линии располагают по всему карьере (через оба противоположные борта и дно карьера), а при большой глубине карьера их закладывают на каждом борту карьера самостоятельно.

Визуальные и инструментальные маркшейдерские наблюдения фиксируют видимые проявления устойчивости откосов, характер трещиноватости массива, водопроявления, последствия взрывных работ и позволяют получать количественные закономерности деформирования откосов с целью прогноза прогрессивной их стадии. Каждая профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы должны находиться вне зоны деформаций в количестве не менее двух на каждой стороне. Расстояние между опорными реперами принимают 20 м и более.

Рабочие реперы закладывают по линиям, примыкающим к карьерам и на площадках (бермах) уступов или ярусов отвала. Длина линий на земной поверхности должна быть не менее $1,5H$, где H – глубина карьера. Расстояния между реперами на этих линиях в зависимости от их удаления от верхней бровки борта карьера должны быть следующими:

- а) на участке призмы возможной деформации – от 5 до 15 м;
- б) с удалением от верхней бровки карьера – от 15 до 30 м.

На каждой площадке уступа закладывают не менее двух реперов: один вблизи бровки уступа, другой у подошвы вышележащего уступа. Исходные реперы, к которым производят привязку опорных реперов всех линий, должны быть в местах, обеспечивающих неизменность их положения в течение всего времени производства наблюдений, т. е. вне зоны влияния горных работ и за пределами

зоны возможного оседания земной поверхности от снижения уровня подземных вод при дренаже карьерного поля. Пример плана наблюдательных станций приведен на рис. 4.2.

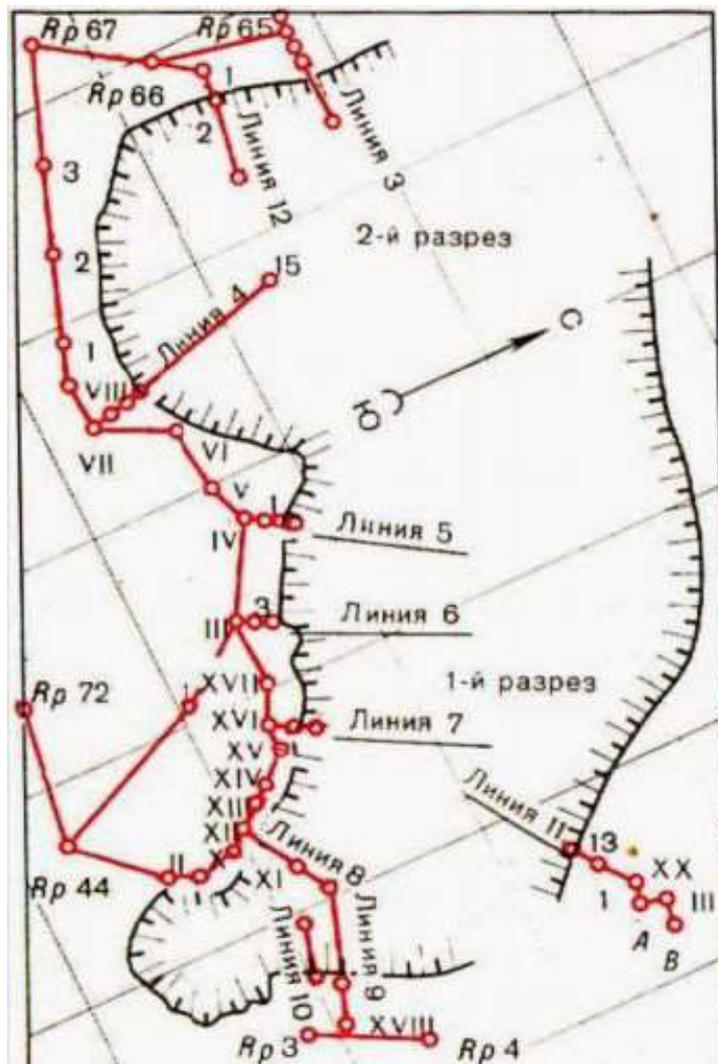


Рис. 4.2. План наблюдательных станций

По векторам смещений маркшейдерских реперов строится поверхность скольжения (рис. 4.3).

В последние годы для наблюдений за деформациями крупных карьеров и для их геометризации начинают применять аэрофотограмметрические методы съёмок, которые позволяют быстро фиксировать состояние больших объектов (площадью 3–6 км²) и проводить наблюдения независимо от производства горных работ в карьерах и на отвалах. При этом методе практически отсутствуют «мертвые зоны», встречающиеся при наземной фотограмметрической съёмке, и отпадает необходимость в трудоёмких работах по устройству базисов для установки фототеодолитов.

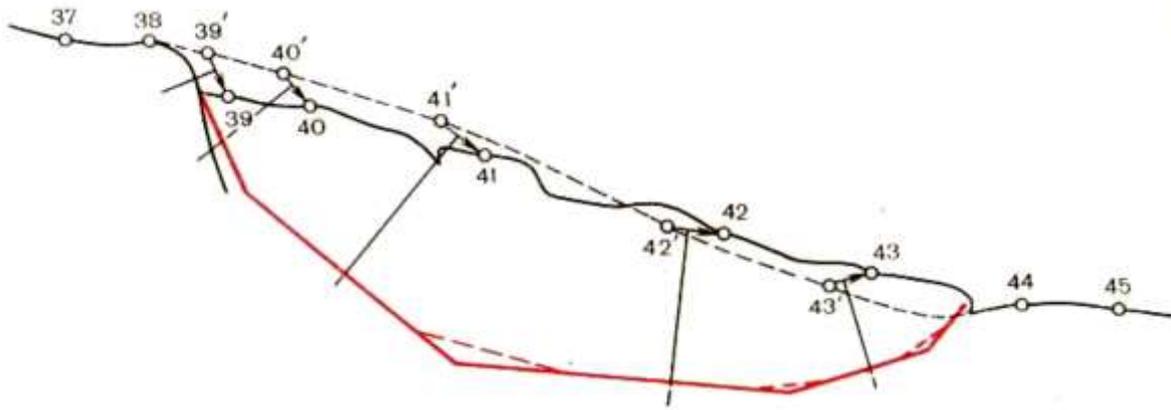


Рис. 4.3. Построение кривой скольжения по результатам инструментальных наблюдений за смещением реперов: 39-39' – 43-43' – векторы смещения

При геометризации оползневых тел с использованием аэрофотосъёмки решаются две задачи:

- съёмка видимой поверхности оползня;
- установление положения поверхности скольжения.

Профиль и положения поверхности скольжения оползня составляется по материалам аэрофотосъёмки (рис. 4.4).

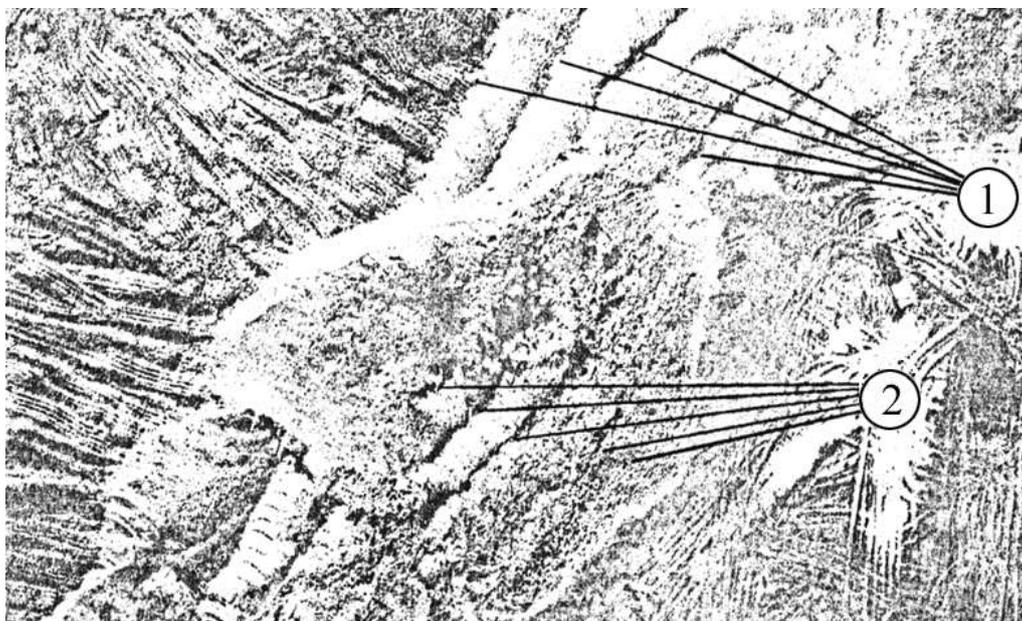


Рис. 4.4. Аэрофотоснимок оползневого участка уступа: положение бровок до (1) и после (2) оползня

Для наблюдения за большими оползнями и определения их развития во времени и пространстве применяют метод наземной стереофотограмметрической съёмки. Этот метод позволяет охватить наблюдениями недоступные и опасные места уступов и бортов карьеров, оперативно и в большом объёме получать необходимую информацию о состоянии карьеров. Он менее трудоёмок, чем традиционные маркшейдерские наблюдения, и исключает необходимость закладки наблюдательных станций, что весьма важно при съёмке крутых откосов, уступов, а также рабочих площадок.

Инструментальные наблюдения (нивелирование и измерение горизонтальных сдвижений, их обработка) состоят в основном за направлением и скоростью смещения реперов, их характером, размерами трещин на земной поверхности и бермах уступов.

Частоту наблюдений устанавливают в зависимости от интенсивности процесса сдвижения и решаемых задач. Она колеблется от пяти–десяти дней до одного года. В отдельных случаях (при наблюдениях за активными оползнями со скоростями смещения 10 мм/сут и более) наблюдения проводят ежедневно и даже несколько раз в сутки (при скоростях, близких к критическим, т. е. предшествующих срыву оползня).

Применение электронных тахеометров значительно сокращает время на производство полевых работ и камеральную обработку результатов измерений, соответствует требованиям времени по внедрению современных технологий в производство маркшейдерских и геодезических работ. Многолетний опыт маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием прибортовых массивов карьеров позволяет внедрить высокопроизводительную методику наблюдений с использованием современного электронного оборудования (рис. 4.5).

В качестве примера можно привести опыт организации наблюдений с целью контроля состояния Северо-западного борта карьера Центрального рудника ОАО «Апатит» с помощью светодальномера «Мекометр-5000». Этот инструмент позволяет измерять расстояния в диапазоне 24–8000 м с относительной погрешностью 10^{-7} , т. е. доли миллиметра на километр.

a



б



в



Рис. 4.5. Производство измерений с помощью электронного тахеометра: *a* – общий вид съёмки карьера; *б* – отражатель на репере; *в* – тахеометр на опорной точке

При этом в качестве основного метода наблюдений принят метод измерения расстояний до рабочих реперов с пунктов, располагающихся на большом расстоянии (2–2,5 км) от области сдвижения. Наблюдательные сети построены таким образом, чтобы получать параметры сдвижения рабочих реперов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Измерения горизонтальных сдвижений дополняются традиционными определениями вертикальных перемещений реперов из результатов периодического нивелирования. Основное преимущество данного метода заключается в возможности надёжно выбрать и заложить исходные пункты наблюдения, что в большинстве случаев представляет собой весьма сложную задачу.

Для наблюдений за сдвижением пород на карьерах весьма перспективно применение принципиально новых методов спутниковой геодезии, которые бурно развиваются в последнее время. При этом координаты точек земной поверхности вычисляются по расстояниям до искусственных спутников Земли, координаты которых в данный момент времени известны.

В настоящее время существует две глобальные спутниковые системы: первая – глобальная система позиционирования (The Global Positioning System – GPS), созданная и управляемая Департаментом Обороны США, и вторая – глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС, управление и эксплуатация которой возложены на Министерство обороны Российской Федерации (Управление космических средств РВСН).

Глобальная система позиционирования GPS. Глобальная система позиционирования основана на использовании специальных спутников. Система обеспечивает возможность определения пространственного положения любой точки на поверхности земного шара. Точность определения координат составляет от десятков метров до миллиметров в зависимости от применяемого оборудования и используемой методики измерений. Глобальная система позиционирования состоит из трёх сегментов: космического, управляющего и пользовательского.

Космический сегмент состоит из 24 навигационных спутников NAVSTAR, которые вращаются вокруг Земли на высоте около 2 тыс. км с периодом обращения 12 часов. Параметры спутниковых орбит подобраны таким образом, что в любой точке земного шара обеспечивается возможность одновременного приёма радиосигнала

как минимум от четырёх спутников. Каждый спутник имеет на борту четыре высокоточных атомных часов и постоянно посылает радиосигналы, используя собственный уникальный идентификационный код.

Управляющий сегмент состоит из большого числа наземных мониторинговых станций, расположенных в разных частях земного шара. Мониторинговые станции принимают радиосигналы от спутников и по ним отстраивают орбитальные модели для каждого спутника. Полученные данные передаются на главную управляющую станцию, которая один раз в сутки передает коэффициенты коррекции часов на спутники.

Пользовательский сегмент состоит из большого числа гражданских и военных GPS-приёмников, которые конвертируют спутниковые радиосигналы в пространственные координаты, скорость перемещения приёмника и сигналы точного времени. Для расчёта четырёхмерной координаты местоположения приёмника (X, Y, Z, Time) требуется принять радиосигнал как минимум от четырёх спутников. GPS-приёмники используются для целей навигации, определения пространственных координат, определения точного времени и для других исследований. Обеспечение навигации в трёхмерном пространстве является основной функцией GPS, для этой цели созданы приёмники для самолетов, кораблей, автомобилей, индивидуальные ручные приёмники. GPS сигналы используются также для определения точных координат (геодезические приёмники), для астрономических наблюдений, для измерения параметров атмосферы и др.

Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС – это сумма уникальных технологий, плод многолетнего труда российских конструкторов и учёных. ГЛОНАСС является государственной системой, которая разрабатывалась как система двойного использования, предназначенная для нужд Министерства обороны и гражданских потребителей. Для определения пространственных координат и точного времени требуется принять и обработать навигационные сигналы не менее чем от четырёх спутников ГЛОНАСС.

Основная идея технологии выполнения GPS съёмки состоит в том, что один из приёмников (базовый приёмник) помещается на точку с заранее известными координатами, так называемую базовую станцию, и ведёт непрерывные спутниковые наблюдения весь

сеанс GPS съёмки. В результате такого наблюдения определяется величина ионосферной поправки, равная разнице заранее известных координат точки и её координат, полученных в результате сеанса спутниковых наблюдений. Полученная величина ионосферной поправки вводится в результаты спутниковых наблюдений на определяемых точках. При этом главным условием работы в режиме GPS является обеспечение одновременного приёма сигнала от общих спутников базовым и полевым приёмниками.

Так как величина ионосферной поправки является постоянной на довольно обширных территориях, то технологию GPS возможно использовать без снижения точности определения координат для наблюдения базовых линий длиной от 1 м до 100 км. Ионосферная поправка учитывается во время обработки результатов измерений в камеральных условиях.

За последние несколько лет системы GPS вошли в маркшейдерскую практику во всем мире. Применение спутниковой системы в маркшейдерии идёт по четырём основным направлениям.

Первое направление связано с построением и реконструкцией опорных маркшейдерских сетей на земной поверхности и участках открытых горных работ. Для спутниковой геодезии эти задачи являются традиционными и основными, вместе с тем в условиях работающих горных предприятиях особое значение приобретает необходимость:

- а) GPS-определений на поверхности с координатными определениями в подземных горных выработках;
- б) необходимость приведения результатов GPS-определений к системе координат, в которой работает данное предприятие.

Второе направление – выполнение маркшейдерско-геодезических съёмок поверхности и коммуникаций на месторождениях скважинной добыче углеводородов, открытых горных выработок, отвалов, хвостохранилищ, а также съёмок инженерных сооружений.

Отметим, что в труднодоступных, малообжитых, отдалённых районах, а также в районах с пониженной плотностью государственной геодезической сети (ГГС) системы GPS являются подчас единственно возможным средством производства маркшейдерско-геодезических работ.

Третье направление – выполнение систематических маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности и дефор-

мациями элементов зданий и сооружений. Здесь особое значение приобретают высотные определения, которые совмещаются с геометрическими, тригонометрическими и гравиметрическими.

Четвертое направление связано с созданием автоматизированной системы слежения за состоянием уступов и бортов карьеров и управления грузопотоками горного предприятия.

Применение комплекса спутниковой геодезии для наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности на горных предприятиях позволяет проводить исследования на качественно более высоком уровне. Измерения позволяют охватить не только ближайшую зону техногенного воздействия добычи полезных ископаемых, наблюдения в которой производились достаточно длительный период с использованием традиционных геодезических методов, но и удаленную зону, в которой ранее измерения либо не проводились совсем, либо проводились в недостаточных объемах по причине высокой трудоёмкости подобных работ.

Таким образом, в качестве исходных пунктов фактически используются искусственные спутники Земли, т. е. пункты, заведомо находящиеся вне области сдвижения пород. В случае организации наблюдений по этим технологиям отпадает необходимость построения традиционных геодезических сетей и появляется возможность сведения результатов к одному моменту времени, что совершенно невозможно при обычных измерениях. В настоящее время точность определения координат земных пунктов этими методами составляет несколько миллиметров, это обеспечивает необходимую точность контроля процессов деформирования горных пород, единственным сдерживающим обстоятельством является лишь высокая стоимость приборов.

Гидрологические и геофизические наблюдения проводятся в комплексе с инструментальными маркшейдерскими измерениями и служат для установления уровней подземных вод, регистрации физико-механических свойств массива и выявления процесса выветривания горных пород.

Положение уровня воды в бортовых массивах определяется с помощью пьезометров, устанавливаемых в скважинах. Пьезометр – это труба с перфорированным участком – водоприёмником. Высоту уровня воды в пьезометре регистрируют электрическими уровнемерами (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Пьезометр модели Solinst 601

Геофизические и воднофизические исследования проводятся различными методами.

Прессиометрический метод основан на принципе измерения радиальных деформаций расширяющейся круговой камеры, помещенной в скважину. Испытания прессиометром (рис. 4.7) производятся в недренированных породах (рис. 4.8).



Рис. 4.7. Прессиометр ПЭВ-89МК

Геофизические радиоактивные методы используются для литологического расчленения разреза (гамма-каротаж), определения плотности пород (гамма-гамма-каротаж), их влажности, уровня подземных вод (нейтрон-нейтронный каротаж), качественной оценки химического и минерального состава (нейтронный гамма-каротаж).



Рис. 4.8. Полевые испытания пород прессиомером

Физической основой гамма-каротажа является наличие естественной радиоактивности пород: интенсивность рассеянного гамма-излучения зависит от плотности пород.

Нейтрон-нейтронный каротаж основан на использовании зависимости между регистрируемым потоком нейтронного излучения и влажностью среды.

При нейтронном гамма-каротаже происходит взаимодействие испускаемых нейтронным источником быстрых нейтронов и захват замедлившихся нейтронов ядрами элементов породы, что приводит к возникновению радиационного гамма-излучения.

Полевые испытания горных пород выполняются пенетрационным каротажем в скважинах или путём задавливания (забивки) зондов. Наиболее совершенной отечественной установкой является телеметрическая пенетрационно-каротажная станция (СПТК), которая обеспечивает вдавливание зондов на глубину более 30 м и позволяет получать данные о влажности и плотности пород, литологическом разрезе, боковом и лобовом сопротивлении вдавливанию зонда (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Станция пенетрационная телеметрическая каротажная (СПТК)

Использование методов электроразведки основано на регистрации уменьшения электрического сопротивления при смачивании пород грунтовыми и поверхностными водами. К ним относятся методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ); электропрофилеирования (ЭП); заряжённого тела (ЗТ); магнитодинамические методы.

На участках, где визуальным обследованием обнаружены признаки формирующихся нарушений устойчивости откосов, часто производят упрощённые маркшейдерские наблюдения. С этой целью закладывают временные наблюдательные станции, состоящие из обычных деревянных кольев и металлических стержней, забиваемых в грунт.

Для наблюдения за раскрытием трещин закладывают парные реперы (по обе стороны от трещины), представляющие собой кольца или стойки с закреплёнными на них телескопическими оцифрованными рейками, мерными лентами или проволоками. Упрощённые наблюдения за осыпанием породы состоят в измерении расстояний от осыпи до реперов, закладываемых горизонтально по откосу выше

уровня осыпи с интервалом 1 м. На участках между соседними реперами производят измерение углов откоса.

Оперативный геомеханический контроль с помощью упрощённых маркшейдерских наблюдений включает в себя:

1) периодическое нивелирование от опорных реперов до отдельных реперов (или их групп), заложенных в прибортовой зоне и площадках уступов в пределах призмы возможного обрушения;

2) измерения раскрытия образовавшихся трещин с помощью реек и других приспособлений;

3) обнаружение с помощью инклинометров (рис. 4.10) деформаций откосов на глубине;



Рис. 4.10. Геофизический инклинометр

4) измерение с помощью лазерных интерферометров (рис. 4.11), экстензометров (рис. 4.12) и тензометров (рис. 4.13) изменения длины натянутой проволоки;

5) определение сейсмоакустической активности бортового массива;

6) измерение нейтрального давления в обводнённых породах;

7) определение сопротивления сдвигу горных пород с использованием методов зондирования, например, с помощью пьезодинамометров (рис. 4.14).



Рис. 4.11. Интерферометр



Рис. 4.12. Экстензометр



Рис. 4.13. Тензометр



Рис. 4.14. Портативный погружной пьезодинамометр

Для оперативной оценки устойчивости бортов карьеров по напряжениям и деформациям необходимо осуществление непрерывного геомеханического контроля, обеспечивающего получение натурной информации о смещениях поверхностей откосов и их критических (разрушающих) скоростях, нейтральном давлении, депрессионных осадках бортовых массивов, сопротивлениях сдвигу горных пород на различные моменты времени.

4.3. Геомеханический контроль отвальных массивов

К основным задачам геомеханического контроля отвальных массивов относятся следующие:

- установление соответствия реальных условий отвалообразования проектным;
- определение свойств пород отвалов и их основания;
- сравнение фактических расчётных показателей свойств пород с проектными и необходимые корректировки проектных решений;
- оценка устойчивости отвалов в текущий момент времени и на перспективу;
- контроль выполнения проектных решений по обеспечению устойчивости и при необходимости разработка дополнительных мероприятий.

Выделяются следующие виды контроля состояния отвалов открытых горных работ:

- инженерно-геологический;
- гидрогеологический;
- маркшейдерский;
- технологический.

Инженерно-геологический контроль предусматривает:

- определение состава и физико-механических свойств пород обнажения карьера, оснований и в теле отвалов;
- определение наличия поверхностей ослабления и их пространственного положения;
- количественную оценку влияния фракционирования пород на устойчивость откосов;
- оценку с помощью расчётов устойчивости откосов отвалов;
- документирование случаев нарушений устойчивости;
- выявление причин деформаций;
- разработку мероприятий по ликвидации нарушений устойчивости откосов;
- разработку мероприятий по ликвидации последствий оползней и контроль их выполнения.

В состав *гидрогеологического контроля* входят:

- определение положения депрессионной поверхности в теле отвалов;
- контроль фильтрации воды из отвалов и их оснований;

- определение изменения избыточного порового давления во времени;
- контроль работы дренажных устройств;
- определение фильтрационных свойств пород отвалов;
- прогноз консолидации пород отвалов;
- оценку влияния отвала на режим подземных вод района карьера.

Маркшейдерский контроль включает:

- систематические наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями отвалов по реперам наблюдательных станций;
- расчёт скорости деформирования, размеров и объёма оползающих блоков отвалов.

Технологический контроль заключается в:

- определении соотношения и размещении в отвале горных пород по различным их свойствам;
- соблюдении технологии возведения отвалов (длины отвальных участков, высоты ярусов, их уклонов, интенсивности отсыпки) и образованием обусловленных ею поверхностей ослабления;
- определении соответствия проектных решений действительным параметрам отвалов;
- оценке целесообразности изменения схемы отвалообразования или замены отвального оборудования в связи с влиянием их на устойчивость откосов отвалов и их ярусов.

Для свежеотсыпаемых отвалов характерны деформации оседания, связанные с уплотнением разрыхленных пород. Величины оседания достигают 4–7% высоты отвала. Около 90% уплотнения отвала протекает в первый период их отсыпки: от нескольких дней в скальных и полускальных породах до полугода в песчано-глинистых.

Деформации уплотнения отвалов не представляют опасности, опасными являются сдвиговые деформации при развитии оползней. В задачу маркшейдерских наблюдений входит разделение наблюдаемых деформаций на неопасные оседания и опасные сдвиговые деформации, приводящие к разрушению откосов отвалов. Наблюдения включают регистрацию скоростей смещения оползающей призмы и развитие образования трещины отрыва, оконтуривающей оползень по фронту отвала. На основании этих наблюдений уста-

навливаются критические скорости и величины абсолютных смещений оползня. Частота наблюдений на реперных профилях в зависимости от скорости смещения отвалов, отсыпаемых на склоны, рекомендуется следующая:

- один раз в неделю при 1–6 см/сут;
- два раза в неделю при 5–10 см/сут;
- через день при 10–20 см/сут;
- ежедневно при 20–30 см/сут.

Обрушение отвалов в условиях заснеженности, обводнённости атмосферными осадками происходит при скорости смещения отвалов на наклонном основании около 50 см/сут. Работы на отвале должны приостанавливаться, если скорости деформации составляют 5–10 см/сут. Возобновление работ возможно при затухающем характере деформации.

Материалы аэрофотосъёмки, гидрологические и геофизические наблюдения, оперативный геомеханический контроль проводятся в комплексе с инструментальными маркшейдерскими измерениями и служат для установления обводнённости, регистрации физико-механических свойств массива пород отвала и выявления процесса деформации.

5. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

5.1. Основные задачи управления состоянием массива горных пород

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых решается несколько основных задач:

- добыча полезных ископаемых с минимально необходимыми затратами в каждый текущий период времени;

- охрана недр, предусматривающая возможно более полное извлечение требуемого сырья;

- охрана природы и геологической среды, включающая рациональное использование плодородных земель (сокращение земельных отводов под горные выработки и отвалы), подземных и поверхностных вод от истощения и загрязнения, защиту территорий от подтоплений, оврагообразования и эрозии почв.

В настоящее время эти задачи приобрели особое значение из-за резкого роста объёма и масштабов открытой разработки месторождений. Значительная роль в решении их отводится управлению состоянием массива горных пород (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Виды нарушений окружающей среды, связанные с управлением состоянием массива горных пород и методы борьбы с ними

Виды нарушений окружающей среды	Основные причины, вызывающие нарушения	Методы борьбы с нарушениями, связанные с управлением состоянием массива горных пород
Нарушение и уничтожение плодородных земель	Оползни бортов карьеров. Увеличение площадей карьеров за счёт уменьшения углов наклона бортов. Размещение внешних отвалов вскрышных пород	Установление рациональных углов наклона бортов карьеров. Мероприятия по укреплению откосов. Размещение отвалов на малопригодных землях. Увеличение вместимости отвалов.
Истощение и загрязнение подземных вод. Оседание поверхности земли в результате откачки подземных вод	Осушение карьерных полей. Дренаживание карьерами подземных вод	Применение рациональных схем осушения. Использование дренажных вод для восполнения запасов подземных вод. Применение барражных завес

Виды нарушений окружающей среды	Основные причины, вызывающие нарушения	Методы борьбы с нарушениями, связанные с управлением состоянием массива горных пород
Уменьшение ресурсов поверхностных вод и их загрязнение. Рост оврагов и эрозия почв	Фильтрация воды из поверхностных водотоков и водоёмов в открытые горные выработки. Сброс дренажных вод	Применение барражных завес. Организация стока дренажных и карьерных вод
Подтопление территорий	Сброс дренажных и карьерных вод. Размещение отвалов вскрышных пород	Организация стока дренажных и карьерных вод. Осушение отвалов вскрышных пород

5.1.1. Защита плодородных земель

Нарушение и уничтожение плодородных земель часто вызывается деформацией бортов карьеров, распространяющихся далеко за пределы конечного контура карьера, например, оползнями. Оползни отвалов пустых пород также уничтожают плодородные земли.

Основные задачи управления состоянием массива горных пород в этих условиях следующие:

- установление оптимальных углов наклона бортов карьера, обеспечивающих их устойчивость и минимальный разнос с учётом возможных мероприятий по укреплению откосов;
- обоснование технологии складирования и устойчивости высоких отвалов на неудобных и малопригодных для сельского хозяйства и строительства территориях (склоны, холмы и т. д.).

5.1.2. Защита вод от истощения и загрязнения

По данным института ВИОГЕМ, годовой объём откачиваемой воды с целью защиты горных предприятий исчисляется миллиардами кубометров. На долю горнорудных предприятий приходится порядка двух миллиардов, угольных – более одного миллиарда кубометров воды. Коэффициент водообильности, или удельный объём откачиваемой воды в расчёте на 1 т добычи полезных ископаемых, в среднем составляет более 2 м³.

В результате откачки карьерных и дренажных вод на территории карьера и далеко за его пределами снижаются уровни подземных вод с образованием депрессионной воронки, которая образует-

ся от карьерной дрены в зависимости от структуры и состава горных пород в среднем под углами 15–20° к поверхности. Это приводит:

- к изменению условий питания, движения и разгрузки подземных вод;
- интенсивному взаимодействию дренажных систем с действующими водозаборами;
- уменьшению естественных запасов подземных вод;
- ухудшению химического состава водоносных горизонтов в связи с подсосыванием высокоминерализованных глубже залегающих вод или загрязненных вод со стороны фильтрующих гидроотвалов и хвостохранилищ.

При длительной работе дренажных систем возможно нарушение работы хозяйственных и питьевых водозаборов, водозаборов подземных вод из-за сброса и откачки высокоминерализованных и содержащих вредные примеси карьерных вод. Нарушается режим малых рек и водоёмов, гидравлически связанных с осушаемыми водоносными горизонтами.

При проектировании защиты карьеров от подземных вод должно прогнозироваться влияние дренажа на природную обстановку и при этом должно быть предусмотрено комплексное использование дренажных и карьерных вод.

Дренажные и карьерные воды следует использовать:

- для хозяйственного, питьевого и технического водоснабжения;
- для обратной закачки в осушаемые водоносные горизонты на некотором расстоянии от осваиваемого месторождения;
- для закачки в другие водоносные горизонты с целью восполнения запасов подземных вод.

Для предотвращения загрязнения подземных и поверхностных вод необходимо применять комплекс мероприятий, который должен включать:

- применение противофильтрационных завес (барражей);
- изоляцию коммуникаций с карьерными и дренажными водами и их локализацию в техногенных водоёмах;
- очистку вод перед сбросом их в водостоки и водоёмы;
- захоронение особо опасных вод в глубокие горизонты земной коры.

5.1.3. Осадка пород при осушении месторождений полезных ископаемых

Снижение уровня подземных вод на большую величину вызывает перераспределение напряжений в массиве горных пород в следствии потери эффекта гидростатического взвешивания.

Нагрузка от масс пород на глубине воспринимается скелетом породы и поровой водой. Снижение уровня воды в массиве горных пород вызывает давление в скелете породы, вследствие чего происходит их уплотнение, которое может вызвать оседание поверхности и даже провалы земли. Это явление вызывает деформации зданий, сооружений, а иногда и полное их разрушение, активизирует овражно-балочные явления и эрозию почв.

В связи с этим при проектировании карьеров необходимо учитывать возможность деформаций поверхности земли при размещении зданий и сооружений на осушаемой карьерами территории.

5.1.4. Оптимизация системы дренажа

Оптимизация системы дренажа зависит от решения следующих основных вопросов:

- повышения полноты и достоверности изученности гидрогеологической информации о месторождении;
- создания новых дренажных устройств и элементов систем осушения;
- совершенствования конструктивных и технологических решений дренажных устройств и сооружений;
- применения экономико-математических методов оптимизации при проектировании дренажных систем.

Материалы гидрогеологических исследований не содержат достаточно достоверных данных для проектирования дренажных работ, поэтому при проектировании закладывается резерв дренажных устройств до 50%. Полнота и более высокая достоверность гидрогеологических исследований позволят сократить этот резерв до размеров, определяемых надёжностью их работы.

Существует определённый набор дренажных устройств, различные комбинации которых обеспечивают требуемый эффект осушения. От правильного выбора этих устройств в значительной мере зависит экономическая эффективность дренажа. Перспективными с этой точки зрения являются горизонтальные дренажные

скважины, лучевые водозаборы, водопонижающие скважины большого диаметра и различные барражи.

Повысить производительность и надёжность работы водопонижающих скважин, сквозных фильтров возможно за счёт совершенствования фильтров и технологии сооружения прифильтровой зоны.

Система дренажа карьера оптимизируется на всех стадиях проектирования и эксплуатации карьеров. Выбор наилучшей технологической схемы осушения осуществляется путём решения следующих задач выбора:

- целесообразного времени осушения;
- рационального числа водопонижающих скважин и погружных насосов;
- гидрогеологического резерва, соответствующего достоверности исходных данных о строении месторождения.

Оптимизация производится в следующем порядке.

1. Устанавливаются возможные варианты дренажа.
2. Рассчитывается суммарная производительность системы дренажа при различном времени достижения требуемого уровня снижения подземных вод.
3. Выбираются типоразмеры погружных насосов исходя из требуемого понижения и глубины залегания водоносных горизонтов.
4. Определяется число водопонижающих скважин.
5. Определяются объёмы откачки воды в зависимости от времени водопонижения.
6. С помощью экономико-математических моделей оптимизируются затраты на осушение по всем вариантам и выбирается наилучший.

5.1.5. Затраты, связанные с защитой карьеров от подземных вод

Проектирование и реализация технических решений по защите карьеров от воды определяется природными, горнотехническими и техногенными факторами, такими как:

- гидрогеологические;
- инженерно-геологические;
- схема вскрытия, система разработки и структура комплексной механизации;

- сроки строительства, производственная мощность и период эксплуатации месторождения.

Эти же факторы определяют в основном и технико-экономические показатели дренажных систем.

Общая стоимость работ по защите карьеров от подземных вод складывается из капитальных затрат на строительство водозащитных систем и эксплуатационных расходов на осушение карьера.

Осушение карьеров при их строительстве и эксплуатации характеризуются достаточно высокой капиталоемкостью и находится в среднем на уровне 10% сметной стоимости предприятия.

Годовые эксплуатационные расходы на дренажные работы на карьерах находятся в среднем на уровне 5%, но в сложных условиях могут достигать и 15%.

5.1.6. Экономическая оценка управления состоянием откосов

Проектирование бортов карьеров и отвалов осуществляется последовательно по мере изученности месторождения и проводимых исследований по их устойчивости (рис. 5.1). Конечной целью проектирования является обеспечение безопасного ведения горных работ при возможном сокращении объёмов вскрыши и сохранении устойчивости откосов бортов.

Цели расчёта показателей экономической эффективности следующие:

- определение эффективных способов управления состоянием откосов и последовательности применения противооползневых мероприятий;

- установление допустимой суммы капитальных вложений в строительство противодеформационной защиты откосов, окупаемость которых обеспечивается за счёт ожидаемой экономии от сокращения объёмов вскрыши.

Основой экономической эффективностью является устранение реально существующих потерь от оползневых явлений. К наиболее важным факторам роста экономической эффективности относятся:

- стабильность и ритмичность добычных, вскрышных и отвальных работ на оползневых участках;

- сокращение простоев горнотранспортного оборудования и непроизводительных расходов на ликвидацию последствий нарушения откосов;

- полное использование горных машин и механизмов для основного технологического процесса;
- снижение трудоёмкости способов управления состоянием откосов;
- повышение качества управления устойчивостью откосов и в целом организации технологического процесса в карьере;
- снижение капитальных затрат.



Рис. 5.1. Последовательность исследования, проектирования и управления устойчивостью откосов карьеров

Экономическая эффективность управления состоянием откосов устанавливается сопоставлением ожидаемых или полученных результатов укрепления откосов с показателями, достигнутыми до внедрения параметров бортов карьеров и отвалов. Базой для сравнения на стадии проектирования карьера служат действующие или погашенные карьеры-аналоги.

Один из основных показателей экономической эффективности открытого способа разработки является угол наклона борта, изменение которого на каждый градус существенно влияет на текущий объём вскрыши. Установлено, что экономическим преимуществом обладает профиль выпуклого борта по сравнению с вогнутым или плоским: угол наклона плоского борта положе выпуклого на $4-6^\circ$ и круче на $2-4^\circ$ вогнутого.

Анализ влияния изменения углов откосов уступов на общий угол наклона борта различного профиля (выгнутый, плоский, вогнутый) показывает, что при повышении углов откосов уступов значительно сокращается объём вскрыши.

Применение специальной технологии заоткоски уступов на предельном контуре и использование изолирующих покрытий поверхностей откосов уступов также имеют экономическую целесообразность, так как при этом сокращается объём вскрыши.

На экономическую эффективность укрепления откосов влияют время существования бортов и глубина карьера. Большой срок уменьшает удельные капитальные затраты, а увеличение глубины влечёт удорожание вскрыши за счёт роста расстояния транспортирования. Выполнив анализ стоимости укрепления бортов различными способами в конкретных условиях, можно определить их экономическую эффективность по сравнению с растущими затратами на вскрышу и тем самым установить время и глубину, с которой экономически выгодно начать укрепление откосов.

Основным показателем экономической эффективности управления устойчивостью откосов является годовой экономический эффект, в основе расчёта которого лежит сопоставление *приведённых затрат* в условиях эксплуатации борта карьера или отвала до и после внедрения противооползневых мероприятий:

$$\mathcal{E} = (C_2 - C_1) \cdot A - E_n \cdot K_{\text{доп}}, \text{ руб.},$$

где C_2 , C_1 – соответственно себестоимость 1 т полезного ископаемого до и после внедрения противооползневой защиты борта карьера или отвала, руб.; A – годовой объём добычи, т; E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений; $K_{\text{доп}}$ – дополнительные капитальные вложения на внедрение мероприятий по управлению устойчивостью откосов, руб.

Годовой экономический эффект от противооползневых мероприятий, направленных на снижение аварийных простоев, определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{уп}} + C_{\text{л}} + E_{\text{н}} \cdot (\mathcal{E}_{\text{к}} - K), \text{ руб.},$$

где $\mathcal{E}_{\text{уп}}$ – экономия на условно-постоянной части расходов в связи с ростом добычи полезного ископаемого, руб.; $C_{\text{л}}$ – затраты на ликвидацию аварий до внедрения противооползневых мероприятий, руб.; $\mathcal{E}_{\text{к}}$ – экономия на капиталовложениях в связи с ростом добычи, руб.; K – затраты на внедрение противооползневых мероприятий, руб.

5.2. Основные направления дальнейшего изучения управления состоянием массива горных пород

Масштабы разработки карьеров сегодня достигают таких размеров, что уровень их воздействия на верхнюю часть земной коры сопоставим с уровнем воздействия геологических процессов.

Борта карьеров имеют сложные очертания в плане и разрезе. Их можно рассматривать как элементы конструкции сложного инженерного сооружения, требующего новых решений по инженерно-геологическому обоснованию, специальных геомеханических расчётов и технологических приёмов управления состоянием массива горных пород на всех стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и погашения карьеров.

Эффективность управления состоянием откосов зависит от достоверности прогноза инженерно-геологических условий и изменения во времени геомеханических параметров массива горных пород.

Трудность решения вопросов обеспечения прогноза состояния откосов, особенно длительной устойчивости бортов карьеров и отвалов, обуславливается трудностью изучения инженерно-геологических условий и факторов, влияющих на выбор параметров откосов, которые окончательно выясняются в процессе горных работ.

Не все вопросы управления состоянием откосов достаточно исследованы, например, напряжённое состояние массива горных пород под действием тектонических сил в верхней части земной коры, взаимосвязи этих напряжений со свойствами пород и структу-

рой месторождений. Первоочередными задачами в этой области являются:

- натурные масштабные промышленные эксперименты по изучению высоких напряжений в верхней части земной коры, вмещающей карьеры;

- изучение условий и зависимостей проявлений разрушения бортов карьеров и отвалов;

- обоснование выбора устойчивых и безопасных конструкций бортов, способов снижения напряжений с целью уменьшения интенсивности проявления горного давления в карьерах;

- необходимость прогнозирования скрытых стадий деформаций горных пород на основе кинетики процесса, что позволит объяснить зарождение дефектов в массиве, а также явления перехода от одного масштаба разрушения к другим и изменения механических свойств массива;

- изучение условий и зависимостей направленного изменения состояния массива для обоснованного регулирования формой, параметрами, продолжительностью эксплуатации обнажения в разных состояниях откосов (упрочнении, разупрочнении) в процессе горных работ.

5.3. Наиболее распространенные в практике меры охраны откосов

Меры охраны откосов основаны на исключении условий нарушения устойчивости откосов, а также на предотвращении дальнейшего развития деформационных процессов с целью снижения их вредного влияния на производство работ в карьерах.

Значительные деформации откосов могут причинить предприятию большой материальный ущерб, нарушить и даже приостановить технологический процесс, привести к потерям полезного ископаемого, вызвать необходимость многократной переэкскавации сползающих или обрушенных масс пород (рис. 5.2).

Условия нарушения устойчивости откосов можно исключить посредством правильного выбора и соблюдения в процессе работ геометрических параметров откосов, наиболее полно отвечающих горно-геологическим условиям.



Рис. 5.2. Оползень в карьере

Важно выбрать оптимальное направление продвижения горных работ, учитывающее структуру массива, гидрогеологические условия, направления дренирования вод.

С учётом необходимости обеспечения устойчивости откосов должна выбираться определённая технология выемки вскрышных пород и полезного ископаемого, а также разрабатываться специальные методы производства взрывных работ.

К мерам борьбы с деформационными процессами относят работы по осушению месторождения, защиту поверхности пород откосов, укрепление и упрочнение прибортового массива.

5.3.1. Практикуемые меры защиты от оползневых явлений

Основной причиной развития оползневых явлений является обводнённость пород. Поэтому одной из первоочередных мер предотвращения оползней является соответствующая планировка прибортовой зоны карьеров и устройство водоотводных канав, позволяющая производить отвод поверхностных вод за пределы карьерного поля.

На площадках уступов должен быть предусмотрен перепуск скапливающейся воды к водосборникам для последующего удаления её за пределы карьера.

Кроме того, для осушения карьеров используются водопонижительные вертикальные или горизонтальные скважины, а в отдельных случаях и дренажные подземные горные выработки.

Если оползневые деформации откосов уже имеют место, то необходимо принять меры по локализации или по приостановке развития процесса. Для уменьшения массы сползающего прибортового клина производят выполаживание угла откоса до такой величины, при которой сползания не происходит. Уточненная величина угла откоса устанавливается соответствующим расчётом по заданному коэффициенту запаса устойчивости.

Наиболее распространенным методом предотвращения дальнейшего развития оползня является отсыпка контрфорсов (рис. 5.3, а).

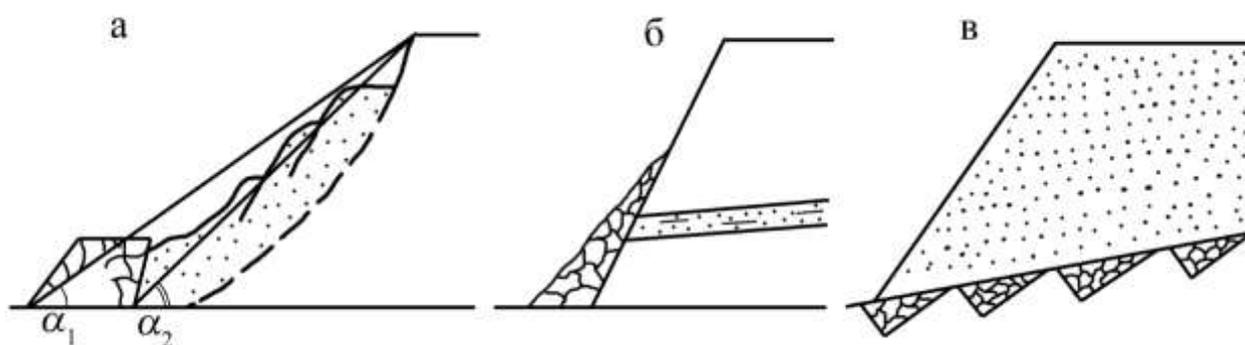


Рис. 5.3. Локализация развития оползней: а – устройство контрфорсов; б – пригрузка откосов; в – подготовка основания отвала; α_1 – средний угол наклона откоса; α_2 – угол наклона откоса с учётом дамбы

В передней части сползающих масс отсыпается дамба из скальных вскрышных пород, что создаёт упор и выполаживает общий угол наклона поверхности откоса.

Вместо контрфорсов в передней части оползня можно оставить целик пород или полезного ископаемого, если работы производятся на проектной глубине, а также применить породные стенки, сооружаемые у основания оползня. При образовании фильтрационных оползней используется способ пригрузки наклонной поверхности фильтрующегося откоса слоем дробленой скальной породы мощностью не менее 1,5 м. В этом случае достигается свободное высачи-

вание подземных вод на откос без выноса породы (рис. 5.3, б). Пригрузка откосов скальными породами делается с увеличением мощности слоя к основанию откоса, поэтому приводит к перераспределению напряжений в прибортовом массиве, увеличивает коэффициент запаса устойчивости на 20–25%.

При укладке отвалов на наклонное основание при наличии слабой, обводнённой поверхности предварительно производят механическое рыхление поверхности основания с помощью тракторных рыхлителей на глубину 0,5–0,7 м или устраивают продольные траншеи. Эти меры увеличивают сопротивление скольжению отвальных пород по поверхности основания. Иногда траншеи заполняют фильтрующим материалом, что обеспечивает отвод воды из отвальных масс (рис. 5.3, в).

Меры искусственного укрепления прибортового массива горных пород обеспечивают повышение сопротивления сдвигу пород в зоне наибольших напряжений по потенциальной поверхности скольжения (обрушения), или всего массива в целом.

К этим мерам можно отнести:

1) механическое укрепление железобетонными сваями, шпонами, анкерами, гибкими тросовыми тяжами;

2) физико-химическое укрепление с применением цементации, нагнетанием укрепляющих растворов из полимерных материалов, смол, с применением электрохимической и термической обработки;

3) изолирующие и защитные покрытия набрызг-бетоном по металлической сетке, смолами, с использованием агромелиоративных способов.

Железобетонные сваи надёжно закрепляют участки массива, имеющие плоскости ослабления (дизъюнктивные нарушения, плоскости напластования), неблагоприятно ориентированные относительно откоса. В этом случае в скважины, пробуренные в основании контакта, укладывают металлическую арматуру и заливают бетоном или цементным раствором, предварительно заполнив скважину заполнителем в виде щебня и песка (рис. 5.4, а).

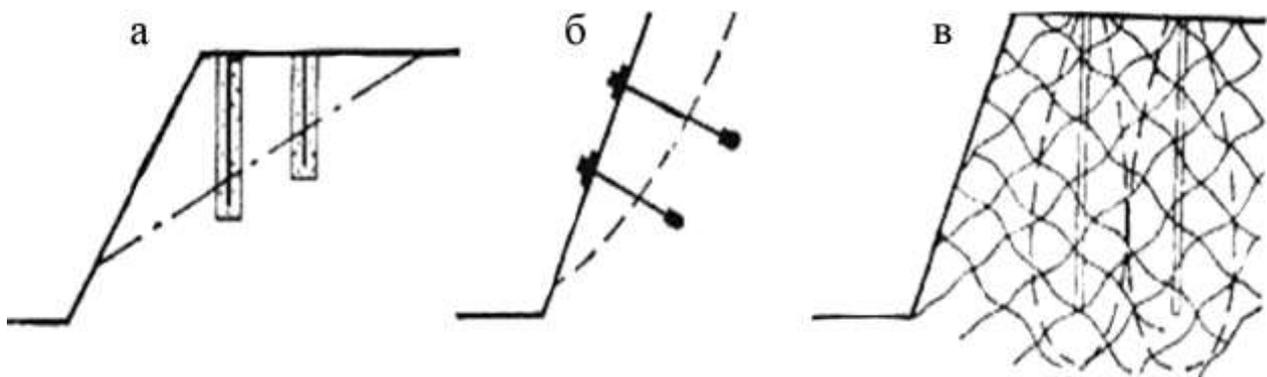


Рис. 5.4. Схемы укрепления прибортового массива: *а* – железобетонными сваями; *б* – анкерами (гибкими тросовыми тяжами); *в* – цементацией или смолизацией

Анкерное укрепление применяют для упрочнения связи слабой приповерхностной зоны с основной массой пород за пределами потенциальной поверхности ослабления. Различают распорные анкеры, у которых замок размещается в прочной части массива (рис. 5.4, *б*), а также анкеры, которые скрепляют породы на всем его протяжении посредством бетона или смол (рис. 5.4. *а, в*).

Цементация или смолизация используется в интенсивно трещиноватых породах, обладающих хорошей водопроницаемостью. В этом случае с верхней площадки откоса бурят вертикальные или наклонные скважины на расстоянии 4–6 м друг от друга. В них нагнетают цемент до полного насыщения массива (рис. 5.4, *в*).

5.3.2. Способы предотвращения осыпей

Так как осыпи откосов уступов – самые распространенные виды деформаций, в настоящее время разработаны разнообразные способы борьбы с ними.

Основные из них следующие:

1. Заоткоска уступов предусматривает создание оптимального для данных пород наклона откоса, при котором снижается степень разрушения и скатывания пород. В рыхлых породах эта работа выполняется, как правило, экскаваторами, а в скальных – путём применения специальных методов взрывания на предельном контуре погашения уступа.

Заоткоска уступов взрывным способом может производиться по следующим схемам:

а) предварительное щелеобразование на предельном контуре уступа наклонными скважинами. Создаваемая в данном случае

взрыванием скважин щель является экраном для ударных волн при массовых взрывах на границе с предельным контуром. Сущность метода состоит в том, что по линии предельного контура уступа ВВ' бурят ряд наклонных скважин, расположенных на расстоянии 1,5–2 м друг от друга (рис. 5.5, а).

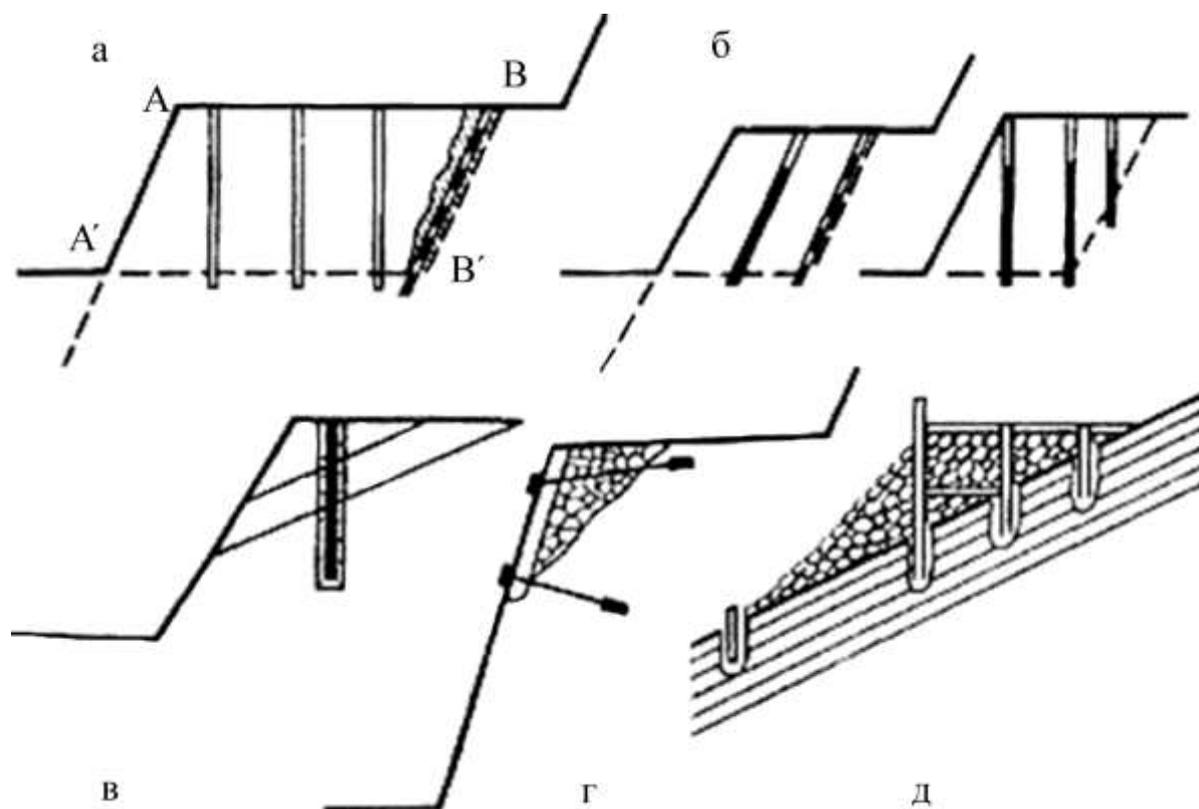


Рис. 5.5. Схемы закрепления осыпей: а – предварительное щелеобразование; б – заоткоска уступа наклонными и вертикальными скважинами; в – укрепление железобетонными сваями; г – искусственная бровка; д – укрепленная берма

Скважины заряжают уменьшенными рассредоточенными зарядами. Взрывание контурных скважин производят с опережением по отношению к массовому взрыву приконтурного блока А'АВВ'. На рис. 5.5, б показана заоткоска уступа по проектному контуру посредством наклонных или вертикальных скважин переменной глубины. Такие меры направлены на снижение зоны, разрушаемой массовыми взрывами, так как при мгновенном взрывании большого количества взрывного вещества в скважинах зона частичного разрушения пород распространяется на расстояние до 8–10 м за пределы линии отрыва, что приводит к снижению сопротивляемости пород сдвигу и их стойкости против выветривания.

2. Создание широких берм механизированной очистки с целью избежания образования за счёт осыпей сплошных откосов на всю высоту борта. Это достигается сдваиванием и страиванием уступов на предельном контуре карьера.

3. При остановке уступов в предельном контуре с подрезкой наклоненных в сторону откоса слоёв пород для обеспечения проектного угла наклона откоса целесообразно производить опережающее укрепление пород уступа железобетонными сваями (рис. 5.5, в).

4. Если не осуществляется укрепление пород приконтурного массива, то образование осыпей приводит к уменьшению полезной ширины бермы за счёт срезания верхней части откоса уступа или даже всего откоса. Для восстановления берм создают искусственную бровку или сооружают специальные укрепления (рис. 5.5, г, д).

ТЕСТЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Какие процессы проявляются в массиве горных пород при разработке месторождений открытым способом?

- геологические;
- гидрологические;
- геомеханические;
- гидрогеологические;
- динамические.

2. Под влиянием каких факторов происходят процессы деформирования и разрушения массива горных пород при открытой разработке месторождений?

- природных экзогенных и технологических;
- выветривания;
- инсоляции;
- перепада температур;
- буровзрывных работ.

3. Какие известны методы геомеханических исследований?

- теоретические;
- эмпирические;
- полуэмпирические;
- инструментальные наблюдения в натуральных условиях;
- все перечисленные методы.

4. Управление состоянием массива горных пород это:

- совокупность мероприятий по целенаправленному переводу массива в заведомо устойчивое, близкое к предельному или неустойчивое состояние;

- изменение в процессе разработки формы, параметров и продолжительности обнажения горных пород;

- изменение физико-механических свойств пород, обеспечивающих экономичное и безопасное ведение горных работ;

- сопоставление действующих и разрушающих напряжений или сдвигающих и удерживающих сил;

- уменьшение высоты и крутизны обнажения горных пород.

5. Повышение устойчивости уступов может быть достигнуто:

- уменьшением высоты и крутизны обнажения;
- укреплением массива инженерными методами или искусственным увеличением прочности пород;
- если массив в процессе отработки поддерживать в объёмном напряжённом состоянии путём создания бокового распора за счёт сближения сопрягаемых бортов карьера или их подпора внутренним отвалом и насыпями;
- уменьшением высоты и крутизны обнажения, укреплением массива инженерными методами или искусственным увеличением прочности пород;
- всеми перечисленными способами.

6. Укрепление природных массивов инженерными методами включает:

- механическое удержание части откоса по слабой поверхности с помощью железобетонных свай, штанг или гибких тросовых тяжей (при крупноблочном строении массива);
- упрочнение сильно трещиноватых и сыпучих пород цементацией и нагнетанием растворов из полимерных веществ;
- изолирование поверхности откоса уступа, склонного к интенсивному выветриванию или выщелачиванию, нанесением на него слоя торкрет-бетона, шприц-бетона или полимерных плёнок;
- внесения в отвальную массу в процессе отсыпки отвалов укрепляющих добавок и создания дренирующего слоя в основании отвалов;
- всеми перечисленными методами.

7. Как оценивается целесообразность применения инженерных методов упрочнения массива пород?

- затратами на выполнение этих работ;
- затратами на ликвидацию возможных нарушений устойчивости массива;
- сопоставлением затрат на выполнение этих работ с затратами на ликвидацию возможных нарушений устойчивости массива;
- энергоёмкостью работ;
- трудоёмкостью работ.

8. Цель перевода массива в неустойчивое состояние заключается в:

- использовании природных сил тяжести для отделения пород от массива;
- использовании природных сил тяжести для отделения пород от массива и их перемещения в заданном направлении;
- в подработке основания массива механическим способом;
- в подработке основания массива гидравлическим способом;
- в подработке основания массива взрывным способом.

9. Задачами УСМГП являются:

- изучение закономерностей изменения напряжённо-деформированного состояния вмещающих пород при ведении горных работ;
- обоснование технологических процессов и параметров выемки полезного ископаемого;
- управление горным давлением, целенаправленное перераспределение напряжений, деформаций, разрушения и упрочнения породного массива;
- управление напряжённо-деформированным состоянием массива горных пород при ведении горных работ;
- все перечисленные задачи.

10. На базе исследований УСМГП обосновываются:

- технологические схемы и параметры горных работ;
- выбираются системы разработки, определяются их элементы и параметры;
- устанавливаются рациональные способы и схемы управления горным давлением при открытых разработках;
- даются рекомендации по оптимальному поддержанию горных выработок, защите других объектов от техногенного влияния горных работ.
- все решения перечисленных задач.

11. К способам управления состоянием массива горных пород относятся:

- технологические приёмы;
- инженерные способы;

- механическое укрепление откосов;
- искусственное упрочнение массива горных пород;
- все перечисленные способы управления состоянием массива горных пород.

12. Как определяется необходимость изменения состояния массива пород с помощью технологических и инженерных методов управления состоянием уступов и бортов?

- возможностью сокращения объёма вскрыши за счёт отказа от выполаживания борта карьера;
- стоимостью затрат на проведение противооползневых мероприятий;
- сравнением затрат на искусственное укрепление откосов с затратами на дополнительный разнос борта;
- сравнением затрат на искусственное укрепление откосов с ущербом от обрушения борта;
- сравнением затрат на проведение противооползневых мероприятий с ущербом от обрушения борта.

13. В каких случаях рекомендуется применять инженерные методы управления состоянием уступов и бортов:

- если направление простирания крупных тектонических нарушений, трещин, слоистости массива горных пород пересекается под углом менее 45° с направлением простирания откосов уступов;
- в зонах интенсивной трещиноватости, склонных к выветриванию горных пород;
- в зонах тектонических разломов и нарушений с большими амплитудами смещения пластов;
- в зонах с неблагоприятно ориентированной слоистостью массива горных пород, падающей в сторону выработанного пространства под углом 20–30 и более градусов, когда на глубоких горизонтах невозможно осуществить выполаживание борта;
- во всех перечисленных случаях.

14. Какие разделы входят в состав проекта по укреплению уступов и бортов карьера:

- исходные данные геологоразведочных работ и инженерно-геологических изысканий;

- расчёты устойчивости борта на участке укрепительных работ;
- способы укрепления, упрочнения и изоляции горных пород в откосах уступов и бортов карьера и паспорта укрепления откосов;
- варианты укрепления откосов и их технико-экономические расчёты с оценкой по способам укрепления откосов и затратам на конструкции противооползневого сооружения, расходу материалов, сроком проведения работ по укреплению и долговечностью конструкций;
- все перечисленные разделы.

15. Что такое сдвигание горных пород?

- перемещение массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия при ведении горных работ;
- деформирование массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия при ведении горных работ;
- перемещение и деформирование массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия при ведении горных работ;
- явления и процессы в массиве горных пород, вызываемые горным давлением при ведении горных работ;
- напряжения, возникающие в массиве горных пород в результате действия гравитационных и тектонических сил, изменения температуры верхних слоёв земной коры.

16. Что такое деформации горных пород?

- изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием горного давления;
- изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием динамических нагрузок;
- изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием различных полей (электрических, магнитных, ультразвуковых и др.);
- изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием тектонических или термических напряжений, а также фазовых превращений при осушении или увлажнении горных пород и других видов горных работ;

- изменение формы, размеров и объёма отдельностей или участков горных пород под воздействием горного давления, динамических нагрузок, различных полей (электрических, магнитных, ультразвуковых и др.), тектонических или термических напряжений, а также фазовых превращений при осушении или увлажнении горных пород и других видов горных работ.

17. Что такое сдвигение горных пород?

- изменение места положения горных пород относительно какой-то точки (репера) в результате нарушения их равновесия, вызванного ведением горных работ;

- вертикальная составляющая полного вектора сдвижения точки поверхности или массива горных пород;

- сдвигение горных пород по плоскостям напластования;

- нарушение связи между слоями горных пород в процессе их сдвижения;

- нарушение сплошности горной породы в результате тех или иных воздействий на неё.

18. Что такое устойчивость горных пород?

- способность горных пород сохранять равновесие при их обнажении;

- способность обеспечивать функционирование выработок с эксплуатационными характеристиками в течение заданного срока службы;

- способность горных пород противостоять деформации, сдвигению и обрушению пород;

- способность горных пород поддаваться деформации, сдвигению и обрушению пород;

- способность обеспечивать функционирование выработок при их обнажении.

19. Что такое УСМГП?

- рабочее состояние, обеспечивающее выполнение выработкой своих функций (назначения) в течение срока службы при соблюдении требований Правил Безопасности;

- комплекс дополнительных мероприятий, направленный на сохранность выработок в эксплуатационном состоянии в течение требуемого периода;

- управление физическими процессами, происходящими в горном массиве и приводящими к изменению физических свойств и напряжённо-деформированного состояния массива горных пород;

- напряжённое состояние массива горных пород в нетронутым массиве горных пород при отсутствии в нём выработок;

- напряжённо-деформированное состояние массива горных пород в зоне влияния выработки.

20. Что такое масштабный эффект?

- реальная прочность образцов данного размера распространяется на более крупные геометрически подобные образцы;

- чем меньше размер образца, тем выше его прочность;

- вероятность встречи трещины и других плоскостей ослабления в большом объёме больше, чем в меньшем, а, следовательно, средняя прочность образцов большого объёма меньше;

- переходные коэффициенты ослабления, используя которые можно приблизить свойства образца к свойствам горной породы в массиве;

- реальная прочность образцов данного размера не распространяется на более крупные геометрически подобные образцы.

21. Что следует учитывать при оценке свойств и прогнозе поведения горных пород?

- масштабный эффект;

- структуру горного массива;

- масштабный эффект и структуру горного массива;

- свойства и поведение горной породы в массиве;

- разнородные по физическим характеристикам горные породы.

22. Основными факторами, влияющими на прочность и деформационные свойства горных пород в массиве являются:

- неоднородность горных пород;

- анизотропность физических свойств;

- глубина залегания, форма и геологические условия залегания, характер вмещающих горных пород;
- дефекты внутреннего строения, обводнённость;
- все перечисленные выше факторы.

23. Что такое трещиноватость горных пород?

- совокупность трещин различного происхождения и различных размеров, формы и пространственной ориентировки;
- различия между свойствами горной породы в образце и в массиве;
- условия для появления каймы выветривания во всех элементарных блоках породы;
- ослабление прочности породы в массиве;
- анизотропность физических характеристик массива.

24. По происхождению трещиноватость горных пород разделяется на:

- нетектоническую;
- тектоническую;
- планетарную;
- нетектоническую, тектоническую и планетарную;
- межатомную.

25. Классификация трещин В. В. Ржевского по:

- степени раскрытия;
- размерам, форме;
- геометрическому взаимоотношению трещин со слоистостью;
- геометрическому взаимоотношению трещин с углом наклона к горизонтали;
- по всем пяти признакам.

26. Классификация трещиноватости горных пород по ВНИМИ в зависимости от:

- интенсивности трещиноватости;
- размеров кусков, на которые делится керн;
- расстояния между трещинами;
- коэффициента структурного ослабления массива;
- размера трещин.

27. Влияние обводнённости на прочностные свойства горных пород приводит к:

- снижению их прочностных свойств;
- увеличению их прочностных свойств;
- размягчению;
- консолидации;
- плавучести.

28. Качественная оценка характера разрушения образцов пород под воздействием воды показывает, что:

- образцы не разрушаются в воде;
- образцы расслаиваются на крупные отдельности параллельно напластованию;
- образцы расслаиваются и растрескиваются на относительно крупные отдельности параллельно и перпендикулярно напластованию;
- образцы растрескиваются и расслаиваются на мелкие отдельности параллельно и перпендикулярно слоистости;
- образцы пород превращаются в бесформенную массу.

29. К основным способам управления устойчивостью открытых горных выработок относятся:

- обоснование и выбор параметров (углов откосов, высоты и др.) бортов и уступов, обеспечивающих их устойчивость на протяжении всего срока эксплуатации;
- расположение внешних вскрывающих выработок в прочных, устойчивых горных породах и выбор направления, скорости продвижения фронта горных работ в карьерном поле, исходя из структурно-текстурных особенностей строения вмещающих пород и полезного ископаемого;
- выбор способа и технологии взрывных и очистных работ и типов выемочного и транспортного оборудования, исключающих нарушение устойчивости бортов и уступов;
- обоснование и выбор последовательности отработки карьерного поля с учётом сложности его строения, степени ослабленности пород массива трещинами, другими макродефектами и исходя из устойчивости откосов;

- укрепление откосов и осушение обводнённых массивов горных пород (полезных ископаемых), защита карьеров от подземных и поверхностных вод.

30. Устойчивость нерабочих (стационарных) и рабочих бортов и уступов карьеров на протяжении всего времени их функционирования обеспечивается при выполнении условий:

- когда $\alpha_{\text{ф}} \leq \alpha_{\text{пр}}$; $H_{\text{ф}} \leq H_{\text{пр}}$, где $\alpha_{\text{ф}}$ и $\alpha_{\text{пр}}$ – угол откоса борта (уступа) соответственно фактический и предельный; $H_{\text{ф}}$ и $H_{\text{пр}}$ – высота борта (уступа) соответственно фактическая и предельная;

- когда фактический коэффициент $n_{\text{ф}}$ их устойчивости больше предельного коэффициента $n_{\text{пр}}$;

- когда параметры бортов и уступов в карьерах рассчитываются в основном по действующим методическим указаниям;

- когда надёжность расчётных параметров зависит главным образом от полноты и надёжности данных об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, разрабатываемых полезных ископаемых и вмещающих массивов горных пород;

- когда фактический коэффициент $n_{\text{ф}}$ их устойчивости меньше предельного коэффициента $n_{\text{пр}}$.

31. Поверхности разрушения (скольжения) могут быть:

- естественного происхождения;

- искусственного происхождения;

- поверхности, образующиеся в процессе разрушения массива;

- комбинированные, образующиеся в результате частичного сдвига призмы обрушения по естественной и вновь образованной поверхностям;

- все перечисленные.

32. Снижение влияния вредного действия взрывов на породные массивы может достигаться:

- ограничением массы одновременно взрывааемых зарядов;

- применением контурного взрывания наклонных скважин;

- применением короткозамедленного взрывания;

- созданием на пути распространения сейсмических волн экранизирующих поверхностей, предварительной заоткоской уступов и их укреплением или упрочнением;

- всеми перечисленными способами.

33. Укрепление откосов осуществляется в основном с целью:

- поддержания транспортной связи между отдельными участками нерабочего борта карьера;
- увеличения общего угла наклона борта;
- сокращения объёма вскрышных пород в конечных контурах карьерного поля;
- длительного стояния нерабочих уступов в предельном положении;
- со всеми этими целями.

34. Сущность укрепления откосов механическими способами состоит в:

- перераспределении напряжений в породах массива приоткосной зоны;
- фиксации напряжений в породах массива приоткосной зоны;
- снижении напряжений в породах массива приоткосной зоны;
- увеличении напряжений в породах массива приоткосной зоны;
- создании прочного, устойчивого массива за поверхностью или зоной обрушения (скольжения) или же в основании откоса.

35. К средствам механического укрепления откосов относятся:

- одиночные конструкции и сплошные сооружения;
- анкеры, тросовые тяжи, сваи, шпоны;
- подпорные и защитные стенки;
- контрфорсы;
- бетонные конструкции.

36. Анкеры целесообразно применять для укрепления откосов:

- маловыветрелых твёрдых горных пород крупнообломочного слоистого и сланцеватого строения;
- твёрдых горных пород мелкообломочного слоистого строения;
- маловыветрелых слабых горных пород сланцеватого строения;

- слабых горных пород крупнообломочного слоистого и сланцеватого строения;
- слабых горных пород мелкообломочного слоистого строения.

37. Железобетонные сваи применяются для укрепления:

- неустойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления, подающими в сторону выработки под углами;
- неустойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления, подающими в сторону от выработки под углами;
- неустойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления;
- устойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления;
- устойчивых уступов, подсечённых поверхностями ослабления, подающими в сторону выработки под углами.

38. Штанги и тросовые тяжи применяются для укрепления откосов:

- маловыветрелых скальных и полускальных пород крупноблочной, слоистой или сланцевой структуры с падением трещин в сторону выемки под углом $25-55^\circ$;
- полускальных пород крупноблочной, слоистой или сланцевой структуры;
- маловыветрелых скальных сланцевой структуры с падением трещин в сторону выемки под углом $25-55^\circ$;
- маловыветрелых скальных и полускальных пород слоистой или сланцевой структуры с падением трещин в сторону выемки под углом 25° ;
- маловыветрелых скальных и полускальных пород крупноблочной структуры с падением трещин в сторону выемки под углом $25-55^\circ$.

39. Подпорные стенки применяются для:

- стабилизации оползней глинистых пород;
- сопротивления оползню в том случае, если ширина их больше фронта распространения оползня, а высота достаточна, чтобы предотвратить обрушение пород через стену;
- стабилизации оползней песчано-глинистых пород;

- стабилизации оползней песков;
- стабилизации оползней конгломератов.

40. Подпорно-защитные стенки сооружают для:

- предотвращения вывалов, обрушений небольшого объёма и осыпей в откосах, сложенных интенсивно выветривающимися породами;

- предотвращения вывалов, обрушений большого объёма и осыпей в откосах, сложенных интенсивно выветривающимися породами;

- стабилизации оползней песчано-глинистых пород;

- стабилизации оползней песков;

- предотвращения вывалов, обрушений небольшого объёма и осыпей в откосах, сложенных слабо выветривающимися породами.

41. Тонкие подвесные стенки толщиной 0,05–0,1 м сооружают для:

- предотвращения образования осыпей;

- предотвращения образования осыпей на отвалах;

- затяжки поверхности откоса сборными железобетонными плитами;

- затяжки поверхности откоса металлической геологической сеткой;

- затяжки поверхности откоса металлической огородной сеткой.

42. Контрфорсы применяются для укрепления откосов уступов:

- нерабочих бортов, капитальных траншей и отвалов рыхлых пород;

- нерабочих бортов, капитальных траншей и отвалов крепких пород;

- нерабочих бортов;

- капитальных траншей;

- отвалов.

43. Контрбанкеты применяются для:

- предотвращения фильтрационных деформаций уступов;

- пригрузки поверхности откосов уступов фильтрующим материалом;
- предотвращения образования осыпей;
- затяжки поверхности откоса металлической сеткой;
- предотвращения вывалов, обрушений небольшого объёма и осыпей в откосах, сложенных слабо выветривающимися породами.

44. Цементация массива пород применяется для:

- упрочнения породных массивов трещиноватых осадочных, магматических и метаморфических пород;
- стабилизации оползней песчано-глинистых пород;
- предотвращения образования осыпей на отвалах;
- предотвращения фильтрационных деформаций уступов;
- затяжки поверхности откоса сборными железобетонными плитами.

45. Силикатизация массива пород применяется для:

- обработки песчаных и лёссовых массивов силикатным раствором низкомолекулярного натриевого жидкого стекла;
- обработки песчаных и лёссовых массивов силикатным раствором калиевого жидкого стекла;
- обработки песчаных и лёссовых массивов силикатным раствором высокомолекулярного натриевого жидкого стекла;
- обработки песчано-глинистых массивов силикатным раствором низкомолекулярного натриевого жидкого стекла;
- обработки массивов горных пород силикатным раствором натриевого жидкого стекла.

46. Применение изолирующих покрытий используется для:

- предотвращения разрушения пород в обнажениях от влияния различных агентов выветривания;
- предотвращения разрушения пород в обнажениях от влияния атмосферных осадков;
- предотвращения разрушения пород в обнажениях от влияния солнечной радиации;
- ураганов;
- перепадов температур.

47. Из защитно-изолирующих покрытий применяются:

- подвесные стенки из металлической сетки, закреплённой на анкерах;
- теплоизоляционные органические материалы;
- теплоизоляционные неорганические материалы;
- смешанные на основе асбеста, смесей асбеста и минеральных вяжущих веществ, на основе вспученных горных пород;
- все выше перечисленные.

48. Комбинированные способы укрепления откосов применяются:

- в сложных горно-геологических условиях, в которых ни одним из рассмотренных способов в отдельности не может быть обеспечено надёжное управление механическими процессами породных массивах в откосах карьера;
- для укрепления слоистых откосов с подрезанными контактами слоёв пород;
- в сложных инженерно-геологических условиях, когда один способ укрепления не обеспечивает длительной устойчивости ослабленного породного массива;
- для крепления железобетонными сваями в сочетании с анкерами, железобетонными сваями с анкерами и изоляцией поверхности откоса и другие сочетания способов укрепления;
- все перечисленные ответы верны.

49. Управление устойчивостью откосов путём маневрирования горными работами применяется в случаях:

- если корректировка высоты и угла наклона уступа не даёт желаемого результата по предотвращению деформаций откосов или ведёт к разносу борта на верхних горизонтах и увеличению объёма вскрышных работ;
- если корректировка высоты и угла наклона уступа осуществляется в пределах всего карьера или его участков;
- если возможно соблюдение очередности отработки месторождения;
- если возможно изменение направления подвигания фронта горных работ;
- если возможно изменение параметров элементов уступов.

50. При маневрировании горными работами используется:

- информация о геологическом строении карьерного поля;
- информация о структуре и физико-механических свойствах массива горных пород;
- информация об устойчивости откосов уступов и бортов карьера;
- технологические карты карьерного поля с разбивкой его на отдельные выемочные блоки и указанием направления в них продвижения горных работ;
- все перечисленные ответы верны.

51. При выборе схемы вскрытия и системы разработки месторождения решающее влияние на устойчивость откосов оказывает:

- угол наклона залежи;
- горизонтальное залегание слоев;
- пологое залегание слоев;
- наклонное залегание слоев;
- крутое залегание слоев.

52. Снижение влияния вредного действия взрывов за пределами взрываемого блока достигается:

- управлением формирования сейсмического поля напряжений и колебаний во взрываемом блоке и за его пределами;
- благодаря подбору соответствующих физико-детонационных характеристик ВВ;
- конструированию скважинных зарядов и применению короткозамедленного взрывания;
- созданию на пути распространения сейсмических волн экранирующих поверхностей, изменению направления развития взрыва во взрываемом блоке и очередности взрывания;
- все перечисленные ответы верны.

53. Действие взрыва на массив можно ограничить:

- предварительной заоткоской уступов;
- укреплением или упрочнением уступов инженерными методами;

- организационно-техническими мероприятиями в управлении взрывами;
- совершенствованием организации взрывов, повышением культуры производства с использованием научных достижений;
- все перечисленные ответы верны.

54. Основные свойства ВВ, влияющие на степень вредного действия взрыва на откосы:

- плотность и скорость детонации заряда;
- энергия взрыва;
- энергия заряда;
- объём разрушаемых горных пород;
- скорость выделения энергии взрыва.

55. Среди конструкций зарядов, определяющих характер изменения сейсмических колебаний в массиве пород, выделяют конструкции с:

- воздушными осевыми и кольцевыми зазорами;
- со специальными кумулятивными выемками;
- с инертными заполнителями;
- рассредоточенными воздушными промежутками;
- взрыванием через постоянный интервал замедления.

56. Локализуется действие взрыва в массиве применением:

- защитного слоя;
- экранирующего слоя;
- амортизирующего слоя;
- защитной щели;
- специальной заоткоски уступов.

57. Под специальной заоткоской уступов понимается применение такой технологии отработки приконтурных заходок и оформления нерабочих бортов, при которых:

- обеспечивается устойчивость откосов;
- обеспечивается сохранность берм;
- снижается интенсивность накопления осыпей;
- предотвращаются оползни;
- предотвращаются провалы.

58. Заоткоска уступов под проектными углами может выполняться по следующим технологическим схемам:

- с предварительным щелеобразованием на предельном контуре карьера наклонными скважинами на высоту одного или нескольких уступов; – применением однорядных и двухрядных наклонных заоткашивающих скважин по проектному контуру на всю высоту уступа при выемке последней заходки в приконтурной полосе;

- сочетанием наклонных глубоких и вспомогательных вертикальных коротких скважин;

- оформлением верхней части уступа, поставленного в проектный контур короткими наклонными скважинами;

- заоткоской вертикальными короткими скважинами и однорядными вертикальными скважинами на всю высоту уступа.

59. Заоткоска уступов с помощью контурного взрывания позволяет:

- на $5-15^\circ$ и более увеличить угол откоса по сравнению с углами откосов, формирующихся при обычной технологии БВР;

- снизить интенсивность деформирования и обеспечить длительную устойчивость уступов;

- исключить обвалы;

- повысить устойчивость откосов, имеющих поверхности ослабления, падающие в сторону от выработанного пространства.

- повысить устойчивость откосов, имеющих поверхности ослабления, падающие в сторону выработанного пространства.

60. Контурное взрывание заключается в:

- в бурении парносближенных скважин;

- бурении сближенных скважин;

- зарядении скважин ослабленными (по массе) зарядами ВВ;

- бурении при расстояниях между скважинами в ряду от 1 до 2 м и диаметре скважин 100–150 мм;

- с массой заряда (кг) на 1 м скважины в породах различной крепости при изменяющемся расстоянии между контурными скважинами 0,8–3,0 кг.

61. Способы контурного взрывания:

- предварительное щелеобразование, то есть взрывание до отбойки приконтурной заходки;
- контурная отбойка или «гладкое взрывание» после взрывов в приконтурной ленте;
- выдерживание расстояния и параллельность между контурными наклонными скважинами;
- правильный выбор удельного расхода ВВ;
- взрывание на расстоянии не менее 15–20 м от предельного контура.

62. При сдваивании или страивании уступов (высокие уступы) в трещиноватых слабовыветривающихся породах экранирующую щель формируют:

- на полную высоту высокого уступа;
- лишь в его верхней половине;
- лишь в его нижней половине;
- на трети высоты уступа;
- на четверти высоты уступа.

63. Практика изучения деформаций горных пород от сейсмического действия взрывов позволяет считать следующие параметры критериями качественной отстройки откоса уступа:

- абсолютное смещение законтурного массива не более 3 мм;
- скорость колебания пород не выше 24 см/с;
- отсутствие заколов;
- отсутствие негабарита;
- получение поверхности откоса со степенью неровности 15–20 см.

64. При решении задач укрепления откосов и упрочнения горных пород важнейшими задачами являются:

- определение положения поверхности скольжения;
- установление границы возможной зоны нарушения откоса и его сдвига;
- определение массы призмы возможного обрушения;
- определение давления на поддерживающие противодеформационные конструкции и сооружения;

- определение надёжности заделки замков укрепляющих конструкций (свай, штанг, тросовых тяжей) в монолитной части массива.

65. В геологическом строении массивов горных пород бывают следующие случаи естественного нарушения уступов поверхностями ослабления:

- двумя плоскими поверхностями ослабления большого протяжения, падающими под различными углами в сторону откоса и выходящими на поверхность в разных его частях;

- одной или двумя плоскими поверхностями ослабления большого протяжения, падающими под различными углами в сторону откоса и выходящими на поверхность в разных его частях;

- диагональными по отношению к простиранию борта плоскими поверхностями ослабления, образующими четырёх – шестигранные призмы;

- поверхностями ослабления криволинейной формы;

- поверхностями ослабления криволинейной или ломаной формы.

66. Необходимое дополнительное удерживающее усилие определяется с учётом коэффициента запаса устойчивости из выражения:

- $\Delta T_y = \sum T_c - \sum T_y$;
- $\Delta T_y > \sum T_c - \sum T_y$;
- $\Delta T_y < \sum T_c - \sum T_y$;
- $\Delta T_y - \sum T_y = \sum T_c$;
- $\sum T_c = \Delta T_y - \sum T_y$.

где $\sum T_c$, $\sum T_y$ – суммарные сдвигающие и удерживающие усилия.

67. При призматической поверхности скольжения возможны схемы расчёта силы реакции крепи:

- с одним жёстким блоком;
- с одним-двумя жёсткими блоками;
- с блоками в слабых горных породах;
- с блоками в крепких горных породах;
- с блоками в слоистых горных породах.

68. При криволинейной поверхности скольжения величину давления горных пород рассчитывают в следующем порядке:

- разбивают призму возможного обрушения на блоки, в пределах которых поверхность скольжения близка к плоской;
- устанавливают давление вышележащих блоков на нижележащие, начиная с верхнего блока;
- определяют полное давление призмы возможного обрушения на противоположное сооружение (крепь).
- определяют полное давление призмы возможного обрушения на откос;
- определяют полное давление призмы возможного обрушения на откос и площадку.

69. Ликвидацию оползневых очагов экономически целесообразно предотвращать следующими противооползневыми мероприятиями:

- выполаживание угла откоса уступа или части борта;
- оставление целиков породы или полезного ископаемого в районе оползневого очага;
- отгрузка породы в районе оползневого очага;
- снятие нагрузки с откоса с целью уменьшения сил, создаваемых призмой активного давления и отгрузку очага оползня;
- искусственное упрочнение горных пород массива.

70. Управление откосами уступов и бортов карьеров включает:

- расчёт углов откосов с надёжным, но не преувеличенным запасом прочности;

- создание крупных по масштабу методов искусственного полного и локального укрепления их;

- создание крупных по масштабу методов и средств искусственного полного укрепления их;

- создание крупных по масштабу методов и средств искусственного полного и локального укрепления их;

- комплекс мероприятий, направленных на достижение такого напряжённо-деформированного состояния горных пород в природном или техногенном массиве, при котором обеспечивается безопасное и экономически эффективное ведение горных работ.

71. Метод управления откосами должен удовлетворять условиям:

- технической надёжности;
- технологичности;
- универсальности;
- экономической целесообразности;
- целесообразной трудоёмкости.

72. Методы управления деформационными процессами, применяемые в практике горных работ:

- снижение воздействия массовых взрывов в приконтурных зонах;
- оставление предохранительных целиков;
- выполаживание угла откоса уступа или борта;
- отгрузка очага оползня;
- пригрузка очага оползня для противодействия нагрузки от призмы активного давления.

73. Различают следующие виды контурного взрывания:

- гладкое взрывание, когда заряды контурного ряда взрываются после основных зарядов дробления;
- предварительное щелеобразование, когда заряды контурного ряда взрываются первыми;
- волнистое взрывание;
- последующее щелеобразование, когда заряды контурного ряда взрываются последними;
- сдваивание и страивание скважин.

74. Методы управления деформационными процессами разделены на следующие группы:

- методы, применение которых не вызывает изменения состава, строения и свойств пород;
- методы, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород;
- методы, применение которых приводит к существенному изменению состава, строения и свойств пород;
- методы, применение которых приводит к полному изменению состава, строения и свойств пород;

- методы, применение которых приводит к существенному изменению состава пород.

75. Способы укрепления, не вызывающие изменения состава строения и свойств пород следующие:

- укрепление штангами;
- анкерная крепь;
- укрепления откосов гибкими тросами;
- цельные железобетонные сваи;
- полые железобетонные сваи.

76. Способы укрепления, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород следующие:

- бетонные покрытия из торкретбетона;
- бетонные покрытия из шприц-бетона;
- покрытия из химических материалов;
- биологический способ укрепления;
- микробиологический способ.

77. Способы укрепления, вызывающие существенное изменение состава, строения и свойств пород следующие:

- способ инъекций цементного раствора;
- инъекции жидких полимерных смол;
- электрохимическое укрепление;
- электрофизическое укрепление;
- высокотемпературный нагрев.

78. Основные достоинства свайного укрепления откосов следующие:

- высокая несущая способность свай при работе на срез;
- высокая несущая способность свай при работе на срез и изгиб;
- простота их установки;
- полная механизация работ, позволяющая достигнуть высокой производительности;
- возможность укрепления участков значительной протяжённости и большой высоты уступов с глубоким залеганием поверхностей ослабления.

79. Применение свай ограничивается:

- на участках, ослабленных трещинами большой протяжённости;
- на участках, ослабленных крутопадающими поверхностями скольжения, включающих трещины большой протяжённости;
- на участках с нарушенными горными породами в призме возможного обрушения и с зоной смещения и ослабления, имеющих значительную мощность;
- на участках с нарушенными горными породами;
- на участках с нарушенными горными породами с зоной смещения и ослабления.

80. Работы по установке свай включают:

- бурение скважин под сваи;
- спуск типовой сваи или арматуры в скважину;
- подготовку скважины к бетонированию или цементации;
- заливку в скважину бетона или цементного раствора
- подготовка ростверков.

81. К механическому укреплению откосов относятся сплошные противооползневые сооружения:

- массивная подпорная стена;
- защитная стенка;
- контрфорс;
- бетонные покрытия из торкретбетона;
- бетонные покрытия из щприц-бетона.

82. Методы упрочнения массива горных пород следующие:

- цементация горных пород;
- силикатизация;
- смолизация;
- термическое упрочнение;
- упрочнение рыхлых пород камуфлетным взрывом.

83. При силикатизации в зависимости от влажности и проницаемости рыхлых горных пород применяются следующие рецептуры растворов:

- двухрастворный и однорастворный способ силикатизации;
- алюмосиликатный и кремнефтористо-силикатный;

- силиката натрия и серной кислоты;
- силикатно-органический;
- газовой силикатизации и глинисто-силикатный.

84. Сущность комбинированных способов укрепления откосов заключается в применении:

- железобетонных свай со штангами;
- железобетонных свай тросовыми тяжами;
- железобетонных свай и штанг с их цементацией или смолизацией;
- железобетонные сваи и штанги с изолирующим покрытием;
- железобетонные сваи со штангами и изолирующим покрытием.

85. Мероприятия, направленные на снижение активности оползневого процесса, полную его локализацию и остановку следующие:

- планировка поверхности оползня;
- обеспечение стока поверхностных и подземных вод;
- отгрузка оползневых масс;
- разгрузка призмы активного давления;
- заоткоска слабых участков с оставлением целиков и взрыванием подошвы откоса.

86. Задачи противооползневой службы на открытых разработках следующие:

- проведение систематических наблюдений за состоянием горных работ в карьере и на отвалах, изучение геологического строения, условий залегания, структуры и тектоники массива полезного ископаемого, налегающих и вмещающих пород, пород основания отвалов;

- установление зон и участков возможного проявления разрушающих деформаций, своевременное сообщение о них руководству предприятия;

- проведение инструментальных наблюдений за деформациями бортов, уступов и отвалов, а также изучение возникающих нарушений устойчивости, определение их характера, степени опасности и причин возникновения, их документирование;

- разработка мер борьбы с возникающими нарушениями устойчивости, подготовка материалов, составление проектов искусственного укрепления опасных зон и участков, специальной технологии работ и надзор за их выполнением;

- систематический контроль за состоянием противодеформационных сооружений и выполнением мероприятий, предотвращающих развитие нарушений устойчивости, контроль и корректировка проектных параметров открытых разработок.

87. Поэтапное управление состоянием откосов на глубоких карьерах включает:

- строительство карьера (начало взаимодействия системы массив – карьер);

- освоение проектной производственной мощности карьера;

- начало оформления постоянных бортов карьеров на предельном или промежуточном контуре;

- оформление постоянных бортов в полускальных и скальных трещиноватых породах;

- доработку карьера.

88. Изучение устойчивости бортов карьеров должно включать:

- систематические инструментальные маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов;

- изучение инженерно-геологических особенностей массива горных пород, разработку методов искусственного укрепления;

- экспериментальные работы на карьере по искусственному укреплению;

- разработку технологии заоткоски в рыхлой толще пород;

- проектные решения по укреплению изменённых скальных пород, разработку сейсмобезопасной технологии ведения БВР на предельном контуре.

89. Технологические работы по устойчивости бортов карьеров включают:

- применение профилактических мероприятий по предварительному улучшению состояния откосов;

- заоткоску уступов в рыхлой толще;

- заоткоску и искусственное укрепление полускальных изменённых горных пород;
- систематическое поддержание в устойчивом состоянии откосов и берм;
- применение специальной технологии БВР на предельном контуре.

90. Способы управляемого деформирования уступов включают следующие виды управляемого обрушения:

- выкол горных пород блоками непостоянного объёма при подрезке (врубке) откоса уступа;
- отрыв вертикального блока и поворот его в сторону выемки;
- обвал с просадкой пород;
- обрушение уступа со сползанием массива;
- обрушение уступа с опрокидыванием массива.

91. К природным факторам, влияющим на выбор системы защиты карьера от воды, относятся:

- геологические;
- гидрогеологические;
- инженерно-геологические;
- орогидрографические;
- климатические.

92. Гидрогеологические факторы определяются:

- наличием и числом водоносных горизонтов;
- мощностью и напором водоносных горизонтов;
- коэффициентом фильтрации и водоотдачей;
- характером их питания и разгрузки, гидравлической связью между ними и поверхностными водотоками;
- наличием водоупорных и слабоводопроницаемых пород.

93. Дренажные системы по схемам расположения дренажных устройств, способам сооружения и срокам службы подразделяются:

- опережающие (предварительные) и параллельные дренажные системы;
- постоянные и временные;
- поверхностные;

- подземные;
- комбинированные.

94. По схемам расположения дренажных устройств в плане используют дренажные системы:

- кустовые;
- линейные;
- контурные;
- сетчатые;
- сплошные.

95. Дренажные системы в зависимости от числа водоносных горизонтов, подлежащих дренажу, могут быть:

- одноярусными;
- многоярусными;
- бесколлекторными;
- коллекторными;
- комбинированными.

96. Поверхностные дренажные устройства это:

- дренажные траншеи;
- горизонтальные трубчатые дрены;
- прибортовой и пластовый дренаж;
- водопонижающие, водопоглощающие разгрузочные и водосбросные скважины;
- горизонтальные дренажные скважины, сквозные фильтры, иглофильтровочные установки, лучевые водозаборы.

97. Прибортовой дренаж имеет цели:

- обеспечивать общую и фильтрационную устойчивость откоса;
- полностью перехватывать фильтрационный поток в сочетании с внешней дренажной системой;
- обеспечивать водопроницаемость пригрузки на два порядка выше защищаемых пород;
- не допускать суффозии пород в откосе;

- устраивать материал пригрузки, который не должен заиливаться (кольматироваться) мелкими частицами, выносимыми из защищаемого откоса.

98. Схемы водопонижающих скважин следующие:

- совершенные в безнапорном водоносном горизонте;
- несовершенные;
- совершенные в напорном водоносном горизонте;
- комбинированные;
- коллекторные.

99. Фильтр может быть:

- дырчатый;
- проволочный;
- сетчатый;
- каркасно-стержневой;
- песчано-гравийный.

100. Подземные дренажные устройства для осушения карьеров включают:

- подземные горные выработки (вертикальные вентиляционно-водоотливные стволы, околоствольные горизонтальные выработки для размещения водосборников и насосных установок, дренажные штреки);

- забивные фильтры;

- восстающие скважины (для дренирования водоносных горизонтов выше дренажных штреков);

- разгрузочные (для уменьшения напоров вод ниже подошв дренажных штреков) скважины;

- водопонижающие колодцы (для понижения уровня безнапорных подземных вод).

101. Для повышения дебита дренажных устройств применяются методы:

- технологические;
- физико-механические;
- химические;
- гидродинамические;

- микробиологические.

102. Физико-механические методы включают:

- свабивание (сваб – поршень или вантуз);
- торпедирование (прострел скважин) с помощью ВВ или специальных бронебойных снарядов для образования новых трещин в породе;
- гидравлический разрыв пласта для закачки в скважину жидкости под высоким давлением и расширения трещин в породе;
- электроосмотическое осушение (движении воды к отрицательному электроду) при создании постоянного электрического поля между дренажной скважиной (катод) и специальной трубкой, закладываемой в массив горных пород;
- электрохимическое осушение массива пород.

103. Гидродинамические методы интенсификации водоотбора включают:

- вакуумирование дренажных устройств;
- нагнетание воздуха в дренируемые пласты;
- обработка фильтров и прифильтровых зон скважин соляной кислотой с добавками фтористо-водородной или плавиковой кислоты; фторида-бифторида аммония;
- обработка фильтров и прифильтровых зон скважин соляной кислотой с добавками фторида-бифторида аммония;
- гидравлический разрыв пласта для закачки в скважину жидкости под высоким давлением и расширения трещин в породе.

103. Основные недостатки дренажа:

- откачка подземных вод вызывает изменение условий их питания, что приводит к формированию депрессионных воронок на больших площадях;
- нарушается режим рек, озёр, водохранилищ;
- осушаются колодцы и мелкие водозаборы питьевых вод;
- снижается производительность крупных водозаборов;
- ухудшается качество подземных вод.

104. Барраж представляет собой:

- систему противофильтрационных завес, располагаемую в водоносных горизонтах на пути движения подземных вод к защищенному объекту;
- наличие в основании перекрываемых водоносных горизонтов водонепроницаемых связных (глинистых) пород;
- подземные конструкции ленточного профиля, сооружаемые путём проходки вертикальной траншей или щели с последующим заполнением её водонепроницаемым материалом;
- непрерывная проходка траншей с помощью специальных траншекопателей с рабочим органом скребкового или врубифрезерного типа;
- конструкция, сооружаемая с помощью буровых станков вращательного и ударного бурения, а также способом забивки или вибропогружения шпунта с последующим его извлечением.

105. Гидрогеологические расчёты защиты карьеров от подземных вод предполагают:

- определение общего притока вод к карьеру в периоды строительства и эксплуатации в различные моменты времени;
- обоснование необходимости дренажных или барражных работ (установление предела осушения);
- обоснование типа и количества дренажных (барражных) устройств, расположения их в плане и разрезе, а также режима их работы во времени, производительности, общей продолжительности работы;
- определение величин снижения уровней (напоров) подземных вод в зонах действия водозаборных и барражных устройств;
- прогнозирование влияния водозащитных мероприятий на режим подземных вод и их качество в пределах месторождений и прилегающих к ним территорий.

106. Основные расчётные параметры для каждого водоносного горизонта:

- мощность, напор или глубина потока подземных вод;
- коэффициенты фильтрации, уровень проводности или пьезо-проводности;
- расстояние от областей питания и стока;

- заданные понижения уровней или напоров подземных вод и величины «проскока» воды к откосам карьера;

- заданное время, в течение которого должен быть достигнут необходимый эффект дренажа.

107. Гидрогеологические расчёты дренажа производятся в следующем порядке:

- составляется типовая расчётная схема или строится сетка движения подземных вод с выделением характерных лент тока;

- определяются основные расчётные параметры для каждого водоносного горизонта;

- рассчитывается общий приток воды к карьереу или к отдельным участкам борта и изменение его во времени;

- оценивается влияние притока воды на условия ведения горных работ и устойчивость откосов; расчёт заканчивается определением пропускной способности открытых прибортовых канав или параметров горизонтального прибортового дренажа;

- намечается несколько возможных вариантов дренажных систем, каждый из которых рассчитывается для нескольких этапов работы карьера.

108. Расчёты барражных завес заключаются в установлении следующих показателей:

- притока воды, поступающего через завесу к определённым участкам борта карьера и в карьер;

- положения уровня подземных вод с внешней стороны завесы;

- положения уровня подземных вод с внутренней стороны завесы;

- положения уровня подземных вод с внешней и внутренней стороны завесы;

- толщины завесы при заданном коэффициенте фильтрации с учётом устойчивости бортов карьера или фильтрационных свойств материала завесы при заданной её толщине.

109. Подготовка поверхности основания отвалов состоит:

- в удалении слабого слоя перед началом отсыпки отвала;

- в необходимости регулирования интенсивности отсыпки (по площади и по высоте) отвала;

- в целесообразности размещения в предотвале хорошо фильтрующего воду материала;

- в проведении передовой периодически устраиваемой дренажной траншеи по периметру отвала, заполненной дренирующим материалом и имеющей уклон для стока не менее 2%;

- во взрывании основания отвала, так как кроме возрастания суммы удерживающих сил за счёт роста коэффициента внутреннего трения, при взрывании в основании отвала создается слой хорошо дренирующих пород, способствующих осушению пород отвала.

110. Влияние технологии отсыпки отвалов на их устойчивость определяется:

- скоростью отсыпки отвальной заходки по высоте;
- скоростью отсыпки отвальной заходки по фронту;
- скоростью отсыпки отвальной заходки как по высоте, так и по фронту;

- порядком отсыпки пород, различных по своим физическим свойствам;

- размерами отвальной заходки и призабойной зоны.

111. Рассеивание порового давления обеспечивает устойчивость отвала за счет:

- снижения скорости отсыпки отвала;
- снижения производительности вскрышного комплекса при определённой площади отвала;

- увеличения площади отвальных заходов во внешних отвалах;
- отсыпки породы в предотвал небольшой высоты (4–6 м);
- формирования предотвала из хорошо фильтрующих воду пород.

112. Основными задачами геомеханического контроля являются:

- установление положения депрессионных кривых в обводнённых массивах на различных этапах разработки карьеров;

- регистрация деформаций бортов карьеров и отвалов с помощью наземных инструментальных наблюдений и аэрофотограмметрии;

- определение напряжений в массиве и характера их распределения между минеральным скелетом и поровой водой в водонасыщенных горных породах;

- систематическое определение прочностных, деформационных и водно-физических характеристик горных пород в массиве и установление текущих значений коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров и отвалов;

- определение скорости смещения пород в откосах по результатам маркшейдерской съёмки её значений с критическими, устанавливаемыми с использованием аналитических зависимостей.

113. К основным задачам геомеханического контроля отвальных массивов относятся следующие:

- установление соответствия реальных условий отвалообразования проектным;

- определение свойств пород отвалов и их основания;

- сравнение фактических расчётных показателей свойств пород с проектными и необходимые корректировки проектных решений;

- оценка устойчивости отвалов в текущий момент времени и на перспективу;

- контроль за выполнением проектных решений по обеспечению устойчивости и при необходимости разработка дополнительных мероприятий.

114. Виды контроля за состоянием отвалов открытых горных работ следующие:

- инженерно-геологический;

- гидрогеологический;

- маркшейдерский;

- гидрохимический;

- технологический.

115. Инженерно-геологический контроль предусматривает:

- определение состава и физико-механических свойств пород обнажения карьера, в основаниях и в теле отвалов;

- определение наличия поверхностей ослабления и их пространственного положения;

- количественная оценка влияния фракционирования пород на устойчивость откосов и оценка с помощью расчётов устойчивости откосов отвалов;

- документирование случаев нарушений устойчивости, выявление причин деформаций;

- разработка мероприятий по ликвидации нарушений устойчивости откосов и ликвидации последствий.

116. В состав гидрогеологического контроля входят:

- определение положения депрессионной поверхности в теле отвалов;

- контроль за фильтрацией воды из отвалов и их основания;

- определение изменения избыточного порового давления во времени;

- контроль за работой дренажных устройств;

- определение фильтрационных свойств пород отвалов, прогноз консолидации пород отвалов и оценка влияния отвала на режим подземных вод района карьера.

117. Маркшейдерский контроль включает:

- систематические наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями отвалов по реперам наблюдательных станций;

- систематические наблюдения за горизонтальными смещениями отвалов по реперам наблюдательных станций;

- систематические наблюдения за вертикальными смещениями отвалов по реперам наблюдательных станций;

- расчёт скорости деформирования оползающих блоков отвалов;

- расчёт скорости деформирования, размеров и объёма оползающих блоков отвалов.

118. Технологический контроль заключается в:

- определении соотношения и размещении в отвале горных пород по различным их свойствам;

- соблюдении технологии возведения отвалов (длины отвальных участков, высоты ярусов, их уклонов, интенсивности отсыпки) и образованием обусловленных ею поверхностей ослабления;

- определении соответствия проектных решений действительным параметрам отвалов;
- оценке целесообразности изменения схемы отвалообразования в связи с влиянием их на устойчивость откосов отвалов и их ярусов;
- оценке целесообразности замены отвального оборудования в связи с влиянием их на устойчивость откосов отвалов и их ярусов.

119. При открытой разработке месторождений полезных ископаемых решается несколько основных задач УСМГП:

- добыча полезных ископаемых с минимально необходимыми затратами в каждый текущий период времени;
- охрана недр, предусматривающая возможно более полное извлечение требуемого сырья;
- охрана природы и геологической среды, включающая рациональное использование плодородных земель, в том числе сокращение земельных отводов под горные выработки и отвалы;
- охрана природы и геологической среды, включающая рациональное использование подземных и поверхностных вод и защиту их от истощения и загрязнения, защиту территорий от подтоплений, осадки пород при их осушении;
- охрана природы и геологической среды, включающая защиту территорий от оврагообразования и эрозии почв.

120. К наиболее важным факторам роста экономической эффективности УСМГП относятся:

- стабильность и ритмичность добычных, вскрышных и отвальных работ на оползневых участках;
- сокращение простоев горнотранспортного оборудования и непроизводительных расходов на ликвидацию последствий нарушения откосов;
- полное использование горных машин и механизмов для основного технологического процесса;
- снижение трудоёмкости способов управления состоянием откосов;
- повышение качества управления устойчивостью откосов и в целом организации технологического процесса в карьере и снижение капитальных затрат.

121. Первоочередными задачами УСМГП являются:

- натурные масштабные промышленные эксперименты по изучению высоких напряжений в верхней части земной коры, вмещающей карьеры;

- изучение условий и зависимостей проявлений разрушения бортов карьеров и отвалов;

- обоснование выбора устойчивых и безопасных конструкций бортов, способов снижения напряжений с целью уменьшения интенсивности проявления горного давления в карьерах;

- необходимость прогнозирования скрытых стадий деформаций горных пород на основе кинетики процесса зарождения дефектов в массиве, а также масштабирования разрушения и изменения механических свойств массива;

- изучение условий и зависимостей направленного изменения состояния массива для обоснованного регулирования формой, параметрами, продолжительностью эксплуатации обнажения в разных состояниях откосов (упрочнении, разупрочнении) в процессе горных работ.

122. Локализация развития оползней заключается в:

- устройстве контрфорсов;

- пригрузке откосов породой;

- подготовке основания отвала;

- оставление в передней части оползня целика пород или полезного ископаемого;

- пригрузке наклонной поверхности фильтрующегося откоса слоем дробленой скальной породы.

123. Меры искусственного укрепления прибортового массива горных пород следующие:

- механическое укрепление железобетонными сваями, шпонами, анкерами, гибкими тросовыми тяжами;

- физико-химическое укрепление с применением цементации, нагнетанием укрепляющих растворов из полимерных материалов, смол, с применением электрохимической и термической обработки;

- изолирующие и защитные покрытия набрызг-бетоном по металлической сетке, смолами, с использованием агромелиоративных способов;

- агрохимическое укрепление;
- микробиологическое укрепление.

124. Способы борьбы с осыпями:

- заоткоска уступов созданием оптимального для данных пород наклона откоса;
- предварительное щелеобразование на предельном контуре уступа наклонными скважинами;
- создание широких берм механизированной очистки для избежания образования за счёт осыпей сплошных откосов на всю высоту борта;
- подрезка наклоненных в сторону откоса слоёв пород для обеспечения проектного угла наклона откоса и опережающее укрепление пород уступа железобетонными сваями;
- создание искусственной бровки или сооружение специальных укреплений для восстановления берм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beniawski Z. T. Engineering Rock Mass Classification. – New York: Wiley, 1989. – 251 p.
2. Hoek E, Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength // Int J. Rock Mech Min Sci. – 1997. – 34(8). – P. 132.
3. Jacubec J., Laubscher D. H. The MRMR Rock Mass Rating Classification System in Mining Practice. – Brisbane, Australia, 2000.
4. Laubscher D. H. A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock mass in Mine Design // J Sth Afr Inst Min Met. – 1990. – Vol. 257. – P. 73.
5. Laubscher D. H., Jacubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. – Foundations for Design, 2000.
6. Айнбиндер, И. И. Развитие интенсивных методов добычи руд на больших глубинах. – Москва: ИПКОН АН СССР, 1990. – 233 с.
7. Астафьев, Ю. П. Управление состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / Ю. П. Астафьев, Р. В. Попов, Ю. М. Николашин. – Киев–Донецк: Вища школа, 1986. – 271 с.
8. Бахаева, С. П. Расчёт устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учеб. пособие / С. П. Бахаева; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2011. – 158 с.
9. Белицкий, А. А. Закономерность тектонического строения Кузнецкого бассейна / А. А. Белицкий, Э. М. Пах // Основные идеи М. А. Усова в геологии. – Москва: Наука, 1960. – С. 459–492.
10. Болдырев, П. И. Физико-механические свойства песчаников и алевролитов Прокопьевско-Киселёвского района Кузбасса / П. И. Болдырев, М. И. Аксиненко // Исследования по вопросам горного дела в Кузбассе. – Москва: Госгортехиздат. – 1961. – № 9. – С. 42–48.
11. Викторов, С. Д. Сдвигение и разрушение горных пород / С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров. – Москва: Наука, 2005. – 38 с.
12. Воронин, Ю. А. Теоретические основы описания и классифицирования геологических тел: автореф. ... докт. физ.-мат. наук. – Новосибирск, 1969. – 25 с.

13. Воронцов, В. В. Вопросы эпигенеза вмещающих пород угленосной толщи Кузнецкого и Горловского бассейнов / В. В. Воронцов, С. А. Топорец // Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. – Москва: Недра, 1968. – С. 252–284.

14. Гальперин, А. М. Геомеханика открытых горных работ / А. М. Гальперин. – Москва: Горная книга, 2012. – 473 с.

15. Геология месторождения угля и горючих сланцев СССР. Т. 7 (Кузнецкий, Горловский и другие угольные месторождения Западной Сибири). – Москва: Недра, 1969. – 912 с.

16. Гречухин, В. В. Геофизические методы исследования угольных скважин / В. В. Гречухин. – Изд. 2-е. – Москва: Недра, 1970. – 309 с.

17. Иванов, Н. В. Кузнецкий бассейн. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / Н. В. Иванов, Э. М. Пах. – Москва: Недра, 1975. – С. 90–98.

18. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твёрдых полезных ископаемых (методическое руководство) / В. Д. Бабушкин, Д. И. Пересунько, С. Н. Прохоров, Г. Г. Скворцов. – Москва: Недра, 1969. – 408 с.

19. Инженерно-геологические условия Моховского месторождения / В. Е. Ольховатенко, А. Л. Яценко, А. Т. Яценко, А. А. Краевский // Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1973. – С. 39–72.

20. Каплунов, Д. Р. Комбинированная геотехнология / Д. Р. Каплунов и др. – Москва: Руда и металлы, 2003. – 205 с.

21. Прочность и деформируемость горных пород / Ю. М. Карташов, Б. В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеева. – Москва: Недра, 1979. – 269 с.

22. Коломенский, Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований / Н. В. Коломенский. – Москва: Недра, 1968. – 211 с.

23. Комаров, И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях / И. С. Комаров. – Москва: Недра, 1972. – 203 с.

24. Кошелев К. В. Охрана и ремонт горных выработок / К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков; под ред. К. В. Кошелева. – Москва: Недра, 1990. – 218 с.

25. Кузьмин, Е. В. Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения / Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова // ГИАБ. – № 4. – 2004. – С. 201–202.

26. Литвин, О. И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 119 с.

27. Литвинский, Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Алчевск, 2008. – 129 с.

28. Логвиненко, Н. В. Постдиагенетические изменения осадочных пород / Н. В. Логвиненко. – Москва: Наука, 1968. – 92 с.

29. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология (инженерная петрология) / В. Д. Ломтадзе. – Москва: Недра, 1984. – 511 с.

30. Макаров А. Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. – Москва: Горная книга, 2006.

31. Малинин, С. И. Вторичные изменения пород, вмещающих ископаемые угли / С. И. Малинин. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – 132 с.

32. Марков, С. О. Структурное моделирование насыпных отвальных массивов разрезов Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 127 с.

33. Мартьянов, В. Л. Исследование организации технологических процессов при годовом планировании горных работ на карьерах Центрального Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1979. – 180 с.

34. Машанов, А. Ж. Основы геомеханики скально-трещиноватых пород / А. Ж. Машанов, А. А. Машанов. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 192 с.

35. Меньшиков, А. Я. Особенности формирования физико-механических свойств углевмещающих пород Кузнецкого бассейна (на примере Приколывань-Томской и Присалаирской складчатых зон): автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 1973. – 26 с.

36. Мохначев М. П. Динамическая прочность горных пород / М. П. Мохначев, В. В. Присташ. – Москва: Наука, 1982. – 141 с.

37. Мухин, И. С. Построение предохранительных контуров равнодействующих откосов / И. С. Мухин, А. И. Срагович. – Москва: Изд-во АН СССР, 1954. – 98 с.

38. Низаметдинов, Ф. К. Маркшейдерский мониторинг при- бортовых массивов глубоких карьеров. Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела. – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – С. 148–154.

39. Нурпеисова, М. Б. Геомеханика рудных месторождений Казахстана. – Алматы: КазНТУ, 2012. – 324 с.

40. Нурпеисова, М. Б. Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов / М. Б. Нурпеисова, Х. М. Касымканова. – Алматы: КазНТУ, 2006. – 131 с.

41. Общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв / Е. М. Сергеев, В. А. Приклонский, П. П. Панюков, Л. Д. Белый // Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам и методам их изучения. – Т. 2. – Москва, 1957. – С. 200–225.

42. Ольховатенко, В. Е. Генетические основы изучения природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса / В. Е. Ольховатенко // Материалы юбилейной научной конференции «Развитие научных идей академика Е. М. Сергеева на современном этапе». Годичная сессия Научного совета РАН по проблемам гео-экологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20–21 марта 2014 г.). – Москва: РУДН, 2014. – Вып. 16. – С. 87–92.

43. Паспорта прочности горных пород и методы их определе- ния / М. М. Протоdjяконов, М. Н. Койфман [и др.]. – Москва: Наука, 1964. – 76 с.

44. Певзнер, М. Е. Деформация горных пород на карьерах. – Москва: Недра, 1992. – 186 с.

45. Певзнер, М. Е. Геомеханика / М. Е. Певзнер, М. А. Иофис, В. Н. Попов. – Москва: МГГУ, 2008. – 438 с.

46. Попов, В. Н. Геодезия и маркшейдерия / В. Н. Попов, В. А. Букринский. – Москва: МГГУ, 2004. – С. 208–210.

47. Попов, В. Н. Об изменении физико-механических свойств горных пород с глубиной залегания / В. Н. Попов, О. Б. Сильченко, М. С. Парамонова // ГИАБ. – № 5. – 2011. – С. 108–117.

48. Попов, И. И. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов / И. И. Попов, Р. П. Окатов, Ф. К. Низаметдинов. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 255 с.

49. Проскуряков, Н. М. Управление состоянием массива гор- ных пород: учеб. для вузов. – Москва: Недра, 1991. – 386 с.

50. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород. – Москва: Недра: 1990. – 225 с.
51. Ржевский, В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – Москва: Кн. дом «Либроком», 2013. – 552 с.
52. Рогов, Г. М. Гидрогеология Кузнецкого бассейна / Г. М. Рогов, Л. А. Соломко. – Москва: Геология СССР. – Т. 7, 1969.
53. Руппейнейт, К. В. Деформируемость массива в расчётах устойчивости горных пород. – Москва: Недра, 1991. – 104 с.
54. Рухин, Л. Б. Основы литологии (Учение об осадочных породах) / Л. Б. Рухин. – Москва: Недра, 1969. – 703 с.
55. Савков, Л. В. Определение устойчивых откосов в скальных трещиноватых породах / Л. В. Савков. – Москва: Горное дело. – 1967. – № 11. – С. 37–43.
56. Сенков, А. М. Метод последовательных построений при расчёте устойчивости земляных откосов карьеров / А. М. Сенков // Исследование по вопросам горного и маркшейдерского дела. – Москва: Углетехиздат, 1957.
57. Скворцов, Г. Г. Инженерно-геологическое изучение глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых при разведке / Г. Г. Скворцов, В. В. Фромм. – Москва: Недра, 1970. – 98 с.
58. Страхов, Н. М. Основы теории литогенеза / Н. М. Страхов. – Т. I–III. – Москва, 1962.
59. Турчанинов, И. А. Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Ленинград: Недра, 1989. – 488 с.
60. Указания по защите рудника от затопления и охране обрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент). – Санкт-Петербург, 2008. – 41 с.
61. Указания по охране зданий и окружающей среды от вредного влияния горных разработок месторождения «Акбакай». – Алматы: КазНТУ, 1994. – 35 с.
62. Файнер, Ю. Б. История развития Кузнецкой котловины в мезозойскую и кайнозойскую эру: автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск, 1967.
63. Физико-механические свойства горных пород Прокопьевско-Киселёвского района и их связь с геологическими факторами /

М. И. Аксененко [и др.] // Исследование физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением. – Москва: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 68.

64. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Москва: Недра, 1965. – 387 с.

65. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов угольных карьеров. – Москва: Углетехиздат, 1956. – 230 с.

66. Ярг, Л. А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании / Л. А. Ярг. – Москва: Недра, 1974. – 196 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	12
1.1. Общие вопросы управления состоянием горных пород	12
1.2. Основная терминология дисциплины.....	18
1.3. Механические свойства массива горных пород.....	20
1.3.1. Структурно-прочностные свойства пород.....	20
1.3.2. Этапы изучения механических свойств	21
1.3.3. Факторы, влияющие на механические свойства массива горных пород	24
1.3.4. Трещиноватость горных пород в массиве.....	30
1.3.5. Влияние обводнённости на прочностные свойства горных пород.....	33
1.4. Основные способы управления устойчивостью открытых горных выработок	36
1.4.1. Укрепление откосов.....	39
1.4.2. Классификация способов укрепления откосов.....	40
1.4.3. Механические способы укрепления откосов.....	41
1.4.4. Упрочнение пород	48
1.4.5. Изоляция пород	49
1.4.6. Комбинированные способы укрепления откосов	51
1.5. Маневрирование горными работами	53
1.6. Снижение влияния вредного действия взрывов на формирование предельного контура карьера	55
1.7. Условия применения инженерных методов управления состоянием массива горных пород	65

1.8. Общие сведения об управлении состоянием карьерных откосов	70
1.9. Укрепление откосов железобетонными сваями, шпонами, штангами и гибкими тяжами	77
1.10. Укрепление откосов с помощью сплошных противооползневых сооружений.....	85
1.11. Упрочнение массива горных пород.....	94
1.12. Комбинированные способы укрепления откосов и техника безопасности.....	106
1.13. Мероприятия по ликвидации возникающих деформаций откосов	109
1.14. Поэтапное управление состоянием откосов на глубоких карьерах.....	115
1.15. Управляемое обрушение и оползнеобразование вскрышных уступов	119
2. УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ОБВОДНЁННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД	125
2.1. Вода в горных породах.....	125
2.2. Основные представления о движении вод в горных породах	127
2.4. Дренажные системы	133
2.5. Дренажные устройства и технические средства дренажа	139
2.6. Барражные завесы	157
2.7. Гидрогеологические расчёты при защите карьеров от подземных вод	163
3. НАПРАВЛЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТВАЛЬНЫХ МАССИВОВ.....	165
3.1. Подготовка поверхности основания отвала.....	165
3.2. Влияние технологии отсыпки отвалов на их устойчивость...	167

4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НА КАРЬЕРАХ	175
4.1. Цель, принципы и задачи геомеханического контроля	175
4.2. Геомеханический контроль бортовых массивов пород	177
4.3. Геомеханический контроль отвальных массивов	193
5. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД	196
5.1. Основные задачи управления состоянием массива горных пород	196
5.1.1. Защита плодородных земель	197
5.1.2. Защита вод от истощения и загрязнения	197
5.1.3. Осадка пород при осушении месторождений	199
полезных ископаемых	199
5.1.4. Оптимизация системы дренажа	199
5.1.5. Затраты, связанные с защитой карьеров от подземных вод	200
5.1.6. Экономическая оценка управления состоянием откосов	201
5.2. Основные направления дальнейшего изучения управления состоянием массива горных пород	204
5.3. Наиболее распространенные в практике меры охраны откосов	205
ТЕСТЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ	212
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	250

Виктор Леонидович Мартьянов
Олег Иванович Литвин
Сергей Олегович Марков

**ГЕОМЕХАНИКА.
УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 09.12.2019. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «TimesNewRoman». Уч.-изд. л. 16,1
Тираж 350 экз. Заказ.....
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а