

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. И. Клочко, Н. Н. Малышева**

## **ОСУШЕНИЕ И СТОЙКОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Учебное пособие  
для обучающихся образовательных учреждений  
высшего профессионального образования

Донецк  
2022

УДК 622.27  
ББК 33.15  
К50

Рекомендовано Ученым советом  
ГОУВПО «ДОННТУ»  
в качестве учебного пособия для обучающихся  
образовательных учреждений высшего профессионального образования  
(протокол №5 от 09.09.2022 г.)

**Рецензенты:**

*Лабинский Константин Николаевич* – доктор технических наук, доцент кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханика ГОУВПО «ДОННТУ»;

*Лобков Николай Николаевич* – доцент, доктор технических наук, заведующий отделом управления геомеханическими и технологическими процессами РАНИМИ.

**Авторы:**

*Клочко Игорь Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУВПО «ДОННТУ»;

*Мальшева Наталья Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУВПО «ДОННТУ».

К50 **Клочко, И. И.** Осушение и стойкость горных выработок: учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / И. И. Клочко, Н. Н. Мальшева ; ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк, 2022. – 126 с. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

В учебном пособии рассмотрены основные термины и определения, связанные с устойчивостью и осушением горных выработок на карьерах, а также перечислены факторы, влияющие на их устойчивость, приведены методы расчета на устойчивость и обрушение бортов карьеров, кроме того показаны методы геомеханического контроля и способы сохранения их устойчивости.

Данное учебное пособие разработано в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и основной образовательной программы по специальности 21.05.04 – «Горное дело» (специализация «Открытые горные работы») и рабочей программы по дисциплине «Осушение и стойкость горных выработок».

УДК 622.27  
ББК 33.15

© Клочко И. И., 2022  
© Мальшева Н. Н., 2022  
© ГОУВПО «ДОННТУ», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	3
Введение .....	4
1 Основные термины и определения.....	5
2 Факторы, влияющие на состояние массива на карьере.....	21
3 Нарушения устойчивости горнотехнических сооружений на карьерах.....	26
3.1 Устойчивость уступов и бортов карьеров .....	26
3.1.1 Основные положения методов расчета устойчивых откосов и бортов карьеров .....	26
3.1.2 Методы расчета откосов, основанные на гипотезе плоской поверхности сдвига .....	32
3.1.3 Методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности сдвига .....	34
3.1.4 Численные модели при оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов .....	38
3.2 Расчет бортов карьеров на обрушения.....	42
4 Методы сохранения устойчивости открытых поверхностей на карьерах.....	53
4.1 Сохранение устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при ведении буровзрывных работ .....	53
4.2 Инженерные методы повышения устойчивости горных выработок на карьерах .....	59
4.2.1 Механические способы укрепления откосов .....	61
4.2.2 Искусственное упрочнение массива .....	66
4.2.3 Смолоинъекционное укрепление породных массивов.....	68
4.2.4 Технологическая заоткоска уступов .....	73
5 Геомеханический контроль на карьерах.....	76
5.1 Опыт применения методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах .....	76
5.2 Геомониторинг состояния устойчивости карьерных откосов .....	82
5.3 Фотодокументация систем трещин в породном массиве.....	85
5.4 Геодезический мониторинг карьера методом спутникового позиционирования .....	89
5.5 Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями ..	90
5.6 Совершенствование системы мониторинга глубоких карьеров.....	98
6 Осушение карьеров .....	103
6.1 Анализ существующих методов и технологий осушения карьеров горно-обогатительных комбинатов .....	103
6.2 Передовой опыт горно-обогатительных комбинатов России по осушению карьеров ..	112
6.3 Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров ....	120
Список литературы .....	123

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом особое значение приобретает проблема устойчивости породных откосов – уступов и бортов карьеров. Положение откоса характеризуется углом наклона его поверхности к горизонтальной плоскости. Если в проекте строительства карьера заложены завышенные значения углов наклона откосов, это может привести к нарушению их устойчивости и вызвать внезапные разрушения уступов или бортов карьеров. При заниженных же значениях углов наклона породных откосов и большой глубине карьера возникает проблема экономической целесообразности разработки месторождения открытым способом. Так, например, на карьерах глубиной до 300 м уменьшение результирующего угла наклона борта на 3-4° приводит к увеличению объёма вскрыши до 10–11 млн. м<sup>3</sup> на 1 км фронта работ. Основная задача геомеханики применительно к устойчивости уступов и бортов карьеров состоит в определении таких их параметров, при которых обеспечивается безопасность горных работ и достигается высокая экономичность производства.

Осушение карьерных полей и карьеров является важным технологическим процессом, что обеспечивает комфортные условия разработки месторождений полезных ископаемых. Кроме того, в определенных условиях невозможно производить горные работы при наличии обводненных пород, что требует осушения, как всего месторождения, так и отдельных его участков, разрабатываемых карьером.

## 1 ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**АКВАМЕТРИЯ** — методы количественного определения воды в неорганических и органических веществах (в том числе и в ископаемых углях). Простейшим методом А. является высушивание вещества в сушильном шкафу до постоянной массы [1].

**АНИЗОТРОПИЯ ФИЛЬТРАЦИОННАЯ** — свойство массива горных пород, заключающееся в неодинаковой их водопроницаемости в различных направлениях [1].

**АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ** — подземные пластовые воды, находящиеся под давлением (напором) и циркулирующие по водопроницаемым слоям осадочных пород, ограниченным сверху и снизу водонепроницаемыми породами (глинами) [1].

**АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН** — бассейн подземных напорных вод, приуроченный к тектонической структуре синклиналичного строения. А. б. занимает значительную площадь [1].

**БАЗИС ДРЕНАЖА** — место разгрузки подземного потока воды. Б. д. может быть естественная дрена - море, река, понижение в рельефе, смежный водоносный горизонт или искусственная горная выработка, водопонижающая установка. Подземный поток может иметь несколько Б. д., из которых главным называется базис, где происходит разгрузка основного потока воды. Второстепенными Б. д. являются естественные или искусственные дрены, где происходит частичная разгрузка подземного потока [1].

**БАРРАЖ** — подземная водонепроницаемая завеса, сооружаемая для защиты горных выработок от подземных вод [1].

**БЕЗНАПОРНЫЕ ВОДЫ** — воды, имеющие свободную поверхность. Б. в. находятся или в первом от поверхности водопроницаемом слое, или насыщают водопроницаемый слой, заключенный между водонепроницаемыми [1].

**БЕЗНАПОРНЫЙ РЕЖИМ** — режим движения подземных вод, характеризующихся наличием свободной поверхности [1].

**БЕЗОПАСНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ** — деформации поверхности, не вызывающие повреждения сооружений и не нарушающие нормальную их эксплуатацию. Б. д. п. для наиболее ответственных сооружений в настоящее время принято считать деформации, не превышающие следующие так называемые критические значения: наклон мульды сдвигения  $4 \cdot 10^{-3}$ , кривизна (разность наклонов)  $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$  и горизонтальное растяжение  $2 \cdot 10^{-3}$  [1].

**ВЕРХОВОДКА** — подземные воды, залегающие близ поверхности (выше горизонта грунтовых вод), подвержены резким колебаниям, легко загрязняются. В. имеет локальное распространение и располагается на линзообразно залегающих водонепроницаемых породах в проницаемой среде [1].

**ВИСЯЧИЕ ВОДЫ** — подземные воды в водоносной породе, ниже которой находятся породы, не насыщенные водой и содержащие в своих порах и пустотах воздух [1].

**ВЛАГОЕМКОСТЬ** — свойство горной породы поглощать и удерживать воду. *В.* определяют по количеству оставшейся воды после стекания ее избытка с образца, который предварительно был погружен в воду на определенное время; выражают в процентах, отнесенных к объему или массе. По *В.* породы делятся на влагоемкие — глины, торф и др.; слабовлагоемкие — пески, мергели, мел и др.; невлагоемкие — галечник, гравий, каменные породы [1].

**ВЛАЖНОСТЬ** — *В.* горной породы — степень насыщенности её водой. *В.* определяют по уменьшению массы образца при высушивании в стандартных условиях или путем отгонки воды по Дину и Старку; выражают в процентах по массе  $\omega$ . [1].

**ВОДНЫЙ БАЛАНС** — соотношение объемов прихода и расхода воды на определенной части поверхности. Составными частями *В. б.* являются атмосферные осадки, испарение и сток воды (поверхностный и подземный). *В. б.* используется при определении ожидаемого притока воды в горные выработки [1].

**ВОДОНАСЫЩЕНИЕ** — заполнение всех пар, трещин и других пустот в образце породы (из которого предварительно удален под вакуумом воздух) водой, нагнетаемой под давлением до 15 МПа. Количественно *В.* выражается отношением поглощенной воды к массе сухой породы [1].

**ВОДОНОСНЫЕ ПОРОДЫ** — горные породы, в которых поры, трещины и др. пустоты заполнены гравитационными водами [1].

**ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ** — водопроницаемый слой горной породы, содержащий воду и залегающий над водоупорным пластом. Первый от поверхности *В. г.* называется горизонтом грунтовых вод, ниже его может располагаться несколько *В. г.*, заключенных между водоупорными пластами и различающихся запасами воды, химическим составом её, напором, формой залегания. Если вода, заключённая между двумя водоупорными пластами, находится под напором, то она называется напорной. Несколько *В. г.* образуют водоносный комплекс. Наиболее водообильный горизонт в массиве горных пород, отвечающий практическим задачам (осушение, водоснабжение и т. д.), принято называть главным (основным) *В. г.* Последний может оказывать существенное влияние на развитие физико-геологических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых (оползни, суффозии, внезапные прорывы воды и пльвунов и др.) [1].

**ВОДООБИЛЬНОСТЬ ПОРОД** — количество воды, отдаваемое породой. В отличие от водоотдачи пород определяется еще дополнительным количеством воды, поступающим за счёт ресурсов подземных вод данного водоносного горизонта или комплекса. По степени водообильности породы делятся на: сильноводообильные с дебитом скважин более 10 л/с, водообильные — 1–10 л/с, слабоводообильные — 0,1–1,0 л/с, сильновлагоёмкие — 0,01–0,1 л/с и водоупорные [1].

**ВОДООТВОД** — сооружение, предназначенное для транспортирования воды от горных выработок за пределы зоны влияния шахтного водоотлива. Устраивается в виде искусственных русел: открытых (лотки, каналы) или закрытых (трубы, тоннели) [1].

**ВОДООТДАЧА** — свойство горных пород, насыщенных водой, свободно отдавать гравитационную воду. Величина *В*. выражается процентным отношением объема свободно вытекающей из породы воды к объему породы (коэффициент *В*.) или количеством воды (в литрах), вытекающей из 1 м<sup>3</sup> породы (удельная *В*.). Количество воды, отданной намытым массивом с момента начала *В*. (в процентах от полной *В*.), называется относительной *В*. В тонкозернистых песках *В*. составляет 10–15 %, в мелкозернистых — 20–25 %, и крупнозернистых — 25–35 % [1].

**ВОДООТЛИВ** — удаление шахтных (рудничных, карьерных) вод из подземных и открытых горных выработок на поверхность. В систему *В*. входят устройства, преграждающие доступ поверхностным и подземным водам к выработкам, по регулированию стока шахтных вод и сбору их в центральные водосборники или водоотливные стволы, откуда вода подается на поверхность насосами [1].

**ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ** — способность горных пород впитывать воду при погружении в нее в обычных условиях, т. е. при давлении в 10 Па и температуре 20 °С. *В*. выражается процентным отношением массы поглощенной воды к массе сухой (высушенной при 105–110 °С) породы. Определяется взвешиванием породы высушенной, а затем погруженной в воду при обычных температуре и давлении [1].

**ВОДОПОНИЖЕНИЕ** — способ искусственного снижения свободной или пьезометрической поверхности подземных вод при проведении горных выработок, при сооружении котлованов и фундаментов в гидротехническом и гражданском строительстве [1].

**ВОДОПОНИЖАЮЩИЙ КОЛОДЕЦ** — вертикальная горная выработка, служащая для снижения напора в водоносном горизонте, залегающем ниже подошвы горных выработок. *В. к.* бывают двух видов: трубчатые и копаные. Трубчатые колодцы — неглубокие скважины (5–10 м) с конечным диаметром 121–168 мм, оборудованные водоприёмными фильтрами; копаные — размером 1,5 × 2,0 м, проходят на глубину 3–6 м. *В. к.* закладывают на пониженных участках горных выработок, откачка воды из них осуществляется обычно центробежными насосами [1].

**ВОДОПРИЕМНЫЙ КОЛОДЕЦ** — колодец, служащий для приёма и забора шахтных (рудничных) вод непосредственно из дренажных и водоотводных канав. Вода из *В. к.* насосами откачивается на поверхность [1].

**ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — способность породы пропускать через себя воду при некотором перепаде давления. Этой способностью обладают обломочные, зернистые, пористые и трещиноватые плотные породы. *В. г. п.* характеризуется коэффициентом фильтрации [1].

**ВОДОРАЗДЕЛ** — линия, разделяющая сток вод по двум противоположно направленным склонам. Различают *В.* поверхностных и подземных вод [1].

**ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ (водосборный бассейн)** — площадь, с которой стекает поверхностная или подземная вода к реке, каналу, в горные выработки. Различают *В. п.* наземную и подземную. Наземная — обуславливается рельефом местности и на плане определяется расположением горизонталей;

подземная — обуславливается горизонталями зеркала грунтовых вод, его гидроизогипсами, или напорных вод, его гидроизопьезами. Положение гидроизогипс или гидроизопьез зависит от места и интенсивности поступления вод в подземный поток и базиса дренажа. Размеры наземной и подземной В. п. неодинаковы, хотя они обычно близки друг к другу [1].

**ВОДОСБОРНИК** — горная выработка для сбора воды [1].

**ВОДОСБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ** — комплекс горных выработок, служащих для сбора воды поверхностного и подземного стока и отвода дренажных вод. В. с. устраивают в виде нагорных канав, колодцев, подземных водосборных галерей, дрен и т. д. [1].

**ВОДОСБРОСНЫЙ КОЛОДЕЦ** — устройство на гидроотвалах для сброса осветленной воды за его пределами. В. к. обычно выполняется прямоугольного сечения одно и многосекционным. В основании колодец имеет водосбросную трубу, через которую вода отводится за пределы отвала. По мере повышения поверхности намыва стенки колодца наращиваются с таким расчётом, чтобы обеспечить слив только осветленной воды или, в крайнем случае, с содержанием мельчайших частиц грунта [1].

**ВОДОСЛИВ** — преграда (порог, плотина) в открытом потоке воды, через которую она переливается. В. мерный — В., употребляемый для измерения расхода воды в лотках, каналах, ручьях и небольших речках. Применяется в горной практике для измерения расхода воды в дренажных и водоотводных канавах. Представляет собой металлический лист с треугольным, прямоугольным или трапецеидальным вырезом [1].

**ВОДОСЛИВНАЯ ТРУБА** — труба, заделанная в изолирующую или водоустойчивую перемычку для стока воды, скапливающейся за перемычкой [1].

**ВОДОУПОРНЫЕ ПОРОДЫ** — породы, практически не пропускающие через себя воду с поверхности или из прилегающих водоносных пород. В. п., покрывающая водоносную породу, образует водоупорную кровлю, а подстилающая — водоупорное ложе [1].

**ВОРОНКА** — провал на поверхности небольших размеров, имеющий в горизонтальном сечении форму, близкую к окружности [1].

**ВСАС ЗАБИВНОЙ (дренажный)** — перфорированная всасывающая труба насоса с острым наконечником, внедряемая в рыхлую водоносную породу [1].

**ВЯЗКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — нарастание остаточной деформации породы, поведение которой при нагрузке аналогично поведению переохлажденных жидкостей [1].

**ВЯЗКОСТЬ** — свойство жидкостей, газов и твердых тел оказывать сопротивление при перемещении одной части относительно другой (внутреннее трение). В. имеет большое значение при определении свойств суспензии, от неё зависит эффективность обогащения полезных ископаемых в тяжелой суспензии; определяется с помощью капиллярных или ротационных вискозиметров, методом падающего шарика [1].

**ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД** — физико-механические свойства горных пород, рассматриваемые в механике горных по-



род. К ним относятся, в частности, обрушаемость и устойчивость горных пород [1].

**ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ** — способность вещества самопроизвольно поглощать водяные пары из воздуха; Г. складывается из адсорбции водяного пара и его капиллярной конденсации [1].

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ (ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УКЛОН)** — отношение разности напора в двух точках гидростатической поверхности к расстоянию между ними по горизонтали [1].

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ** — линия пересечения гидростатической поверхности с вертикальной плоскостью [1].

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАДИУС** — обобщенная гидравлическая характеристика поперечных размеров потока жидкости, выраженная отношением площади потока к смоченному периметру [1].

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА** — карта, на которой показаны проявления, признаки или свойства подземных вод или условия их залегания в горных породах, распространение водоносных пород, химическая характеристика воды и т. д. Г. к. должна содержать исходные данные для ориентировочного решения любых вопросов, связанных с гидрогеологией [1].

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ БАССЕЙНЫ** — крупные региональные тектонические структуры синклинального типа, содержащие водоносные горизонты с напорными и безнапорными водами. В каждом Г. б. различают области питания, распространения и дренирования или разгрузки. Иногда Г. б. состоят из нескольких более мелких бассейнов подземных вод, представляющих собой синклинальные структуры второго порядка и содержащие водоносные горизонты [1].

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОКНА** — небольшие участки на площади распространения водоносных пород, в которых водоупорная кровля или почва отсутствует, что приводит к взаимосвязи между водоносными горизонтами [1].

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ** — показатели водоносных горизонтов (мощность, глубина залегания, напор воды, коэффициент фильтрации, пьезопроводности, водоотдачи, а также химический состав и физические свойства воды), необходимые для расчетов водообильности пород, ожидаемых притоков воды в выработки и прогноза влияния воды на производство горных работ [1].

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ (ПРОФИЛЬ)** — разрез, на котором показаны водоносные породы, водные поверхности грунтовых и напорных вод, уровни воды в скважинах, колодцах и подобных выработках и другие гидрогеологические данные. Основой Г. р. является геологический разрез [1].

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТКА ДВИЖЕНИЯ** — графическое изображение семейства линий тока и линий равных уровней или напоров фильтрационного потока, которые в совокупности образуют сетку. Г. р. д. пользуются при производстве фильтрационных расчетов [1].

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ** — давление, которое оказывает фильтрующая вода под влиянием напора на грунтовой скелет в направлении своего движения [1].

**ГИДРОИЗОГИПСЫ** — линии на плане (карте), соединяющие точки одинаковых уровней безнапорных вод [1].

**ГИДРОИЗОПЛЕТЫ** — линии на вертикальном разрезе, соединяющие точки одинаковых уровней воды в выработках в разное время. Г. служат для выявления динамики грунтовых вод [1].

**ГИДРОИЗОПЬЕЗЫ** — линии на плане (карте), соединяющие точки одинаковых уровней напорных вод [1].

**ГИДРОИЗОТЕРМЫ** — линии на вертикальном разрезе, а также на карте, соединяющие точки с одинаковой температурой воды в водоносной породе [1].

**ГИДРОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ** — пункт для измерения высоты уровня, расхода воды и других характеристик водного режима водотока [1].

**ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ** — поверхность, соединяющая гидростатические уровни в отдельных точках [1].

**ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ** — уровень, на котором устанавливается подземная вода в горных выработках. Г. у. определяется в метрах от уровня моря (абс. отметки), поверхности, подошвы или кровли водоносного горизонта [1].

**ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ** — 1. Давление покоящейся жидкости в какой-либо точке, находящейся в этой жидкости [1].

**ГИДРОСТОЙКОСТЬ ПОРОД** — свойство горных пород противостоять разрушающему воздействию фильтрационного потока. Гидростойкими называются породы, не поддающиеся выщелачиванию, коррозии или суффозии под действием фильтрующихся через них вод [1].

**ГЛИНИЗАЦИЯ** — искусственное заполнение пустот и трещин в горных породах глиной (для закрытия водопритоков или для создания противотрафирующего экрана) [1].

**ГРАВИТАЦИОННАЯ ВОДА** — капиллярно-жидкая вода, заполняющая пустоты в горных породах, не испытывающая воздействия капиллярных, молекулярных и поверхностных сил, способная перемещаться под действием силы тяжести (грунтовая вода) или гидродинамического напора (напорная вода) [1].

**ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ** — подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водонепроницаемом слое. Г. в. имеют свободную водную поверхность; приурочены преимущественно к четвертичным отложениям [1].

**ДЕБИТ (ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, РАСХОД) ДРЕНАЖНЫХ ВЫРАБОТОК** — объем жидкости или газа, выдаваемый дренажной скважиной или колодцем в единицу времени. Д. д. в. зависит от размеров коллекторов воды и газа, водогазопроницаемости горных пород, мощности водоносных горизонтов и газоносных пород, запасов воды и газа (выражается в л/с, м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/сут) [1].

**ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД** — скорость движения подземных вод в порах или трещинах горной породы. Д. с. д. п. в. определяется отношением расхода фильтрационного потока к площади пор фильтрующей среды. Действительная (или физическая) скорость движения жидкости в пористой среде всегда больше скорости фильтрации [1].

**ДЕКОМПРЕССИЯ (НАБУХАНИЕ)** — увеличение объема и пористости первоначально нагруженного грунта при постепенной разгрузке. Д. — явление, обратное компрессии [1].

**ДЕПРЕССИОННАЯ КРИВАЯ** — линия пересечения вертикальной плоскости со свободной поверхностью подземного потока [1].

**ДЕПРЕССИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ** — пьезометрическая поверхность напорных или свободная поверхность безнапорных вод, снижающаяся к месту их выхода на поверхность, к месту перетекания в более глубокие водопроницаемые породы, к пункту откачки (скважина, колодец, ствол и др.). В последнем случае Д. п. имеет форму воронки и называется депрессионной воронкой [1].

**ДЕФОРМАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД** — изменение относительного положения частиц массива горных пород под действием сил. Д. г. п. подразделяются на упругие (упруго-вязкие), пластические (вязко-пластические) и разрывные. При упругих Д. г. п. изменяется форма тела, но как только воздействие внешних усилий прекращается, прежняя форма восстанавливается; при пластических — изменение формы тела происходит без разрывов, но в отличие от упругих деформаций пластические необратимы. Особо важное значение они приобретают с увеличением глубины разработки; разрывные — сопровождаются нарушением сплошности вследствие возникающих трещин и расколов [1].

**ДРЕНА** — горная выработка или естественная подземная полость, канал или поверхностный водоток, способствующие осушению местности или массива обводненных горных пород путем естественного стока в них подземных и поверхностных вод [1].

**ДРЕНАЖ** — метод осушения или дегазации различными дренажными выработками (вертикальными и горизонтальными) водоносного или газоносного массива или месторождений полезных ископаемых, обеспечивающих снижение уровня подземных вод или содержания газа [1].

**ДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА** — комплекс дренажных устройств для перехвата подземных вод на пути их движения к шахте (руднику, карьере), вводимых в работу в определенной последовательности и располагаемых по определенным схемам [1].

**ДРЕНАЖНАЯ СХЕМА** — расположение выработок дренажного комплекса в плане и разрезе. Д. с. органически увязывается с проектом различных стадий развития горных работ [1].

**ДРЕНАЖНЫЕ ВЫРАБОТКИ** — выработки для извлечения и отвода воды или газа при осушении и дегазации месторождений (массива горных пород) [1].

**ДРЕНАЖНЫЙ КОМПЛЕКС** — совокупность сооружений и установок, предназначенных для перехвата и отвода подземных и поверхностных вод. В Д. к. входят горные выработки (штреки, скважины, колодцы, шурфы, канавы и т. д.), технические средства осушения и водоотлива [1].

**ДРЕНИРОВАНИЕ** — процесс естественной фильтрации жидкости через промежутки между твердыми частицами (кусками) под действием силы тяжести (иногда под действием механических колебаний) [1].

**ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ ПОТОКА** — поперечное сечение потока или части его, перпендикулярное к направлению движения, выражаемое в единицах измерения площади [1].

**ЖИЛЬНЫЕ ВОДЫ** — воды обособленных зияющих трещин и карстовых каналов, не имеющие общей водной или напорной поверхности, как в трещинных, так и в карстовых водах [1].

**ЗАЩИТА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ОТ ВОДЫ** (дренаж, барраж, водопонижение, осушение) — комплекс мероприятий по ограждению карьерных полей от поверхностных и подземных вод. Снижению уровней (притоков) подземных вод на обрабатываемых участках до требуемых величин с помощью дренажных систем или барражных завес, а также по откачке, очистке и отводу, карьерных вод за пределы зоны влияния дренажной системы [1].

**ЗОНА ИНФИЛЬТРАЦИИ** — зона, через которую происходит просачивание воды [1].

**ЗОНА ОБРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД** — часть зоны сдвижения массива горных пород, в которой породы наиболее разрушены и разделены на отдельные блоки [1].

**ЗОНА ОПАСНОГО СДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ** — часть мульды сдвижения, на которой возникают опасные деформации для зданий, сооружений и других объектов. Граница З. о. с. п. определяется с помощью средних значений углов сдвижения [1].

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОДООТДАЧИ** — зависимость относительной водоотдачи намытого массива, в том числе закладочного массива при гидравлической закладке (см. Закладка) от времени [1].

**ИНФИЛЬТРАЦИЯ** — просачивание поверхностных вод в толщу земной коры через капиллярные и субкапиллярные поры, трещины и другие пустоты в горных породах [1].

**КАНАВА** — открытая горная выработка небольшой площади сечения трапециевидной, реже прямоугольной формы. По назначению различают К.: разведочные — для зарисовки геологического строения пород и опробования полезного ископаемого; нагорные — для перехвата вод атмосферных осадков и талых вод; дренажные — для понижения уровня подземных вод; водосборные — для сбора вод, вытекающих из почвы и стенок горных выработок, забивных и сквозных фильтров; водоотводные — для отвода карьерных и шахтных вод за пределы радиуса влияния карьерного и шахтного водоотлива [1].

**КАПИЛЛЯРНАЯ ВОДА** — синоним термина вода подвешенная, которая удерживается капиллярными силами в порах, трещинах и других пустотах [1].

**КАПИЛЛЯРНАЯ ЗОНА** — зона, разделяющая зону аэрации и зону насыщения и связанная гидравлически с последней. В К. з. поры, трещины и другие пустоты капиллярных размеров насыщены водой, удерживаемой в подвешенном состоянии капиллярными силами [1].

**КАПИЛЛЯРНОЕ ДАВЛЕНИЕ** — давление, оказываемое капиллярной водой на частицы грунтового скелета. К. д., численно равное движущейся силе мениска, приложено к стенкам капилляра и вызывает в них напряжение сжатия,

действующее в продольном направлении. К. д. возникает во всех случаях, когда происходит движение воды под действием капиллярных сил [1].

**КАПИЛЛЯРНОЕ ПОДНЯТИЕ** — поднятие жидкости (воды) по капиллярным порам под действием сил поверхностного натяжения. Высота поднятия жидкости в капиллярной трубке обратно пропорциональна диаметру канала трубки. Высота К. п. в крупнозернистых песках составляет 2,0–3,5 см, в мелкозернистых — 35–120 см, в глинах — 650–1200 см [1].

**КАРСТОВЫЕ ВОДЫ** — воды, залегающие, а также циркулирующие в недрах по трещинам, пустотам, каналам, пещерам, образовавшимся в результате выщелачивания известняков, доломитов, гипсов и солей и др. [1].

**КОЛЬМАТАЦИЯ (КОЛЬМАТАЖ)** — процесс естественного и искусственного вымывания мелких (главным образом глинистых и коллоидных) частиц в поры и трещины горных пород и фильтры дренажных выработок. К. приводит к ухудшению фильтрационных свойств пород и работы фильтров [1].

**КОРРОЗИЯ** — 1. Разрушение (растворение) горных пород под влиянием химического воздействия воды и кислорода. 2. Разрушение металла или металлических изделий вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ВЛАЖНОСТИ** — показатель, характеризующий степень заполнения пор водой (содержание воды в грунте по отношению к объему пор). По величине К. в. песчаные грунты подразделяются на маловлажные (<0,5) очень влажные (0,5–0,8), насыщенные водой (>0,8) [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ПОРИСТОСТИ** — Отношение объема пор к объему твердой части горной породы, % [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ПУСТОТНОСТИ** - отношение суммарного объема пустот (пор и трещин) в горной породе к объему твердой фазы [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ (КОЭФФИЦИЕНТ ОБЪЕМНОЙ УПРУГОСТИ)** — показывает, на какую часть от своего первоначального объема изменяется объем воды или породы при изменении давления на 100 кПа. Зависит от степени уплотненности и температуры среды, а для воды — и от степени минерализации её [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД** — отношение величины стока к количеству атмосферных осадков, выпавших за определенное время. К. с. п. в. используется при определении ожидаемого притока за счет вод поверхностного стока [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ** — Показатель связности горной породы, равный наибольшей величине касательного напряжения, которое она выдерживает, не разрушаясь при сдвиге [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ СЫПУЧЕСТИ** — показатель сыпучести горной породы, равный  $K_{\text{сып}} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$ , где  $\varphi$  — угол естественного откоса [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕЩИНОВАТОСТИ** — величина, характеризующая трещиноватость горных пород. Выражается отношением объема трещин к объему образца породы (в %) или числом трещин на единицу длины по определенному направлению [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ** (по Дарси) — скорость фильтрации воды или газа при напорном градиенте, равном единице. К. ф. выражают обычно в м/сут [1].

**КОЭФФИЦИЕНТ ХРУПКОСТИ** (по Л. И. Барону) — отношение величины работы, затраченной на деформирование образца породы до предела упругости, к общей работе деформации до момента разрушения [1].

**МАКРОТВЕРДОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — твердость горных пород, определяемая для участка такой величины, при которой не сказывается различие в действительной твердости его отдельных микрообъемов [1].

**МЕЖПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ** — воды, находящиеся в водоносных пластах, залегающих между пластами водоупорных пород. В большинстве случаев М. в. являются напорными [1].

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — способность породы в определенных условиях и пределах воспринимать, не разрушаясь, те или иные механические воздействия. Применительно к горной технологии обычно применяют термин «крепость» (см. Коэффициент крепости горной породы) [1].

**МИКРОТВЕРДОСТЬ** — твердость в микроскопически малых объемах тела. Определяется методом вдавливания заостренного наконечника при малых нагрузках [1].

**МОДУЛЬ СДВИГА** — постоянная упругости, представляющая собой отношение касательного напряжения к соответствующему углу сдвига в пределах закона Гука [1].

**МОДУЛЬ СТОКА** — количество воды стекающей в единицу времени с единицы площади водосбора; выражается обычно в л/с·км<sup>2</sup>. Среднее за многолетний период значение М. с. называется нормой стока [1].

**МОЩНОСТЬ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА** — безнапорного — расстояние по перпендикуляру от подошвы водоносного горизонта до его статического уровня; напорного — расстояние по перпендикуляру от подошвы до кровли водоносного горизонта. В последнем случае М. в. г. соответствует мощности вмещающих водоносных пород [1].

**МУЛЬДА СДВИЖЕНИЯ** — часть поверхности, подвергающаяся сдвигению под влиянием подземных горных разработок. Линия, ограничивающая на поверхности зону влияния горных разработок, является, границей М. с.; она определяется как геометрическое место точек на поверхности с величиной оседания 10 мм или по граничным углам. Часть, в которой точки поверхности имеют наибольшее оседание, называется дном М. с [1].

**НАБУХАНИЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — увеличение породы в объеме в результате поглощения воды. Наибольшей способностью к набуханию обычно обладают глинистые сланцы [1].

**НАПОР (В ГИДРОГЕОЛОГИИ)** — потенциальная энергия единицы массы воды, сосредоточенной в геометрической точке, находящейся на той или иной высоте над нулевой плоскостью сравнения. Н. выражается в метрах от плоскости сравнения до уровня воды в пьезометре, скважине и т. д. Различают Н. гидростатический и пьезометрический. Энергией Н. обладают все гравита-

ционные воды — как напорные, так и грунтовые. Разность  $H$  в двух точках вызывает движение воды от места с большим  $H$  к месту с меньшим [1].

**НАПОРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ** — напорное движение воды (жидкости) в пористой среде, характеризующееся наличием в потоке давления.  $H$ . ф. возникает в пластах водоносных горных пород, ограниченных более водоупорными породами. При  $H$ . ф. пьезометрическая поверхность расположена выше кровли водоносного пласта. При безнапорной фильтрации депрессионная поверхность подземных вод лежит ниже кровли водоносного пласта или этот пласт вообще не имеет кровли [1].

**НАПОРНЫЕ ВОДЫ** — гравитационные воды в водоносных породах, покрытых водоупорной кровлей, на которую эти воды оказывают гидростатическое давление. При вскрытии их выработками  $H$ . в. поднимаются выше контакта водоупорной кровли и водоносной породы [1].

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — величина сжимающей нагрузки, под действием которой в породах возникает условие предельного состояния [1].

**ОБВОДНЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ** — понятие, обозначающее степень влияния подземных и поверхностных вод на условия ведения горных работ при вскрытии и разработке месторождения [1].

**ОБЛАСТЬ ПИТАНИЯ** — площадь, где происходит просачивание (инфильтрация) атмосферных осадков или поверхностных вод (рек, озер), идущих на питание подземных вод данного водоносного горизонта и служащих источником обводнения карьеров [1].

**ОБЛАСТЬ ПОНИЖЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ** — зона в массиве горных пород, в которой напряжения в результате проведения выработки уменьшены по сравнению с напряжениями в нетронутом массиве. Величина зоны зависит от свойств пород, глубины разработки, размеров, формы и расположения выработки [1].

**ОБРУШАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД** — свойство горных пород обрушаться при их обнажении. Размеры обрушаемых кусков зависят от структуры (слоистость, трещиноватость) и физико-механических свойств пород [1].

**ОБРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД** — сдвигение горных пород с разломом и разрушением слоев и отделением от массива отдельных кусков и глыб [1].

**ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ** — период времени, в течение которого поверхность может находиться в состоянии сдвигения после прекращения очистных работ в данном районе. За начало процесса сдвигения точки поверхности принимается момент, когда измеренная величина оседания точки составляет 10 мм. За окончание процесса принимается дата, после которой в течение одного года суммарное оседание ни одной из точек мульды сдвигения, за исключением зоны провалов, не превышает 50 мм [1].

**ОПАСНАЯ ЗОНА** — участок, в пределах которого ведение горных работ или пребывание человека сопряжено с возможностью аварии [1].

**ОПОЛЗЕНЬ** — относительно медленное сползание (смещение) по склону породных масс под влиянием силы тяжести. Смещаемую массу называют

оползневый телом, а поверхность, по которой оползневое тело перемещается, поверхностью скольжения или поверхностью смещения [1].

**ОСЕДАНИЕ** - составляющая полного вектора сдвижения по вертикали точки поверхности или горных пород. Различают *О.*: поверхности — вертикальная составляющая вектора сдвижения точки поверхности; горных пород — сдвижение горных пород преимущественно сверху вниз без значительного разрыва сплошности; поверхности при неполной подработке *О.* поверхности при размерах выработанного пространства, недостаточных для образования плоского дна мульды сдвижения; дальнейшее увеличение площади выемки вызывает увеличение *О.*; полное — наибольшее *О.* при данной глубине разработки и мощности пласта (залежи), которое не увеличивается при увеличении площади выемки (подработки); максимальное — наибольшая вертикальная составляющая векторов сдвижения точек поверхности при горизонтальном залегании, полной подработке и закончившемся процессе сдвижения [1].

**ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ** — комплекс мероприятий по защите горных выработок от поверхностных и подземных вод при строительстве и эксплуатации карьеров [1].

**ОТКРЫТЫЙ ВОДООТЛИВ** — комплекс мероприятий и средств по сбору карьерных вод в водосборники и откачки их на поверхности. *О. в.* используется на месторождениях с простыми гидрогеологическими условиями залегания как самостоятельный способ осушения или защиты выработок от воды [1].

**ОТСЛОЕНИЕ** — отделение слоев горных пород по плоскостям напластования над выработанным пространством под действием собственной массы [1].

**ПАССИВНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — процесс деформации, характеризующийся тем, что для каждого последующего момента времени интенсивности напряжения и деформации будут меньше их значений для предыдущего момента времени [1].

**ПЕРИОД ОПАСНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТИ** — время, в течение которого оседание поверхности происходит со скоростью не менее 50 мм/мес при пологом и наклонном залегании пластов (рудных залежей) и не менее 30 мм/мес при крутом залегании [1].

**ПЛАСТИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ** — разрушение, связанное с предшествующей пластической деформацией материала. Некоторые из порообразующих минералов и горных пород в условиях всестороннего сжатия приобретают способность к значительным пластическим деформациям [1].

**ПЛОЩАДЬ ОБНАЖЕНИЯ** — площадь открытой поверхности массива, образующаяся в результате горных работ. При проведении очистных работ различают *П. о.*: массива полезного ископаемого, висячего и лежащего боков. Величина *П. о.* характеризует устойчивость массива полезного ископаемого или вмещающих пород [1].

**ПЛЫВУН** — скопление рыхлых песчаных пород, насыщенных водой и проявляющих при определенных гидродинамических условиях большую подвижность (пывучесть). Различают *П.* истинные — пески, содержащие гидрофильные коллоиды, и ложные — не содержащие коллоидных частиц [1].



**ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ** — воды, находящиеся ниже поверхности земли и дна поверхностных водоемов и водотоков и заполняющие поры, трещины и иные пустоты горных пород [1].

**ПОЛЗУЧЕСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — медленное нарастание во времени пластической деформации породы при силовых воздействиях, меньших, чем те, которые могут вызвать остаточную деформацию при испытаниях обычной длительности [1].

**ПОРИСТОСТЬ** — суммарный относительный объем пор, содержащихся в горной породе. Различают П: открытую — суммарный относительный объем пор в породе, сообщающихся с атмосферой; закрытую — суммарный относительный объем пор, не сообщающихся с атмосферой; эффективную — П., при которой возможно течение в породе жидкости или газа под воздействием обычных в природе градиентов давления [1].

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ВОДОПОНИЖЕНИЕ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОСУШЕНИЕ)** — способ защиты от подземных вод (главным образом напорных) до начала проходки въездной и разрезной траншей и других горных выработок с помощью водопонижения скважин [1].

**ПРИЗМА ОБРУШЕНИЯ** — неустойчивая часть массива уступа со стороны его откоса, заключенная между рабочим  $\alpha$  и устойчивым  $\beta$  углами откосов уступа (в соответствие с рисунком 1)[1].

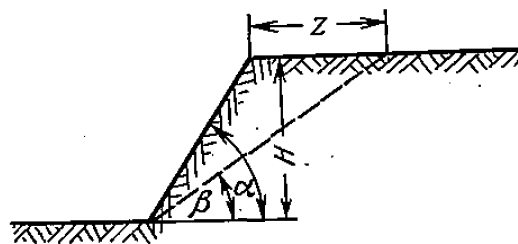


Рисунок 1

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОДЫ** — воды, содержащие промышленно-ценные химические элементы и их соединения (бром, йод, калий, литий и др.) в количестве, обеспечивающем их рентабельную утилизацию [1].

**ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — способность породы пропускать через себя жидкости и газы при некотором перепаде давления. [1].

**ПРОСАДКА** — свойство породы уменьшать свой объем, деформироваться при увлажнении. П. характерны для лёсса и лессовидных суглинков [1].

**ПУСТОТНОСТЬ** — суммарный объем всех пустот, включая поры и трещины в горной породе, выраженный в долях единицы, процентах по объёму или единицах объёма на единицу массы [1].

**РАЗМЯГЧАЕМОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — способность породы снижать свою прочность при увлажнении. Определяется коэффициентом размягчаемости, равным отношению временного сопротивления раздавливанию породы, насыщенной водой, к такому же показателю, полученному для сухой породы [1].

**РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД** — колебание уровней, изменение химического состава, температуры, а также скорости движения подземных вод во времени под воздействием метеорологических условий (атмосферных осадков, испарения, температуры воздуха, атмосферного давления) и искусственных факторов (орошение, водопонижение, осушение месторождений, гидротехническое строительство и т. д.) [1].

**СВОБОДНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ВОД** — поверхность, разделяющая гравитационные грунтовые воды от поднявшихся капиллярных вод. С. п. г. в. наблюдается в скважинах, колодцах, шурфах и обычно называется зеркалом грунтовых вод [1].

**СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД** — перемещение и деформирование горных пород в результате нарушения их равновесия под влиянием горных разработок, изменения физико-механических свойств пород и других причин [1].

**СЖИМАЕМОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ** — способность породы уменьшаться в объёме (давать усадку) под действием внешнего давления [1].

**СИСТЕМА ТРЕЩИН** — совокупность трещин, образовавшихся при определённом напряжённом состоянии горных пород [1].

**СКОРОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ** — фиктивная скорость потока в отличие от действительной, с которой вода перемещается в порах горной породы. С. ф. обычно выражается в м/сут. Средняя С. ф. определяется выражением  $v = \frac{Q}{F}$ , где  $Q$  — дебит фильтрации;  $F$  — площадь сечения потока [1].

**СМАЧИВАНИЕ** — первая стадия молекулярного взаимодействия жидкости с поверхностью твёрдого тела. С. имеет место на границе соприкосновения трех фаз, одна из которых является твёрдым телом, а две другие — несовмещающимися жидкостями или жидкостью и газом [1].

**СПОЛЗАНИЕ ПОРОД** — сдвигание боковых пород по плоскостям напластования при разработке крутых и наклонных пластов. С. п. происходит при слабых боковых породах, не имеющих прочного сцепления между отдельными слоями. [1].

**ТРЕЩИНЫ** — плоский разрыв сплошности среды, величина которого на порядок и более превосходит межатомные расстояния в кристаллической решетке [1].

**ТРЕЩИННЫЕ ВОДЫ** — подземные воды, заключённые в трещинах горных пород. Т. в., имеющие свободную поверхность, могут быть безнапорными (грунтовыми) и напорными [1].

**ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД** — нарушенность монолитности пород трещинами; совокупность трещин, имеющих в породном массиве [1].

**УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ** — угол, тангенс которого равен коэффициенту внутреннего трения сыпучей породы [1].

**УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА** — наибольший угол, который может быть образован откосом свободно насыпанной горной массы в состоянии равновесия с горизонтальной плоскостью; зависит от крупности и формы частиц породы, шероховатости их поверхности, а также от плотностей и влажности

породы. По У. е. о. в карьерах определяются максимально допустимые устойчивые углы, откосов уступов при разработке рыхлых пород и отвалов [1].

**УГОЛ ТРЕНИЯ** — угол максимального отклонения реакции опорной поверхности от нормали к ней, тангенс которого равен коэффициенту статического трения [1].

**УГЛЫ ПОЛНЫХ СДВИЖЕНИЙ** — углы образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения плоскостью пласта и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами плоского дна мульды сдвижения [1].

**УГЛЫ РАЗРЫВОВ** — внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по простиранию и вкрест простирания залежи в местах наибольших сдвижений горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с крайними внешними трещинами на поверхности. Различают У. р. у границ выработки: нижней в висячем боку, нижней в лежащем боку (крутое падение), верхней по простиранию [1].

**УГЛЫ СДВИЖЕНИЯ** — углы, образованные на вертикальных разрезах, по простиранию и вкрест простирания пласта (залежи) по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами опасных сдвижений коренных пород на контакте с наносами [1].

**УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ** — система мероприятий, осуществляемых при освоении обводненных месторождений с целью создания безопасного и экономичного ведения горных работ путем воздействия на фильтрационные параметры горных пород и, следовательно, на форму и величину поверхностного и подземного водного потока в карьеры [1].

**УПРОЧНЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД** — 1. Увеличение предела текучести пород с увеличением деформации. 2. Комплекс мероприятий по повышению устойчивости массива горных пород вокруг выработки в результате анкерования, торкретирования, инъекции в них цементно-песчаного, химического (полимерных смол) и других вяжущих растворов, а также замораживания [1].

**УРОВЕНЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД** — превышение свободной или пьезометрической поверхности вод в данной точке по отношению к любой плоскости сравнения (например, по отношению к уровню моря). Уровень может быть установившимся или неустойчивым, а также динамическим или статическим: динамический — уровень подземных вод, пониженный вследствие откачки или повышенный вследствие нагнетания воды в скважину; статический — естественный, ненарушенный [1].

**УСАДКА ПОРОД** — способность влажных пород уменьшать свой объём при высыхании. Величина У. п. зависит от количества и качества находящихся в ней глинисто-коллоидальных фракций. Более глинистые группы дают большую величину усадки. Различают У. п. линейную и объёмную [1].

**УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ** — способность выработки в течение всего срока эксплуатации сохранять заданные размеры и форму [1].

**УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД** — способность пород сохранять равновесие при их обнажении [1].

**ФИЛЬТРАЦИЯ ЖИДКОСТИ** — движение жидкости в пористой среде (в порах и трещинах) под влиянием силы тяжести благодаря наличию разности напоров в отдельных точках потока [1].

**ЭКЗОГЕННЫЕ ТРЕЩИНЫ** (тектонические, экзокинетические, струйчатые, кливажные) — трещины в горных породах, образовавшиеся в результате тектонических процессов, которые часто проходят по более ранним эндогенным трещинам [1].

**ЭКЗОКЛИВАЖ** — расчленённость горных пород системой трещин, образовавшихся под влиянием внешних, преимущественно тектонических воздействий. Э. располагается под разными, обычно острыми углами к плоскости наложения [1].

**ЭНДОГЕННЫЕ ТРЕЩИНЫ** (эндокинетические, нормальносекущие, кливажные) — трещины в породах, образовавшиеся в результате физико-химических процессов; диагенеза, перекристаллизации, метаморфизма [1].

**ЭНДОКЛИВАЖ** — система трещин в горных породах, возникших под влиянием главным образом внутренних процессов, зависящих от вещества самой горной породы (уменьшение объёма — при высыхании избыточной воды, изменение химического состава и другие причины). Э. выражается в образовании двух перпендикулярных друг к другу и к плоскости наложения систем параллельных трещин. Э. обычно развивается в каждом слое самостоятельно [1].

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Из вышеприведенных терминов выберите термины имеющие отношение к физическим свойствам горных пород.
2. Какие из вышеприведенных терминов имеют отношение к осушению горных выработок на карьерах?
3. Из вышеприведенных терминов выберите термины имеющие отношение к процессам деформации (устойчивости) горных выработок.

## 2 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ МАССИВА НА КАРЬЕРЕ

Горные породы, являющиеся объектом открытых разработок, делятся на коренные (магматические, метаморфические и осадочные), залегающие в толще земной коры по месту своего образования, и на покрывающие их наносы — породы измельченные, переотложенные или перенесенные.

Все горные породы состоят из минеральных составляющих (зерен, их агрегатов, обломков), различных как по вещественному составу, так и по крупности, форме и характеру связей между ними, т. е. строению (структуре).

Состояние разрабатываемых пород в общем случае может быть естественным (нетронутый массив) или искусственно измененным (посредством взрыва, механическими способами разрушения, водопонижением, химическим укреплением и др.).

В процессе разработки горные породы подвергаются различного рода воздействиям (удару, сдвигу, уплотнению, перемещению и т. д.).

К физико-техническим свойствам горных пород в различном состоянии относятся плотность, пористость, влажность, сопротивление различного рода воздействиям, стойкость, вязкость, хрупкость, устойчивость, увеличение объёма при разрушении и др.

Учет различных физико-технических свойств горных пород необходимо производить в зависимости от объекта разработки (в массиве учитываются свойства пород в естественном состоянии, в разрушенных породах — свойства искусственно измененных пород). Существенно влияет на свойства горных пород и их сложение (текстура). Для большинства метаморфических, твёрдых осадочных и глинистых пород и некоторых магматических образований характерна упорядоченная текстура (сланцевая, слоистая, флюидальная), вследствие чего свойства одного образца породы неодинаковые в разных направлениях. Такие породы в целом анизотропные, хотя минеральные составляющие их могут быть в отдельности и изотропными. Породы массивной текстуры и раздельно-зернистые (например, граниты, щебенистые накопления) часто обладают в массиве примерно одинаковыми свойствами в разных направлениях и могут считаться квазиизотропными.

Наличие пустот (скважность) и особенно трещиноватости резко влияет на свойства горных пород. Микротрещиноватость обуславливает дефекты строения и различную сопротивляемость разрушению даже одной и той же породы в малом объеме (образце). Ещё значительно влияют на свойства пород в массиве трещины, отдельности, напластования (кливаж), выветривание, тектонические трещины (отрыва и скола) и разрывные нарушения (дизъюнктивы), создающие трещинную анизотропию свойств. Их влияние обуславливает коренное изменение свойств материнских пород в зонах разлома и других дизъюнктивных участках и сопровождается постепенным механическим распадом пород в обнажениях.

Особенно большая роль во вторичных естественных изменениях пород и их свойств принадлежит тектоническим процессам, выветриванию, мерзлотным явлениям в суровых климатических условиях.

Изменение свойств пород во многих случаях происходит постепенно, под воздействием давления, атмосферных условий и др., например, уплотнение пород в насыпях, слеживание, выветривание, фильтрационное оплывание сыпучих пород и т. д.

Все горные породы различают и объединяют по видам, группам, категориям и классам, имеющим определенные диапазоны свойств и характеристик.

Существуют следующие виды горных пород: скальные и полускальные (естественное состояние); разрушенные (искусственно или естественно измененные скальные и полускальные породы); плотные, мягкие (связные) и сыпучие.

В массиве горных пород различают трещины трех порядков.

Трещины первого порядка характерны для кристаллов горных пород, имеющих мозаичную структуру с присущими ей внутрикристаллическими дефектами и трещинами. Размеры и величина раскрытия этих трещин изменяются от  $10^{-9}$  до  $10^{-5}$  м.

К трещинам второго порядка относятся трещины между самими кристаллами, а также трещины в межкристаллическом цементе. Размеры этих трещин имеют тот же порядок, что и размеры слагающих породу кристаллов.

Трещины первого и второго порядков определяют сопротивляемость пород бурению, измельчению в дробилках, выемке многоковшовыми экскаваторами и комбайнами. Решающее влияние при этом оказывают трещины второго порядка; они же в некоторой степени определяют эффективность процессов выемки пород одноковшовыми экскаваторами, механического и взрывного рыхления, а иногда и степень устойчивости откосов.

К трещинам третьего порядка относятся эндогенные петрогенетические трещины, которые тесно связаны с отдельными породными пластами, потоками лав или интрузиями. К ним же относятся тектонические трещины отрыва и скалывания, а также кливаж. Тектонические трещины обычно образуют четко выраженные системы двух почти взаимно перпендикулярных крутопадающих рядов трещин, секущих породные напластования, независимо от их состава и возраста. Кроме того, к трещинам третьего порядка относятся трещины отжима, образующиеся параллельно обнаженной поверхности при разгрузке пород, а также искусственные трещины, возникающие в породах при ведении горных работ.

Все перечисленные виды трещин при обнажении массива усиливаются трещинами выветривания, которые развиваются на глубину от 2–3 до 10 м и более по уже имеющимся трещинам или даже по нетронутому массиву.

Все трещины третьего порядка имеют значительное простирание, измеряемое сантиметрами, метрами и даже километрами. По степени проявления они делятся на открытые, закрытые и скрытые; величина их раскрытия изменяется от  $10^{-6}$  до  $10^{-1}$  м. Эти трещины могут заполняться другими породами, продуктами выветривания, водой и нефтью или же оставаться незаполненными. Пересе-

каясь, такие трещины делят породы на отдельности более или менее правильной формы.

Трещины третьего порядка наиболее существенно влияют на процессы выемки одноковшовыми экскаваторами, механического и взрывного разрушения, на сдвигание, оползание, обвалы и другие проявления горного давления. В меньшей степени они влияют на процессы выемки многоковшовыми экскаваторами.

Наряду с размерами и густотой трещин важно знать их направление по отношению к обнажаемой части массива пород, число и направление систем взаимно пересекающихся трещин.

Для расчета технологических процессов и оценки трудности разработки пород важно установить: тип трещиноватости (системная, непрерывная или прерывная, хаотическая, полигональная); углы падения и азимуты главных систем трещин; протяженность, раскрытие и расстояние между трещинами в системах; характер и степень заполнения трещин; общий объем трещинной пустотности, размер отдельностей (блоков) в массиве.

Скальные породы характеризуются пределом прочности при одноосном сжатии в куске (образце) в насыщенном водой состоянии (до 3–5 %) в интервале  $5 \cdot 10^7$ – $3,5 \cdot 10^8$  Па.

К ним относятся большинство изверженных и метаморфических, (кварциты, граниты, базальты, габбро и др.), а также некоторые осадочные породы (прочные известняки, песчаники, песчаные сланцы, кремнистые конгломераты и др.).

Полускальные породы (выветрелые, изверженные, метаморфические и в основном осадочные) имеют предел прочности при одноосном сжатии в куске в насыщенном водой состоянии (до 12 %) в интервале  $2 \cdot 10^7$ – $5 \cdot 10^7$  Па. К ним относятся глинистые и песчано-глинистые сланцы, глинистые и известковистые песчаники, руды гематитовые, мергели, известковистые брекчии и конгломераты, известняк-ракушечник, аргиллиты, алевролиты, гипс, каменная соль, каменные и крепкие бурые угли и др.

Для разработки скальных и полускальных пород необходимо их предварительное разрушение (обычно взрывным способом).

Различают пять категорий скальных и полускальных пород по степени трещиноватости третьего порядка в массиве:

- I. чрезвычайно трещиноватые породы (малоблочные);
- II. сильнотрещиноватые породы (среднеблочные);
- III. среднетрещиноватые породы (крупноблочные);
- IV. малотрещиноватые породы (весьма крупноблочные);
- V. практически монолитные породы (исключительно крупноблочные).

Напластования маломощных и сравнительно однородных скальных и полускальных пород образуют слоистые породы.

Скальные и полускальные породы в массиве могут находиться также в нарушенном, в мерзлом состояниях или являться смесью разнопрочных пород.

Взрывное, механическое дробление или природные силы разрушают скальные и полускальные породы, в результате чего последние становятся пригодными для выемочно-погрузочных и транспортных работ.

Разрушенные породы характеризуются степенью связности и кусковатостью. Связность отражает характер связей между смежными породными кусками. По степени связности различают три категории разрушенных пород:

1. сыпучие разрушенные имеют большое число воздушных промежутков между кусками; при этом возможно зажатие отдельных кусков и наличие зацепления между ними; породы склонны к осыпанию и образованию четко выраженных откосов; коэффициент разрыхления  $k_p = 1,4 - 1,65$  и иногда более;

2. связно-сыпучие разрушенные, имеющие небольшое число воздушных промежутков (пустот) между отдельными природными блоками и кусками; в результате разделения блоков сцепление между ними отсутствует, но куски зажаты между собой и сохраняется зацепление между ними и сцепление по ненарушенным природным трещинам в кусках; коэффициент разрыхления  $k_p = 1,2 - 1,3$ ; насыпь разрушенных пород не имеет четко выраженных откосов;

3. связно-разрушенные (связно-взорванные), представленные природными отдельностями (блоками), не полностью разделенными между собой; при этом увеличивается естественная трещиноватость массива, образуется много новых трещин, но сохраняется в значительной мере сцепление между блоками (кусками); коэффициент разрыхления  $k_p = 1,03 - 1,05$ .

Минеральные частицы размером менее 0,002 мм называют глинистыми, от 0,002 до 0,05 — пылеватыми (алевритовыми), от 0,05 до 2 мм — песчаными, от 2 до 10 мм — гравелистыми и дресвяными, от 20 до 100 мм — галечными и щебенистыми.

Глинами называют пластичные породы, имеющие по массе не менее 30 % глинистых частиц, суглинками — породы с содержанием глинистых частиц от 10 до 30 %, супесями — породы с содержанием глинистых частиц от 3 до 10 %, песками — породы с содержанием глинистых частиц менее 3 %.

Пески называют пылеватыми, если масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75 %, и мелкими — при большем содержании. Песок средней крупности содержит более 50 % частиц крупнее 0,25 мм, крупнозернистый песок — более 50 % частиц крупнее 0,5 мм, а гравелистый песок — более 25 % гравелистых частиц. Раздельно зернистые породы с содержанием более 50 % частиц крупнее 2 мм называются гравийными, а при 50 % и выше частиц крупнее 10 мм — галечниками и щебенистыми породами.

Глинистые и песчаные породы в естественном состоянии всегда содержат воду (связанную, капиллярную, гравитационную). Вид и количество воды в породе определяют ее поведение под нагрузкой.

Плотные связные породы представлены полутвердыми глинами высокой степени уплотнения, мелями, бурыми и каменными углями средней прочности, глинистыми рудами и др. Эти породы способны сохранять в массиве углы от-



косов до  $60\text{--}70^\circ$  при высоте уступов до  $10\text{--}20$  м и могут разрабатываться (без предварительного разрушения) некоторыми видами выемочных машин.

Мягкие связные породы представлены песчаными глинами, суглинками, супесями, мягкими бурыми и каменными углями, полностью дезинтегрированными изверженными метаморфическими породами и др. Эти породы разрабатываются без предварительного рыхления всеми видами выемочных машин и способны сохранять углы откосов до  $50\text{--}60^\circ$  при высоте уступов до  $7\text{--}15$  м.

Неуплотненные глинистые, породы (связные) включают некоторые виды жирных тонкодисперсных гидрофильных глин, пылеватые пески, илы, заторфованные осадки, разжиженный и обводненный лёсс, почвы. Такие породы часто тиксотропные, характеризуются высокой влажностью, сжимаемостью и размываемостью. Большая часть воды является капиллярной, поэтому водоотдача незначительна и осушение затруднено.

Разрыхленные мягкие (связные) породы теряют естественное сцепление и увеличиваются в объеме на  $15\text{--}30\%$ . После складирования в отвалы эти породы под действием массы вышележащей толщи уплотняются. При невысокой влажности и отсутствии потока воды плотность разрыхленных пород в нижней части насыпи высотой  $20$  м и более через один-два года становится близкой к плотности в массиве, соответственно возрастает величина сцепления.

Пески являются сыпучими породами. Углы откосов их в насыпях и массиве не должны превышать угла внутреннего трения. Усилия копания в песках наименьшие, так как силы сцепления между однородными окатанными частицами практически отсутствуют.

Уплотненные мягкие и сыпучие породы со скальными включениями в виде гравия, валунов, конгломератов, кремнистых или известняковистых прожилковых линз и другими, хаотически расположенные в массиве основной породы, представляют разнородные породы. Наиболее характерны разнородные породы для песчано-гравийных месторождений.

Мерзлые мягкие и сыпучие породы образуются при отрицательной температуре вследствие превращения сначала свободной воды, а затем и других ее видов в лед, плотно заполняющий поры и прочно скрепляющий минеральные частицы пород.

Мерзлые песчаные породы (слитная текстура) при оттаивании имеют те же прочностные показатели, что и до промерзания. Глинистые мерзлые породы при оттаивании часто превращаются в разжиженную массу и теряют несущую способность.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Назовите физико-технические свойства горных пород.
2. Что представляют собой трещины первого, второго и третьего порядка? Их влияние на технологию разработки и устойчивость выработок?
3. Назовите категории пород по степени трещиноватости третьего порядка в массиве.

## 3 НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА КАРЬЕРАХ

### 3.1 Устойчивость уступов и бортов карьеров

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом особое значение приобретает проблема устойчивости породных откосов — уступов и бортов карьеров. Положение откоса характеризуется углом наклона его поверхности к горизонтальной плоскости. Если в проекте строительства карьера заложены завышенные значения углов наклона откосов, это может привести к нарушению их устойчивости и вызвать внезапные разрушения уступов или бортов карьеров. При заниженных же значениях углов наклона породных откосов и большой глубине карьера возникает проблема экономической целесообразности разработки месторождения открытым способом. Так, например, на карьерах глубиной до 300 м уменьшение результирующего угла наклона борта на 3–4 ° приводит к увеличению объема вскрыши до 10–11 млн. м<sup>3</sup> на 1 км фронта работ [2].

Основная задача геомеханики применительно к устойчивости уступов и бортов карьеров состоит в определении таких их параметров, при которых обеспечивается безопасность горных пород и достигается высокая экономичность производства. Методы и средства исследований остаются теми же, что и при изучении устойчивости подземных выработок.

#### 3.1.1 Основные положения методов расчета устойчивых откосов и бортов карьеров

Напряжения в грунтовом массиве, из которого формируется откос, определяются собственным весом пород и дополнительной пригрузкой от веса машин, строений и других объектов, расположенных на борту откоса. При увеличении крутизны откоса происходит рост тангенциальных (сдвигающих) напряжений и при достижении ими величин, превышающих предел сопротивления пород сдвигу, равновесие откоса теряется и происходит его деформирование (оползание) по некоторой поверхности сдвижения. Основные виды деформаций породных откосов показаны на рисунке 2, а подробная их характеристика приведена в таблице 1.

Грунты, свойства которых кроме угла внутреннего трения определяется еще и сцепление, допускают возможность существования вертикального откоса. Наибольшая высота такого откоса может быть определена из условия предельного равновесия при прямолинейной огибающей кругов напряжений Мора по формуле(1) В. В. Соколовского — И. А. Симвулиди

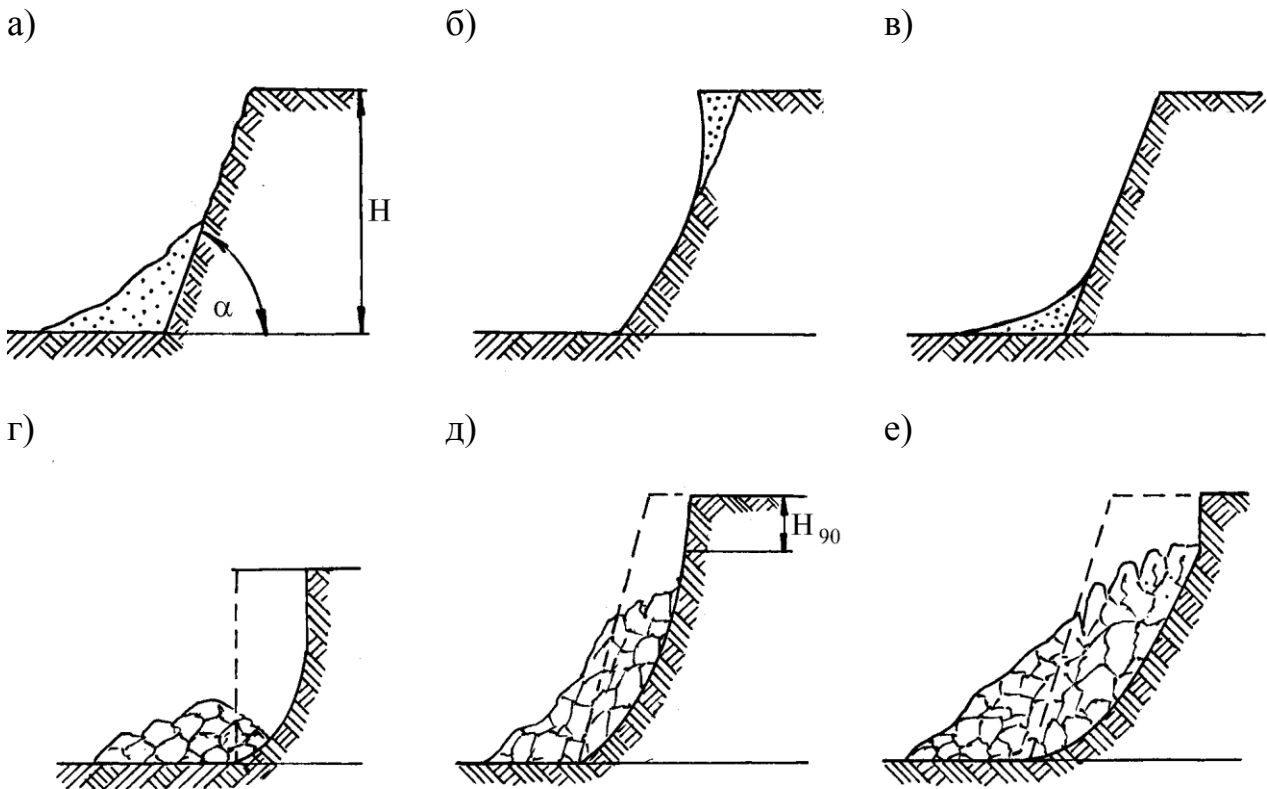


Рисунок 2 — Виды деформаций породных откосов (по А. Г. Шапарю): а) осыпи, б) обрушение «kozyрьков», в) оплывины, г) обрушение невысоких уступов ( $H \leq H_{90}$ ), д) обрушение высоких уступов ( $H > H_{90}$ ), е) оползни

$$H_{90} = \frac{2 \cdot C}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg} \left( \frac{90^\circ - \rho}{2} \right), \quad (1)$$

где  $C$  и  $\rho$  — сцепление и угол внутреннего трения пород откоса;  
 $\gamma$  — объёмный вес.

Для сохранения устойчивости откоса при увеличении высоты уступа уменьшают угол наклона откоса. В природных условиях на высоту и угол заложения откоса влияют прочность пород, степень их трещиноватости и слоистости, положение плоскостей трещин и слоистости, положение плоскостей трещин и напластований по отношению к откосу, режим грунтовых вод, технологические факторы и т. п.

Поэтому для оценки степени устойчивости уже существующих откосов, а также расчета углов заложения, намечаемых в проектах, необходимо выполнить определенный объём инженерно-геологических изысканий. Несмотря на сложный и неоднородный характер породной среды и известную погрешность при получении расчётных данных, представляется возможным рассчитать элементы откоса с минимальными погрешностями.

Таблица 1 — Классификация видов нарушения устойчивости уступов на карьерах по технологическим причинам

Вид нарушения устойчивости уступов	Характерные признаки	Сигналы начала деформации	Условия проявления	Технологические причины
1	2	3	4	5
Осыпи	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отрыв отдельных частиц и кусков от поверхности откоса и скатывание к подошве уступа.</li> <li>2. Осыпавшаяся порода имеет откос, равный углу естественного откоса.</li> <li>3. Относительно небольшой объём пород уступа, подвергающихся осыпи.</li> </ol>	Расчленение поверхности откоса мелкими трещинами	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Угол откоса уступа больше угла естественного откоса разрыхленных пород.</li> <li>2. Длительное стояние уступа</li> </ol>	Длительное необновление уступа
Обрушение «козырьков»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обрушение нависающего блока пород под углом, близким к углу откоса уступа.</li> <li>2. Небольшой объём обрушающихся пород.</li> <li>3. Мгновенное обрушение.</li> </ol>	Появление трещин в кровле уступа на близком расстоянии от бровки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В зимнее время при оттепелях.</li> <li>2. При насыщении водой в период дождей.</li> <li>3. Сейсмическое воздействие взрывных работ.</li> </ol>	Разработка уступов экскаваторами типа механической лопаты.
Оплывины	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Порода в результате деформации близка по составу к пльвуну и располагается под весьма малым углом откоса.</li> <li>2. Значительный объём и большая площадь распространения.</li> <li>3. Длительное время деформации.</li> </ol>	Вынос грунтовыми водами частиц породы с поверхности откоса.	Наличие грунтовых вод.	Неэффективность работ по осушению.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
<p>Обрушение: а) обрушение уступов высотой <math>H \leq H_{90}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вертикальная линия отрыва.</li> <li>2. Хорошее и равномерное рыхление.</li> <li>3. Сравнительно небольшой объём обрушающихся блоков.</li> <li>4. Мгновенная скорость деформации.</li> </ol>	<p>Появление вертикальных трещин в кровле уступа с последующим быстрым развитием вглубь массива.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа.</li> <li>2. Статические и динамические нагрузки на уступ.</li> <li>3. Сейсмическое действие взрывных работ.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плохая планировка кровли уступа.</li> <li>2. Нагрузка уступа горно-транспортным оборудованием или отвалами.</li> <li>3. Ведение взрывных работ на близком расстоянии.</li> </ol>
<p>б) обрушение уступов высотой <math>H &gt; H_{90}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Близкая к плоской ломаная поверхность сдвижения: вертикальная в верхней и наклонная в остальной части.</li> <li>2. Значительное и сравнительно равномерное рыхление пород.</li> <li>3. Обрушение значительных объемов пород уступа на большом протяжении по фронту.</li> <li>4. Мгновенная скорость деформации.</li> </ol>	<p>Появление вертикальных трещин в кровле уступа на значительных расстояниях от верхней бровки с быстрым переходом от местных деформаций к обрушению массива.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа.</li> <li>2. Наличие грунтовых вод.</li> <li>3. Наличие в подошве уступа слабых контактов пород.</li> <li>4. Динамические нагрузки на уступ.</li> <li>5. Сейсмическое действие взрывных работ.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неэффективность или отсутствие мероприятий по отводу грунтовых вод и осушению.</li> <li>2. Пригрузка уступа в пределах призмы обрушения горно-транспортным оборудованием.</li> </ol>

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
				<p>3. Отсутствие работ по предотвращению обрушений вышележащих уступов.</p> <p>4. Разработка уступов с коэффициентом запаса их устойчивости, близким к единице.</p> <p>5. Ведение взрывных работ на близком расстоянии.</p>
Оползни	<p>1. Ломанная криволинейная поверхность скольжения.</p> <p>2. Неравномерное рыхление с преобладанием крупных неразрушенных блоков.</p> <p>3. Вовлечение в сдвигение как небольших, так и огромных объёмов породы на большом протяжении по фронту уступа.</p> <p>4. Оползший массив имеет ступенчатую форму развала.</p> <p>Неравномерная и длительная скорость деформации.</p>	<p>1. Появление в кровле уступа вертикальных трещин и медленное их раскрытие вглубь массива.</p> <p>2. Постепенное проседание отколовшейся части уступа.</p>	<p>1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа.</p> <p>2. Наличие водоносных горизонтов в толще пород уступа.</p> <p>3. Переувлажнение ранее осыпавшихся или обрушившихся пород в подошве уступа.</p> <p>4. Статические и динамические нагрузки.</p>	<p>1. Неэффективность или отсутствие мероприятий по отводу атмосферных вод и осушению.</p> <p>2. Нагрузка уступа горно-транспортным оборудованием или отвалами.</p>

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
		<p>3. Выдавливание пластичных пород в подошве уступа.</p> <p>4. Вынос грунтовыми водами песчаных фракций в подошве уступа</p>	<p>5. Наличие слабых контактов.</p> <p>6. Залегание в подошве уступа пластичных глин.</p> <p>7. Сейсмическое действие взрывных работ.</p>	<p>3. Отсутствие работ по очистке площадок от осыпающихся или обрушающейся породы.</p> <p>4. Ведение работ без учёта направления напластований и подрезка слабых контактов.</p> <p>6. Ведение взрываемых работ на близком расстоянии.</p>

### 3.1.2 Методы расчета откосов, основанные на гипотезе плоской поверхности сдвига

П. М. Цимбаревичу принадлежит одно из первых решений задачи по определению предельной высоты наклонного уступа. Расчетная схема приведена на рисунке 3.

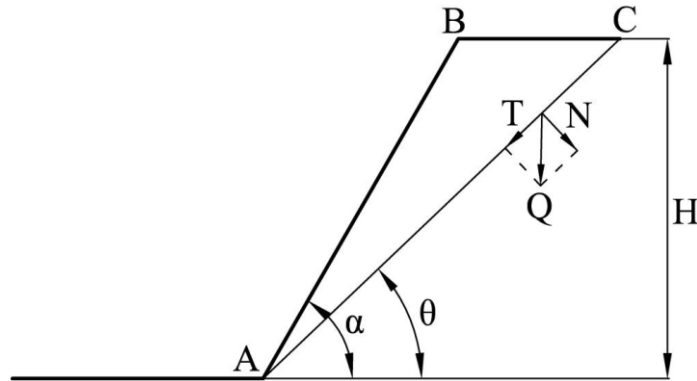


Рисунок 3 — Схема к расчету устойчивой высоты уступа по П. М. Цимбаревичу

Предполагается, что однородный массив имеет сопротивление пород разрыву, равное нулю. Сдвигение блока  $ABC$  шириной, равной единице происходит по плоскости,  $AC$  — след этой плоскости. Сдвигающей является проекция силы веса  $T$  призмы  $ABC$  на линию  $AC$ , удерживающими — силы сцепления  $C$  и трения  $N \cdot \operatorname{tg} \rho$  вдоль линии  $AC$ .

В общем виде условие равновесия пород по поверхности сдвига  $AC$  имеет вид

$$Q \cdot \sin \theta = Q \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \cos \theta + C \cdot l \quad , \quad (2)$$

где  $l$  — длина линии скольжения  $AC$ ;

$\theta$  — угол наклона поверхности скольжения.

Определим величины, входящие в уравнение (2):

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H \cdot (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha) \quad , \quad (3)$$

$$l = \frac{H}{\sin \theta} \quad , \quad (4)$$

где  $\alpha$  — угол наклона откоса поверхности.

Подставляя в уравнение (2) значение входящих в него величин (3) и (4), получим



$$\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H \cdot (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (\sin \theta - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \rho) = \frac{C}{\sin \theta} \quad (5)$$

Выполним следующее преобразование:

$$\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \alpha \cdot \sin \theta} \quad ,$$

$$\sin \theta - \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \rho = \cos \theta \cdot \frac{\sin(\theta - \rho)}{\cos \theta \cdot \cos \rho} \quad .$$

С учетом этих зависимостей приходим к уравнению равновесия:

$$\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H \cdot \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \alpha \cdot \sin \theta} \cdot \frac{\sin(\theta - \rho)}{\cos \rho} = \frac{C}{\sin \theta} \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно  $H$ , получим

$$H = \frac{2 \cdot C}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha - \theta) \cdot \sin(\theta - \rho)} \quad (7)$$

Для вертикального откоса, когда  $\alpha = 90^\circ$ , имеем

$$H_{90} = \frac{2 \cdot C}{\gamma} \cdot \frac{\cos \rho}{\sin(90^\circ - \theta) \cdot \sin(\theta - \rho)} \quad (8)$$

Зависимости (7) и (8), полученные на основе отличающихся расчетных схем, похожи по структуре. Однако значения величины  $H_{90}$ , определенные по формуле (8), примерно вдвое превышает те же значения, определенные по формуле (7). Следует отметить, что в практических расчетах используют обычно зависимость В. В. Соколовского — И. А. Симвулиди, поскольку из всех известных соотношений она дает наименьшее значение высоты вертикального обнажения.

Расчетная схема, приведенная на рисунке 3, является самой простой. Известны более сложные задачи и соответствующие им аналитические решения, учитывающие способность пород откоса сопротивляться разрыву, наличие над уступом вертикальной части  $H_{90}$ .

### 3.1.3 Методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности сдвижения

Методы расчета откосов, основанные на криволинейной поверхности сдвижения, можно подразделить на две группы. К первой относятся методы, в которых форма поверхности сдвижения определяется в ходе решения задачи. Это хорошо и дано известные аналитические и графоаналитические решения.

В методах второй группы криволинейная форма поверхности принимается заранее, а сам метод сводится к алгоритму построения этой поверхности.

Объем породы, расположенный между поверхностью обнажения откоса и поверхностью возможного скольжения, называют призмой возможного обрушения. Сдвигающие силы на поверхности возможного скольжения обуславливаются, в основном, весом пород призмы обрушения.

Для оценки устойчивости откоса в массиве отыскивают наиболее слабую поверхность, где удерживающие силы  $\sum F_i$  находятся по отношению к сдвигающим силам  $\sum T_i$  в наиболее неблагоприятном отношении. Форма поверхности возможного скольжения зависит от множества факторов — механической прочности массива, трещиноватости, слоистости, обводнённости и т. п.

Метод, предложенный Ю. М. Соловьёвым, основан на принятии модели гипотетического грунта, особенностью которой является предположение о том, что в вертикальных плоскостях породного массива отсутствуют нормальные напряжения и, следовательно, между вертикальными блоками, на которые условно разбита призма возможного обрушения, отсутствуют силы трения. Задача сводится к определению экстремальной поверхности сдвижения, то есть такой поверхности, вдоль которой сопротивление сдвигу будет наименьшим. Расчетная схема приведена на рисунке 4. Рассматривается условие равновесия точки  $m$ , лежащей на экстремальной поверхности сдвижения

$$dT_i - dF_i = a , \quad (9)$$

где  $a$  — некоторая очень малая величина.

Определим входящие в уравнение (9) величины

$$dT_i = \gamma \cdot Z_i \cdot \sin \theta \cdot dx , \quad (10)$$

$$dF_i = \gamma \cdot Z_i \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \cos \theta \cdot dx + C \cdot \frac{dx}{\cos \theta} .$$

С учетом (10) уравнение равновесия (9) примет вид

$$\gamma \cdot Z_i \cdot (\operatorname{tg} \rho \cdot \cos \theta - \sin \theta) \cdot dx + C \cdot \frac{dx}{\cos \theta} = a . \quad (11)$$

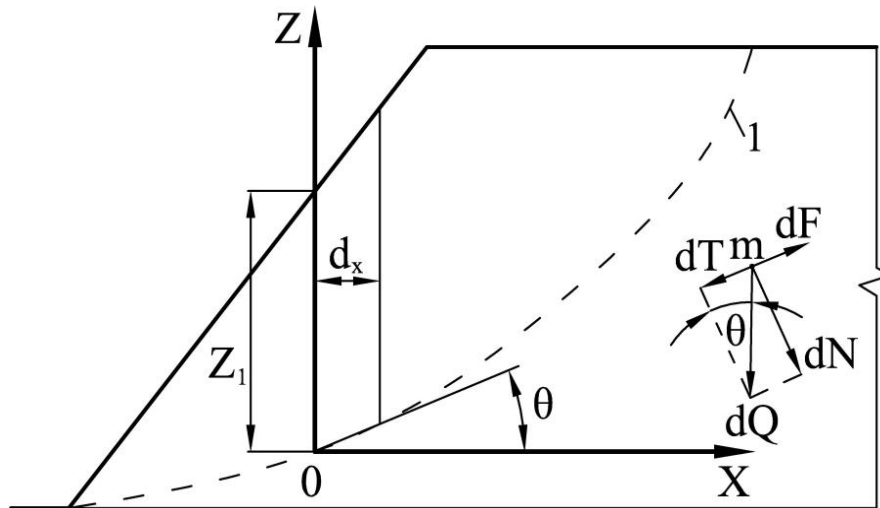


Рисунок 4 — Расчетная схема к определению положения экстремальной поверхности сдвига (1)

Определим угол наклона поверхности сдвига таким образом, чтобы величина  $a$  была минимальной ( $a \rightarrow \min$ ). Для этого продифференцируем уравнение (11) один раз по переменной  $\theta$  и приравняем полученное выражение нулю

$$\frac{da}{d\theta} = -\gamma \cdot Z_i \cdot (\operatorname{tg} \rho \cdot \sin \theta + \cos \theta) \cdot dx + \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \cdot dx = 0 . \quad (12)$$

Из соотношения (12) получим уравнения экстремальной поверхности сдвига

$$\frac{C}{\gamma \cdot Z_i} = (\operatorname{tg} \rho + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \cos^2 \theta . \quad (13)$$

Для построения поверхности сдвига этим методом, который часто называют методом отсеков, необходимо знать начальное значение  $Z_i$  и от точки к точке определить экстремальное положение поверхности сдвига.

К. Терцаги впервые был предложен так называемый графоаналитический метод, суть которого состоит в предположении, что поверхность сдвига является кругло цилиндрической.

Расчет производится методом приближения, состоящем в повторении расчетов для нескольких возможных поверхностей скольжения. Наиболее опасной (экстремальной) будет поверхность, для которой коэффициент устойчивости будет минимальным. Для обеспечения устойчивого положения откоса минимальный коэффициент устойчивости должен быть не менее 1,5. Если он окажется меньшим, необходимо сделать откос более пологим и повторить расчеты.

Рассмотрим этот метод более подробно. Сущность метода состоит в следующем. На разрезе откоса, который вычерчивается в определенном масштабе,

наносится ряд возможных цилиндрических поверхностей скольжения рисунок 5, а, каждая из которых обеспечивает определенный, пока неизвестный, коэффициент запаса прочности  $k_i$ . Длина возможных поверхностей скольжения вдоль фронта работ принимается равной единице. Каждая из очерченных призм скольжения разбивается на вертикальные отсеки одинаковой ширины  $b$  (рисунок 5, б). Взаимодействие между отсеками отсутствует.

Вес каждого из откосов  $Q_i$  раскладывается на составляющие

$$T_i = Q_i \cdot \sin \alpha \text{ и } N_i = Q_i \cdot \cos \alpha .$$

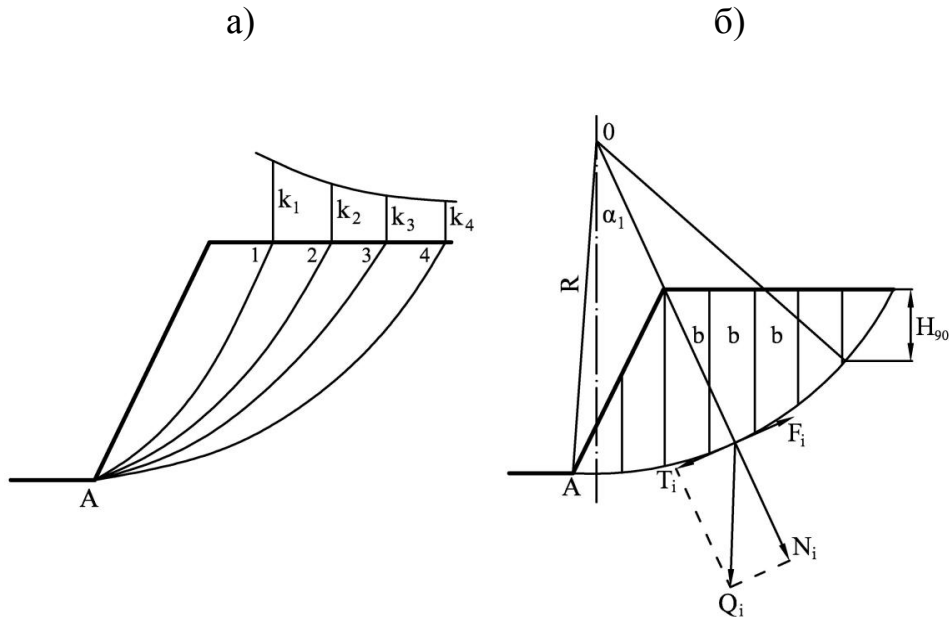


Рисунок 5 — Схемы к расчету устойчивости откосов по К. Терцаги

Для определения коэффициента устойчивости  $k_i$  откоса рассматривают соотношение моментов сил, действующих относительно точки  $O$

$$k = \frac{M_y}{M_c} ,$$

где  $M_y$  — момент сил, удерживающих откос от сползания;

$M_c$  — момент сил, сдвигающих откос.

Момент сил, удерживающих откос, равен

$$M_y = C \cdot l \cdot R + \sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot R ,$$

где  $C$  — сцепление;

$\rho$  — угол внутреннего трения;

$l$  — длина дуги;

$R$  — радиус поверхности скольжения.  
Момент сил, сдвигающих откос, равен

$$M_c = \sum_{i=1}^n T_i \cdot R .$$

С учетом полученных соотношений получим формулу для определения коэффициента устойчивости откоса

$$k = \frac{C \cdot l + \operatorname{tg} \rho \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \sin \alpha_i} . \quad (14)$$

Графоаналитический метод К. Терцаги дает удовлетворительные результаты для сравнительно однородных и необводненных пород.

Исследования последних лет, выполненные на физических моделях и в натуральных условиях, показали, что реальная поверхность скольжения имеет сложную форму (рисунок б), которая может быть получена только в результате численного моделирования. При этом форма кривой существенно зависит от степени неоднородности и влажности пород массива.

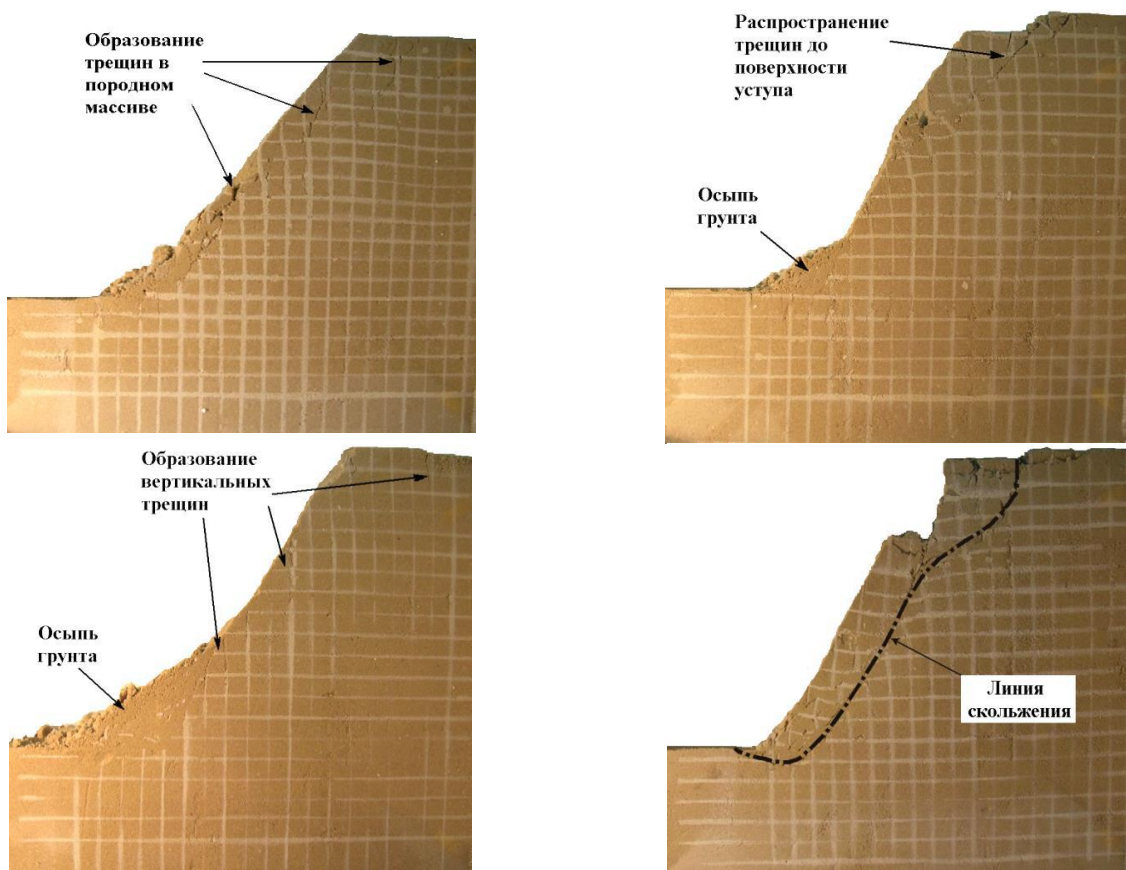


Рисунок б — Результаты моделирования призмы сдвижения на эквивалентных материалах

### 3.1.4 Численные модели при оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов

Оценка устойчивости бортов карьеров и отвалов на основе аналитических зависимостей, приведенных выше, возможна лишь в случае однородных пород, при постоянных физико-механических свойствах и отсутствии дополнительной пригрузки на рабочих площадках уступов. В том случае, если борта карьеров сложены слоистыми породами различной мощности, залегающими под углом к горизонтальной плоскости, в условиях воздействия атмосферных осадков, меняющих физико-механические свойства породного массива, при наличии дополнительной пригрузки от тяжелого горнотранспортного оборудования расчетные модели (схемы) существенно усложняются. Использование замкнутых аналитических зависимостей в этом случае становится некорректным. И тогда на помощь исследователям приходят численные (цифровые) модели, которые позволяют оценить напряженно-деформированное состояние бортов карьеров и отвалов различного геометрического очертания, сложенных породами с произвольной структурой и переменными физико-механическими свойствами.

Оценка устойчивости бортов карьера с использованием численных моделей приведена ниже на примере россыпного рутил-циркон-ильменитового Малышевского месторождения, которое разрабатывается Вольногорским горно-металлургическим комбинатом.

В настоящее время эксплуатация месторождения осуществляется карьером № 7 «Юг» и карьером № 7 «Север». Система разработки — комбинированная с внутренним отвалообразованием. Передовой уступ высотой  $h = 20 - 22$  м отрабатывается вскрышными комплексами в составе роторных экскаваторов, перегружателей, отвалообразователей и конвейеров с укладкой породы во внутренний отвал. Нижележащие вскрышные уступы отрабатываются экскаваторами ЭКГ-8И с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-7548. На добычных горизонтах работают драглайны ЭШ-6/45 и ЭШ-10/50.

При обосновании геометрических параметров карьера большое значение имеют физико-механические характеристики вскрышных пород, которые обуславливают формирование допускаемых углов наклона откосов уступов. При заложении более крутых углов откосов по сравнению с нормативными параметрами возникают оползневые процессы, что приводит к удорожанию горнотранспортных работ в связи с необходимостью уборки обрушенных пород вскрыши (рисунок 7).



Рисунок 7 — Обрушения пород вскрыши на передовом уступе

Формирование более пологих уступов также увеличивает горно-капитальные затраты в связи с увеличением объемов вскрыши. Анализ показывает, что самой затратной частью в структуре себестоимости добычи руды (63 %), являются расходы на проведение горно-подготовительных (вскрышных) работ. В этих условиях с целью обеспечения ритмичной, согласованной и безопасной работы всех звеньев производства особое значение приобретают вопросы управления устойчивостью откосов и бортов карьеров путем перевода их в близкое к предельному устойчивое состояние, при котором обеспечивается экономичное и безопасное ведение горных работ.

Для численного моделирования использован программный продукт конечно-элементного анализа Phase2 версии 7.0 канадской компании Rock Siense. Программа позволяет выполнять анализ устойчивости откосов, анализируя процесс снижения предела прочности на сдвиг (Shear Strength Reduction Method) в породном массиве. Функция снижения прочности на сдвиг (Shear Strength Reduction) в Phase2 позволяет автоматически вычислять критический коэффициент снижения прочности КСП (SRF, Strength Reduction Factor). Если  $КСП > 1$ , то откос находится в устойчивом состоянии, при  $КСП < 1$  возникает сдвиг породы откоса.

Алгоритм расчета коэффициента устойчивости массива включает итерационное вычисление прочностных характеристик во всех элементах массива посредством поэтапной нагрузки модели, в результате чего напряжения в откосе достигают предела прочности на сдвиг, и возникает сдвиг пород (оползень). Процесс вычислений КСП повторяется до момента потери откосом устойчивого состояния и графически выражается в виде наиболее вероятной линии скольжения, по которой происходит сдвиг массива.

На 1 этапе моделируется откос, сложенный однородными породами. Варьируя высоту уступа и угла наклона, определяют геометрические параметры, обеспечивающие безопасность технологических процессов при ведении открытых горных работ.

На 2 этапе моделирования при высоте уступа 20 м определяют коэффициенты запаса устойчивости (КЗУ) при различных углах наклона откоса и величине сцепления.

На 3 этапе моделирования выполняется оценка влияния угла внутреннего трения на устойчивость откоса при высоте уступа 20 м и постоянной величине сцепления, равной 0,040 МПа.

На рисунке 8 представлены результаты численного моделирования устойчивости откоса, образованного в однородном породном массиве.

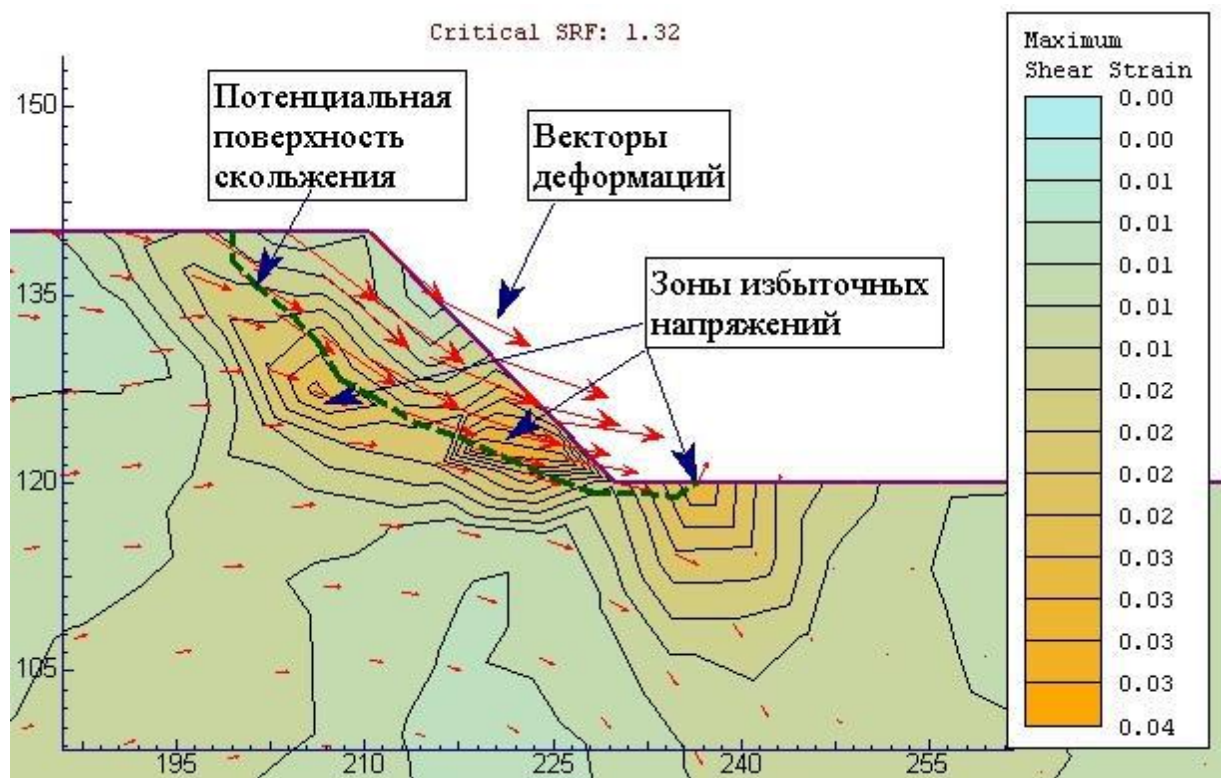


Рисунок 8 — Результат исследования численной модели однородного породного откоса

Отчётливо видна криволинейная поверхность скольжения. Векторы деформации указывают направление движения горной массы в процессе обрушения.

Решение плоской задачи устойчивости бортов карьеров, образованных в однородном массиве горных пород, даёт общее представление об их устойчивости. В реальных же условиях массив вскрышных пород представлен несколькими литологическими разностями, имеющими различные физико-механические характеристики структуру и влажность вмещающих пород.

На рисунке 9 представлена конечно-элементная модель борта карьера с учетом слоистой геологической структуры, обводнённости и наличия тяжёлого оборудования.



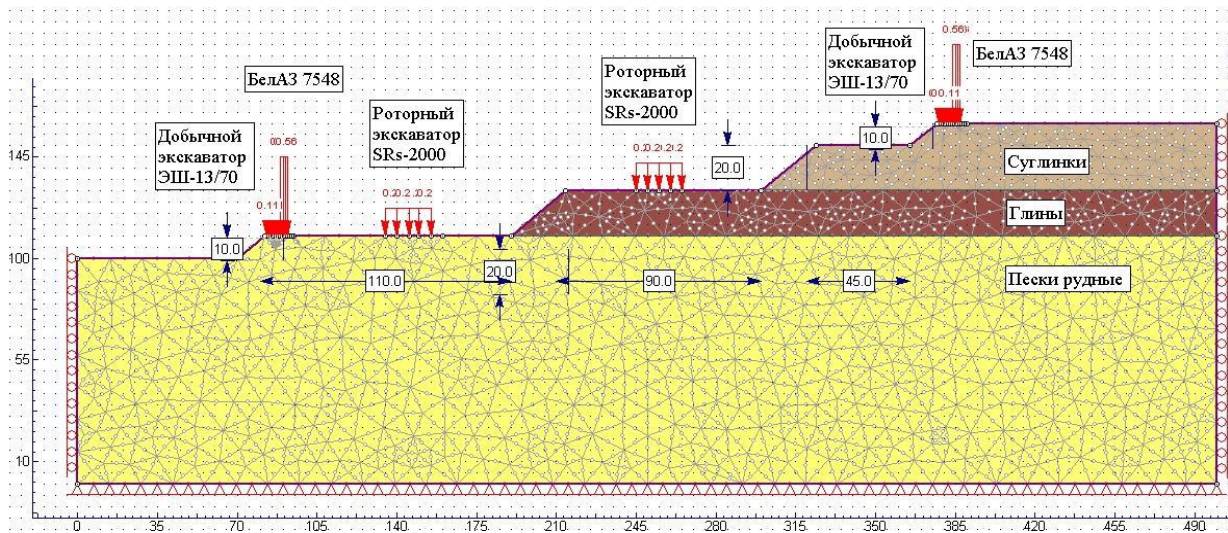


Рисунок 9 — Численная модель борта карьера с учетом комплексного действия факторов: слоистый массив, обводнённость и наличие горнотранспортного оборудования на уступе

На рисунке 10 представлены результаты исследования численной модели с учетом комплексного действия таких факторов, как слоистый массив, его обводнённость и наличие горнотранспортного оборудования на уступе.

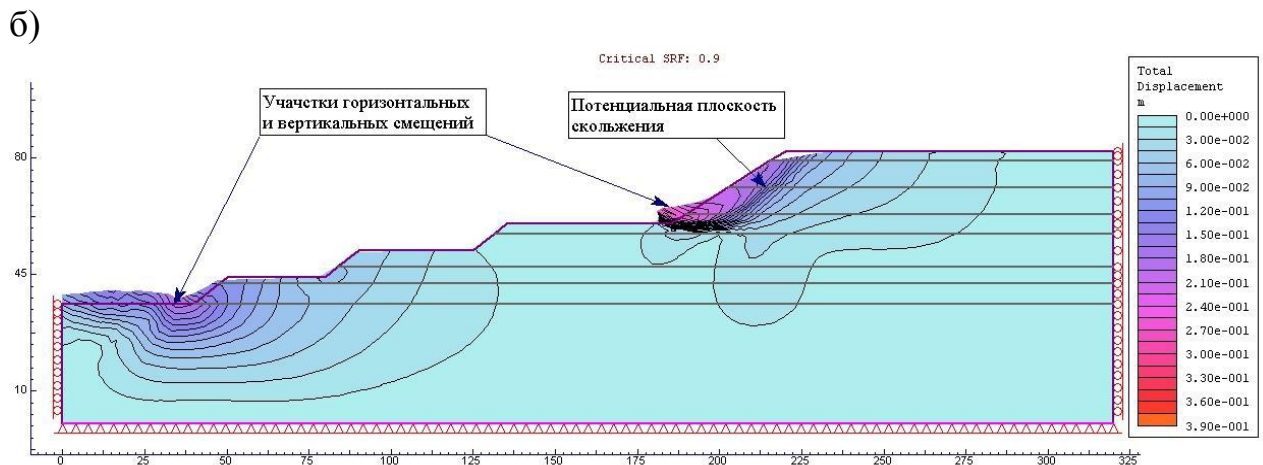
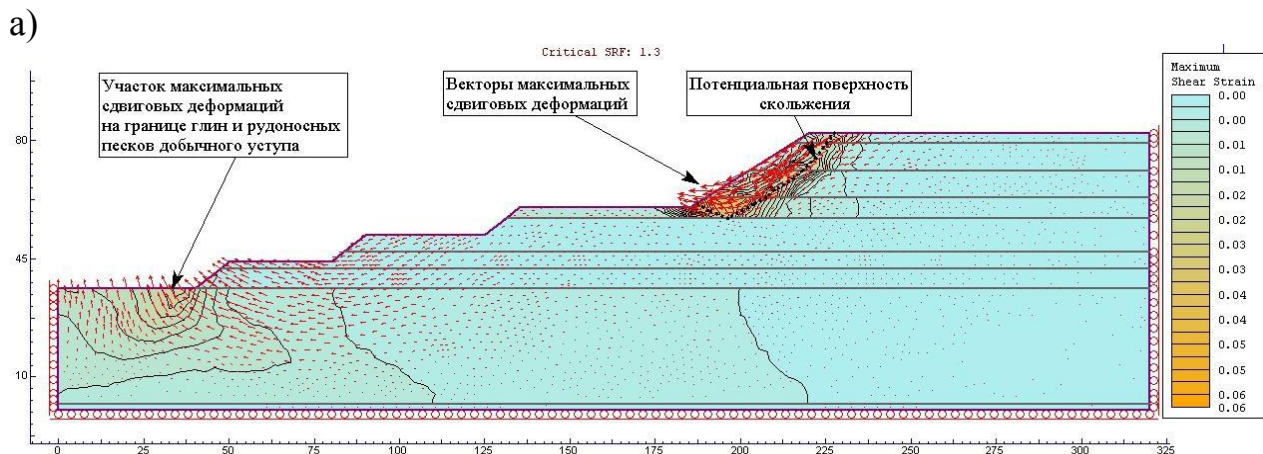


Рисунок 10 — Численная модель откоса в слоистом массиве:  
а) КЗУ = 1,3; б) КЗУ = 0,9

Расчёты выполнены для горно-геологических и горнотехнических условий карьера №7. Анализ модели показал, что для рассматриваемых условий влажность вмещающих пород является доминирующим фактором, влияющим на устойчивость откосов уступов.

Влияние гидрогеологического фактора оценивается на основе зависимостей угла внутреннего трения и сцепления от влажности суглинков, которые устанавливаются в результате лабораторных испытаний горных пород. Влажность суглинков снижает КЗУ породного массива с 1,3 до 0,9, что может привести к обрушению передового вскрышного уступа (рисунок 10).

Таким образом, применение метода конечных элементов с использованием программного пакета Phase2 позволило комплексно проанализировать геомеханические процессы, происходящие в сложно структурном откосе, установить закономерности нарушения его устойчивости и определить рациональные геометрические параметры.

### 3.2 Расчет бортов карьеров на обрушения

Из практики работ карьеров известно, что наиболее распространенными и опасными видами деформаций бортов карьеров являются оползни и обрушения. Принципиальными отличиями между этими двумя видами деформаций являются различные скорости протекания и места локализации. Оползень — это достаточно длительный процесс, позволяющий принять решение об укреплении откоса и связанный со смещением оползневой призмы вдоль некоторой поверхности, которую принято называть поверхностью скольжения. То есть предельное условие выполняется вдоль определенной поверхности. Что касается обрушений, то они протекают лавинообразно, что и предопределяет их опасность. В отличие от оползней, обрушения обуславливаются потерей прочности в каждой точке обрушаемого массива. Другими словами, при определенном сочетании формы поверхности откоса и внешней нагрузки некоторая часть приобортового массива может пребывать в предельном напряженном состоянии, которое может привести к его обрушению.

Исторически наука об устойчивости откосов развивается по двум направлениям, которые Г. Л. Фисенко [3] назвал методом предельного равновесия и методом предельного напряженного состояния. Метод предельного равновесия подразумевает отыскание в массиве наиболее напряженных поверхностей скольжения и сравнение сдвигающих и удерживающих напряжений вдоль неё и в связи с этим является методом предупреждения оползневых явлений. Метод предельного напряженного состояния подразумевает выполнение дифференциальных уравнений равновесия Навье и предельного кулоновского условия в каждой точке обрушающейся призмы. Данный метод оформлен В. В. Соколовским в его фундаментальном труде, известном под названием «Статика сыпучей среды» [5].

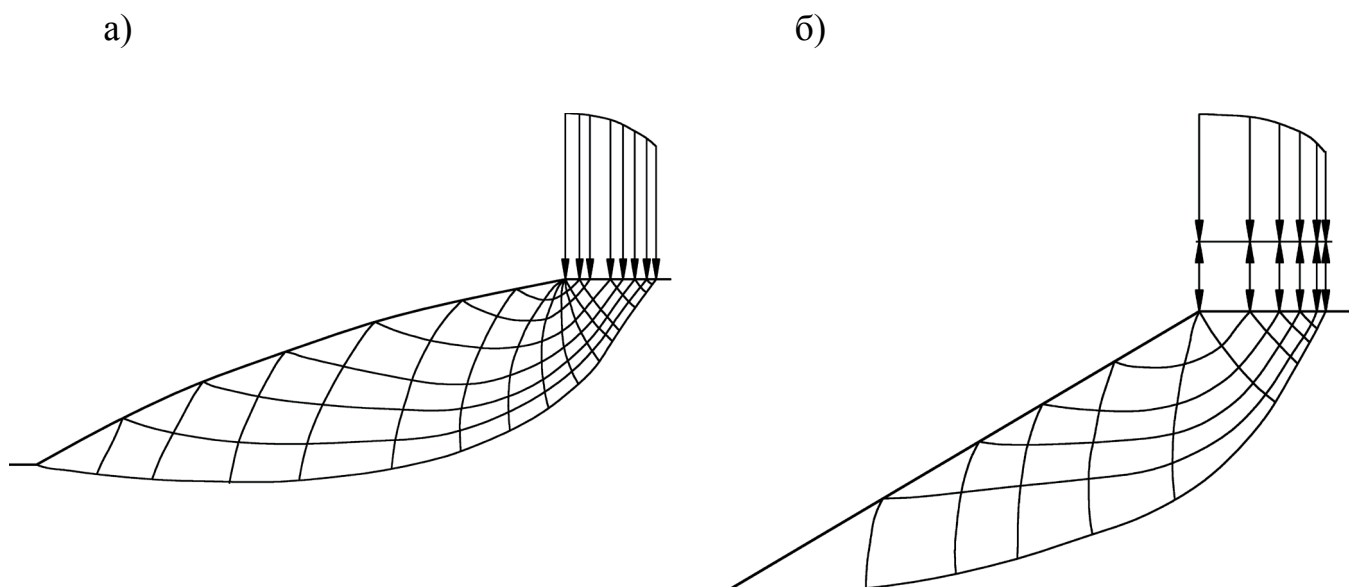


Рисунок 11 — Выпуклый (а) и плоский (б) откосы с расчётной весовой пригрузкой

На рисунке 11 в качестве примера приведены откосы, рассчитанные посредством метода предельного напряженного состояния (Ренкина — Кеттера — Соколовского). Размер пригрузки сочетается с объёмным весом пород откоса.

Из рисунка 11, очевидно, следует неправдоподобность результатов расчётов, которые противоречат любым экспериментальным и натурным данным при всей важности и строгости математических выводов, полученных упомянутыми авторами.

Попытаемся разобраться с причинами данного несоответствия. Совершенно очевидно, что в рамках механики сплошной среды дифференциальные уравнения равновесия безупречны, в связи с этим причины могут быть только в условии предельного равновесия.

Во-первых, на пределе прочности, который описывается критерием Кулона, согласно современным представлениям, формируется генеральный разлом (площадки микросдвигов «выключаются» из деформационного процесса), а площадки сдвигов начинают формироваться уже на пределе упругости и в процессе упрочнения. В процессе пластического упрочнения идут сложные процессы деформирования, порождающие явление дилатансии, при которой материал теряет свою сплошность, увеличиваясь в размерах. Поэтому формулы сплошной среды в фазе упрочнения (и тем более на пределе прочности) не отражают действительности, как, например, в упругой фазе. Более того, экспериментально доказано [6], что пределы прочности горных пород и искусственных материалов, за редким исключением, описываются критерием Кулона. Как правило, область реальной прочности материалов лежит внутри кулоновского паспорта, при этом не учитывается увеличение в объёме горных пород при их пластическом деформировании, а область упругости при этом имеет еще меньшие размеры. То есть использование предела упругости вместо предела прочности не верно. К сожалению, практически повсеместно во всех геомеханических расчетах, включая математическое моделирование, началом выхода материала

в пластическую фазу (пределом упругости) считается выполнение критерия Кулона.

Во-вторых, имеются основания считать, что ориентировка критических площадок сдвига зависит от уровня напряженного состояния, т. е. существует зависимость от вектора напряжений.

В последние годы интерес к данному направлению исследований снизился. Вместе с тем актуальность данного вопроса возрастает в связи с увеличением глубины современных карьеров. Парадоксально, что в действующем нормативном документе по устойчивости бортов карьеров и разрезов [8] о расчете откосов на обрушение ничего не говорится, но здесь есть объективные причины.

В работах [9, 10] на основе континуальных представлений получен, проанализирован и экспериментально проверен аналитический критерий, определяющий предел упругости и предел прочности горных пород, имеющий в компонентах главных нормальных напряжений следующий вид:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2 \cdot C \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{tg\varphi \cdot \sigma_1}{C}\right) \cdot \left(1 + \frac{tg\varphi \cdot k \cdot \sigma_3}{C}\right)}, \quad (15)$$

где  $\sigma_3, \sigma_1$  – главные напряжения;

$C$  – сцепление;

$\varphi$  – угол внутреннего трения ( $f = tg\varphi$  – коэффициент внутреннего трения);

$0 \leq k \leq 1$  – параметр, учитывающий дилатансию горных пород и определяющий при различных частных значениях предел упругости, прочности и функцию пластического потенциала.

Такой недостаток присущ практически всем аналитическим критериям прочности; напротив, некоторые эмпирические критерии, например, Хука — Брауна, устраняют данный недостаток, что делает их более выигрышными по отношению к аналитическим. Однако изобилие сложно устанавливаемых эмпирических коэффициентов, неопределенность исходной функции делают их менее привлекательными при аналитических исследованиях.

Экспериментально подтверждено [6], что в интервал значений  $0 < k < 1$  попадают все без исключения горные породы и искусственные материалы в фазе пластического упрочнения. При  $k = 1$  критерий (15) описывает критерий Кулона в компонентах главных напряжений, а угол наклона критической площадки к минимальному главному напряжению составляет  $\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$ , что полностью соответствует представлениям метода предельного напряженного состояния. При  $k = 0$  уравнение (15) имеет следующий вид:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2 \cdot C \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{tg\varphi \cdot \sigma_1}{C}\right)} = \sigma_1 - 2 \cdot C \cdot tg\psi, \quad (16)$$

где  $\psi$  – угол наклона сдвиговой площадки к минимальному главному напряжению (переменная величина в отличие от существующих представлений).

Критерий (16) для некоторых горных пород определяет предел упругости и для всех без исключения горных пород и материалов описывает нижнюю грань начала пластических деформаций и предел прочности [6]. Верхняя грань для пределов упругости и прочности описывается критерием (15) при  $k = 1$ .

Использование критерия упругости (16) в качестве предельного условия устраняет упомянутые ранее несоответствия и гарантирует некоторый запас прочности для достаточно хрупких материалов.

Используя критерий упругости (16), а также известные зависимости механики сплошной среды

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}; \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot \tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y},$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  – компоненты тензора плоского напряжения;

$\alpha$  – угол между главными площадками и осью  $x$ , получим следующие уравнения:

$$|\tau_{xy}| = \pm C \cdot \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \psi, \quad (17)$$

$$\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \pm C \cdot \cos 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \psi, \quad (18)$$

$$\frac{C}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot (\operatorname{tg}^2 \psi - 1) - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}. \quad (19)$$

Таким образом, с учетом (17), (18), (19) имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} |\tau_{xy}| = \pm C \cdot \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \psi \\ \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \pm C \cdot \cos 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \psi \\ \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = C \cdot \left( \frac{\operatorname{tg}^2 \psi - 1}{\operatorname{tg} \varphi} - \operatorname{tg} \psi \right) \end{cases}. \quad (20)$$

В дальнейших рассуждениях модуль и смену знаков опускаем без дополнительных оговорок. Решая систему (20) относительно компонент плоского поля напряжений, получим:

$$\begin{cases} \tau_{xy} = C \cdot \sin 2\alpha \cdot \operatorname{tg} \psi \\ \sigma_x = C \cdot \left( \frac{\operatorname{tg}^2 \psi - 1}{\operatorname{tg} \varphi} - (1 - \cos 2\alpha) \cdot \operatorname{tg} \psi \right) \\ \sigma_y = C \cdot \left( \frac{\operatorname{tg}^2 \psi - 1}{\operatorname{tg} \varphi} - (1 + \cos 2\alpha) \cdot \operatorname{tg} \psi \right) \end{cases} \quad (21)$$

Заметим, что в системе уравнений (21) угол наклона критической площадки  $\psi$  является переменной величиной.

Пусть  $\operatorname{tg} \psi = p(x, y) = p$ ;  $\cos 2\alpha = q(x, y) = q$ , тогда

$$\begin{cases} \tau_{xy} = C \cdot p \cdot \sqrt{1 - q^2} \\ \sigma_x = C \cdot \left( \frac{p^2 - 1}{\operatorname{tg} \varphi} - (1 - q) \cdot p \right) \\ \sigma_y = C \cdot \left( \frac{p^2 - 1}{\operatorname{tg} \varphi} - (1 + q) \cdot p \right) \end{cases} \quad (22)$$

Подставим функции (22) в дифференциальные уравнения плоского равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = -\gamma,$$

где  $\gamma$  – объемный вес горных пород.

Таким образом, с учетом принятия размерности напряжений в единицах сцепления ( $C = 1$ ) будем иметь следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p \cdot \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} + p \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + q \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + \sqrt{1 - q^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + p \cdot \frac{q}{\sqrt{1 - q^2}} \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \\ 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p \cdot \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} - q \cdot \frac{\partial p}{\partial y} - q \cdot \frac{\partial q}{\partial y} + \sqrt{1 - q^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + p \cdot \frac{q}{\sqrt{1 - q^2}} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} = -\gamma \end{cases} \quad (23)$$

Добавляя к системе (23) уравнения для полных дифференциалов искомых функций

$$\begin{cases} dp = \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy \\ dq = \frac{\partial q}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial q}{\partial y} \cdot dy \end{cases},$$

получим основную систему уравнений предельного равновесия:

$$\left\{ \begin{array}{l} (2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p + q - 1) \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + p \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + \sqrt{1 - q^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{p \cdot q}{\sqrt{1 - q^2}} \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \\ \sqrt{1 - q^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{p \cdot q}{\sqrt{1 - q^2}} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + (2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p - q - 1) \cdot \frac{\partial p}{\partial y} - p \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = -\gamma \\ dx \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + 0 \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + dy \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + 0 \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = dp \\ 0 \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + dx \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + 0 \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + dy \cdot \frac{\partial q}{\partial y} = dq \end{array} \right. \quad (24)$$

Для нахождения характеристик системы (24), согласно известной теории решения гиперболических систем в частных производных [11], необходимо решить уравнение:

$$\det \begin{pmatrix} 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p + q - 1 & p & \sqrt{1 - q^2} & \frac{p \cdot q}{\sqrt{1 - q^2}} \\ \sqrt{1 - q^2} & \frac{p \cdot q}{\sqrt{1 - q^2}} & 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p - q - 1 & -p \\ dx & 0 & dy & 0 \\ 0 & dx & 0 & dy \end{pmatrix} = 0. \quad (25)$$

Решение уравнения (25) дает два действительных семейства характеристик:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(f - 2 \cdot p) \cdot \sqrt{1 - q^2} \pm 2 \cdot \sqrt{f^2 \cdot q^2 \cdot (1 - q^2) + p \cdot (p - f)}}{2 \cdot f \cdot q^2 + (2 \cdot p - f) \cdot q - f}. \quad (26)$$

Аналогично для нахождения соотношений функций на характеристиках системы (24) необходимо решить следующее уравнение [11]:

$$\det \begin{pmatrix} 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p + q - 1 & p & \sqrt{1 - q^2} & 0 \\ \sqrt{1 - q^2} & \frac{p \cdot q}{\sqrt{1 - q^2}} & 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot p - q - 1 & -\gamma \\ dx & 0 & dy & dp \\ 0 & dx & 0 & dq \end{pmatrix} = 0. \quad (27)$$

Таким образом, при решении уравнения (27) соотношения на характеристиках имеют вид:

$$4 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot dp = \frac{2 \cdot p - f \cdot (1 + 2 \cdot q)}{f - p} dq + \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{dy}{dx} \cdot \frac{2 \cdot p \cdot q - f \cdot q + 2 \cdot f \cdot q^2 - f}{(\sqrt{1 - q^2}) \cdot (f - p)} \cdot dq + \\
& + \gamma \cdot dy \cdot \frac{2 \cdot p + f \cdot (q - 1)}{p \cdot (f - p)} + \gamma \cdot dx \cdot \frac{f \cdot (q^2 - 1)}{(\sqrt{1 - q^2}) \cdot p \cdot (f - p)}
\end{aligned}$$

Совместное решение уравнений (26) и (28) позволит определить значения функций  $tg\psi = p(x, y) = p$ ;  $\cos 2\alpha = q(x, y) = q$ , в каждой точке предельно напряженной области, а также границу этой области и внешнюю нагрузку, необходимую для выполнения условия предельного равновесия.

Рассмотрим в качестве примеров задачи о построении предельной формы откоса, в случае, когда на его верхней горизонтальной площадке (берме) приложена равномерно распределенная нагрузка и определении необходимой эпюры пригрузки на верхней берме откоса, имеющего заданную форму, например плоскую.

Для решения уравнений (26) и (28) необходимо воспользоваться конечно-разностным представлением приращений координат и функций (семейство характеристик с индексом 1 будем считать активным, т. е. с падением в откос, а с индексом 2 – с падением в массив):

$$\begin{cases} \Delta x_1 = x - x_1 & \Delta x_2 = x - x_2 \\ \Delta y_1 = y - y_1 & \Delta y_2 = y - y_2 \\ \Delta p_1 = p - p_1 & \Delta p_2 = p - p_2 \\ \Delta q_1 = q - q_1 & \Delta q_2 = q - q_2 \end{cases} \quad (29)$$

Таким образом, используя формулы (26), (27) и (29) и значения функций в двух точках (граничные условия), можно вычислить положение третьей точки предельной области и значения функций  $tg\psi = p(x, y) = p$ ;  $\cos 2\alpha = q(x, y) = q$  в этой точке. Однако формулы (29) пригодны для определения только внутренних точек предельной области (первая краевая задача).

Для точек, расположенных на поверхности откоса, система уравнений несколько изменяется. На поверхности откоса (границе предельной области) для обеспечения условия предельного равновесия могут быть необходимы приложенные нагрузки (напряжения). Для простоты можно рассматривать поверхность откоса (границу предельной области) как совокупность главных площадок, т. е. поверхность, на которую действуют минимальные главные нормальные напряжения, а траектория максимальных главных напряжений совпадает с ней. В этом случае для определения главных напряжений отыскиваемых функций и координат точки откоса, помимо одной пары уравнений (26) и (28) (с индексом 1), необходимо использовать следующие уравнения:



$$\left\{ \begin{array}{l} p = \sqrt{1 + \frac{f \cdot \sigma_1}{C}} \\ \sigma_1 = C \cdot \left( \frac{p^2 - 1}{f} \right) \\ \sigma_3 = C \cdot \left( \frac{p^2 - 1}{f} - 2 \cdot p \right) \\ q = \cos \left[ -2 \cdot \arctg \left( \frac{x - x_2}{y - y_2} \right) \right] \end{array} \right. .$$

Расчеты по указанным схемам осуществляются сверху вниз. В случае определения эпюры нагрузки на верхней берме откоса при его заданной и, в частности, плоской форме расчет ведется снизу вверх, начиная от смежных точек откоса, в которых известны значения функций.

Заметим также, что для повышения точности расчетов и уменьшения погрешностей, вызванных конечно-разностными представлениями, в зависимости (29) вместо известных значений функций в точках можно использовать (подставить) их осредненные с отыскиваемыми значениями. Также для простоты расчетов в уравнениях (28) можно принять  $\gamma = 1$ .

Рассмотрим пример расчета откоса, пригруженного вертикальной равномерной нагрузкой, равной пределу прочности горных пород на одноосное сжатие. Характеристики горных пород, принятые в расчет, следующие:  $\gamma = 1$ ,  $C = 1$ ,  $\varphi = 30^\circ$ . В таблице 2 приведены результаты расчета.

С использованием данных таблицы 2 на рисунке 12, б построена предельно напряженная область (призма разрушения), а на рисунке 12, а приведен свободный вогнутый откос по В. В. Соколовскому [5] для тех же значений физико-механических характеристик горных пород.

Таблица 2 — Расчет координат точек характеристик и значений функций в этих точках

Значения функций	Точки	Активное семейство характеристик (падение в сторону выработки)				
		0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
$x$	-4					8
$y$						0
$p$						1,732
$q$						1
$x$	-3				6	7
$y$					0	-0,836
$p$					1,732	1,913
$q$					1	1

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
$x$				4	5	6
$y$	-2			0	-0,836	-1,685
$p$				1,732	1,913	2,076
$q$				1	1	1
$x$			2	3	4	5
$y$	-1		0	-0,836	-1,685	-2,545
$p$			1,732	1,913	2,076	2,226
$q$			1	1	1	1
$x$		0	1	2	3	4
$y$		0	-0,836	-1,685	-2,545	-3,415
$p$	0	1,732	1,913	2,076	2,226	2,366
$q$		1	1	1	1	1
$\sigma_1$		3,464	4,607	5,733	6,850	7,964
$\sigma_3$		0	0,781	1,581	2,398	3,232
$x$			-0,475	0,129	0,738	1,349
$y$			-1,568	-2,622	-3,687	-4,759
$p$	1		2,115	2,296	2,463	2,618
$q$			0,832	0,833	0,834	0,834
$\sigma_1$			6,015	7,399	8,775	10,139
$\sigma_3$			1,785	2,807	3,849	4,903
$x$				-1,186	-0,757	-0,315
$y$				-3,128	-4,271	-5,418
$p$	2			2,421	2,59	2,747
$q$				0,655	0,668	0,678
$\sigma_1$				8,422	9,887	11,338
$\sigma_3$				3,58	4,707	5,844
$x$					-1,778	-1,246
$y$					-4,729	-5,841
$p$	3				2,602	2,754
$q$					0,76	0,766
$\sigma_1$					9,998	11,405
$\sigma_3$					4,793	5,897
$x$						-2,241
$y$						-6,363
$p$	4					2,767
$q$						0,851
$\sigma_1$						11,528
$\sigma_3$						5,994

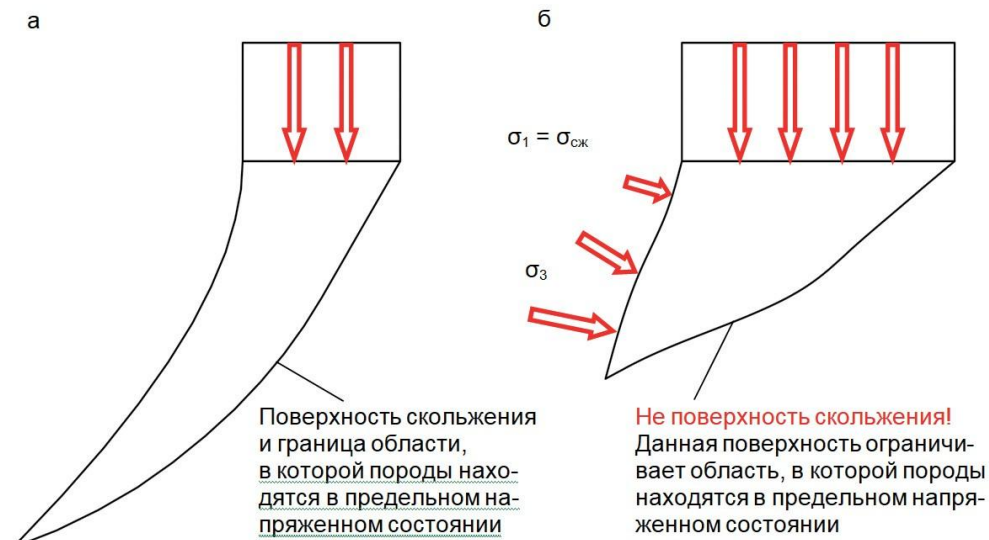


Рисунок 12 — Предельно напряженный откос (призма) по В. В. Соколовскому (а) и построенный с использованием предлагаемого математического аппарата (б)

Оба решения позволяют отыскивать область, в которой породы пребывают в предельно напряженном состоянии, а также определять нагрузку на свободные поверхности этой области для выполнения условия предельного равновесия (рисунок 12). Однако предлагаемое решение имеет ряд важных принципиальных отличий в сравнении с решением В. В. Соколовского.

Во-первых, полученная область возможных вывалов и обрушений имеет правдоподобную форму, которую зачастую мы и наблюдаем в реальных условиях, что нельзя сказать о форме откоса и призмы разрушения по В. В. Соколовскому (рисунок 12, а). Напомним, что именно недостаточная корректность при верификации, стала одной из причин отказа от теории Ренкина – Кеттера – Соколовского при расчете устойчивости бортов карьеров.

Во-вторых, в решении В. В. Соколовского откос свободный, т. е. без приложенных напряжений. В предлагаемом решении для выполнения условия предельного равновесия необходима пригрузка откоса, в рассмотренном примере пригрузка задана минимальными главными напряжениями  $\sigma_3$  (хотя это и не принципиально). Однако совершенно очевидно, что роль данной пригрузки в реальных условиях выполняют породы, например взорванная горная масса. По мере экскавации горной массы, т. е. снижения  $\sigma_3$  в массиве, будет сформирована область вывала или обрушения, которая при приближении экскаватора к забою и его зачистки может являться потенциально опасной.

В-третьих, в отличие от решения В. В. Соколовского, где характеристики системы уравнений совпадают с поверхностями скольжения (сдвиговыми поверхностями), т. е. имеют физический смысл, в предлагаемом решении характеристики не являются поверхностями скольжения, а ограничивают область, в которой выполняется условие предельного равновесия. В связи с этим вывал или обрушение представляется как нарушение сплошности среды (массива) в данной области и перемещения разрушившихся пород как несвязной среды с трением.

Как уже отмечалось, вопросы прогнозирования обрушений и расчета откосов на обрушения не находят своего достаточного отражения в российской научной и в нормативной литературе. Анализ зарубежных авторитетных научных сборников и монографий, посвященных вопросам устойчивости откосов [12, 13, 14], подтверждает это. Более того, руководство по проектированию бортов карьеров [15], в котором, как указывается, содержится исчерпывающая информация по всем вопросам проектирования, разработанное ведущими специалистами в области устойчивости бортов карьеров Австралии, США, Канады, ЮАР, Чили, Англии, Новой Зеландии и т. д., также не содержит информации по методам расчета откосов на обрушения. Все это указывает на отсутствие теории (математического аппарата) расчета горных массивов на обрушения.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. От чего зависят и чем определяются напряжения в грунтовом массиве, из которого формируется откос уступа или борта карьера?
2. Какие методы расчета откосов, основанные на гипотезе плоской поверхности сдвига, вы знаете?
3. Какие методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности сдвига, вы знаете?
4. В чем причина неправдоподобности результатов расчетов и натуральных данных, возникающих при определении параметров устойчивости откосов и бортов карьера?

## 4 МЕТОДЫ СОХРАНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАРЬЕРАХ

Для увеличения углов наклона бортов карьеров на проектном контуре необходимо проводить мероприятия, направленные на надежное обеспечение устойчивого состояния его элементов – отдельных уступов и групп уступов. На стадиях проектирования и эксплуатации необходимо анализировать инженерно-геологические условия разрабатываемых месторождений и производить районирование граничных участков карьерного поля по условиям устойчивости откосов уступов и бортов. Применение искусственного укрепления прибортовых массивов горных пород позволяет увеличить углы откосов на участках с менее устойчивыми породами. Целесообразность укрепления откосов уступов и бортов карьера устанавливается технико-экономическими расчетами.

### 4.1 Сохранение устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при ведении буровзрывных работ

Хорошо известно, что при производстве буровзрывных работ горный массив подвергается сейсмическому воздействию. Колебания частиц массива сопровождается, как раскрытием имеющих, так и образованием новых трещин ослабляющих массив. Поэтому, решением вопроса повышения устойчивости откосов уступов и бортов карьера является снижение сейсмического воздействия [16].

Проблема обеспечения устойчивости обнажённых плоскостей трещиноватых массивов горных пород при проведении вблизи них массовых взрывов является актуальной в настоящее время. Нормативные документы и техническая литература [17, 18, 19] в области промышленной безопасности указывают в основном на методы оценки сейсмической опасности при проведении массовых взрывов. То есть определяется сейсмически безопасное расстояние до охраняемого объекта, сейсмотеопасная масса заряда ВВ. Исследователи уделяют внимание и другим способам и методам снижения сейсмического действия взрыва. Например, снизить сейсмическое действие взрыва можно регулируя параметры комплекса БВР за счет изменения: диаметра заряда ВВ, потенциальной энергии ВВ, увеличением количества свободных поверхностей на которые производится отбойка. Снижение сейсмического действия можно достичь созданием искусственного экрана (контурной щели) между местом массового взрыва и охраняемым объектом, а также направлением последовательного короткозамедленного взрывания групп скважин.

Практически проектирование БВР необходимо вести с учетом особенностей геологического строения и пространственного положения элементов сложно-структурных массивов: осей шарниров складок, их ядер и крыльев складок, располагая определенным образом врубовые заряды ВВ.

В работе [20] теоретически установлено, что при увеличении длины сейсмической волны и интервала замедления между группами одновременно взрываемых зарядов ВВ (свыше 60 мс) выработки сохраняют устойчивость. В работе [21] показана возможность районирования карьерного поля по коэффициенту сейсмичности. В сейсмовосприимчивых участках производство взрывных работ проводят с осторожностью, так как на этих участках может произойти сдвигание или обрушение пород.

Для разработки методов снижения сейсмовзрывного действия массовых взрывов на обнаженные плоскости горного массива используют формулу определения сейсмобезопасных расстояний (30), из которой видна величина допустимых относительных деформаций.

Методы применяются при проведении массовых взрывов на открытых и подземных разработках. Охраняемыми открытыми поверхностями горного массива являются откосы уступов и борта карьеров, перемычки, кровли или борта подземных горных выработок, камер, целиков.

Формула для определения безопасного расстояния от места производства массового взрыва до плоскости обнажения охраняемого объекта имеет вид:

$$R_{\Phi} \geq \frac{\sqrt{\pi}}{8} \cdot \frac{D \cdot \rho_{\text{В}} \cdot d_3 \cdot c_1 \cdot \Phi_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{(\varepsilon \cdot \rho \cdot c_2^2 + \mu \cdot P \cdot \Phi_2) \cdot \Phi_1} \cdot \left(1 - \frac{\mu \cdot \nu}{1 - \nu}\right), \quad (30)$$

где  $D$  — скорость детонации;

$\rho_{\text{В}}$  — плотность заряжания;

$d_3$  — диаметр заряда ВВ;

$c_1$  — скорость продольной волны в образце породы в районе взрыва;

$c_2$  — скорость продольной волны в образце породы в районе охраняемого обнажения;

$\mu$  — коэффициент трения между отдельностями в массиве в районе взрыва;

$\nu$  — коэффициент Пуассона горной породы в районе взрыва;

$K_1$  — показатель усиления действия взрыва перпендикулярно одновременно взрывающейся группе зарядов ВВ;

$K_2$  — показатель усиления действия взрыва перпендикулярно плоскостям рядов скважин за контуром отбойки при их КЗВ;

$K_3$  — коэффициент отдачи, указывающий, какая часть энергии передается в окружающий место взрыва массив;

$\Phi_1$  — средний показатель трещиноватости массива между местом взрыва и охраняемым сооружением;

$P$  — величина горного давления на уровне забоя взрывающихся скважин;

$\varepsilon$  — предельная допустимая деформация массива в районе обнажения;

$\Phi_2$  — показатель трещиноватости массива вблизи охраняемого обнажения (характеризует устойчивость массива);

$\rho$  — объемная масса породы;

$\pi = 3,14$ .

Инженерная формула расчета показателя усиления действия взрыва перпендикулярно одновременно взрывающейся группе скважин получена на основе учета эффекта взаимодействия зарядов ВВ в трещиноватом массиве:

$$K_1 = \ln 2,7 \cdot [n - \mu \cdot (n - 1)] , \quad (31)$$

где  $n$  — число зарядов ВВ в одновременно взрывающейся группе.

Формула расчета показателя усиления действия взрыва  $K_2$  получена с учётом взаимодействия рядов скважин при их КЗВ и имеет вид:

$$K_2 = \ln(1,7 \cdot N + 1) , \quad (32)$$

где  $N$  — число рядов скважин.

Коэффициент отдачи получен решением энергетического уравнения при взрыве группы зарядов ВВ вблизи открытой поверхности и равен:

$$K_3 = \left( 1 - \sum_{i=1}^z \frac{a_i \cdot n_i^*}{2 \cdot \pi \cdot W_i} \right) , \quad (33)$$

где  $a_i$  — расстояние между скважинами в ряду или при веерной отбойке половина расстояния между концами скважин;

$n_i^*$  — число скважин, взаимодействующих при их одновременном взрыве;

$W_i$  — ЛНС или ЛСПП;

$z$  — число открытых поверхностей вблизи взрывающейся группы зарядов ВВ.

Анализ формулы (30) показывает, что безопасное расстояние между местом взрывания и охраняемым объектом, обеспечивающее его устойчивость зависит от условной массы ВВ в блоке, определяемой произведением ( $D \cdot \rho_B \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ ), от величины ЛНС, диаметра заряда ВВ  $d_3$ , от ориентации блоков относительно охраняемых объектов, определяемых  $K_1$  и  $K_2$ , от естественного или искусственного экранирования взрывных волн, которое определяется показателем трещиноватости  $\Phi_1$ .

Кроме того, в формуле (30) степень устойчивости массива вблизи обнажения подземной полости определяется величиной показателя трещиноватости  $\Phi_2$ , (зависит от размера отдельности, величины раскрытия трещин, количества систем трещин, свойств материала-заполнителя трещин) и величиной горного давления.

Зачастую в качестве критерия устойчивости сооружений в горных породах при многократном производстве взрывов учитывается величина допустимых относительных деформаций  $\varepsilon$ . За пределами этих деформаций происходит остаточное деформирование, потеря устойчивости и обрушение пород на контуре выработки. Горные сооружения можно разделить на классы в зависимости от степени их важности, срока эксплуатации и величины допустимых упругих деформаций, что приведено в таблице 3.

То есть, определяя фактические значения относительных упругих деформаций, можно установить, будет ли сооружение устойчиво. Используя формулу (30), получена формула для определения величины относительных деформаций на контуре обнажения при проведении массовых взрывов:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\pi} \cdot D \cdot \rho_B \cdot d_3 \cdot c_1 \cdot \Phi_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{8 \cdot R \cdot \Phi_1 \cdot \rho \cdot c_2^2} \cdot \left(1 - \frac{\mu \cdot \nu}{1 - \nu}\right) - \frac{\mu \cdot P \cdot \Phi_2}{\rho \cdot c_2^2}. \quad (34)$$

Численный анализ показывает, что второй член правой части формулы (34) на 1-2 порядка меньше первого, поэтому им можно пренебречь.

Определим, например, устойчивость борта карьера при проведении массового взрыва в этом карьере.

Исходные данные:

$D = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $\rho_B = 0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $d_3 = 0,25 \text{ м}$ ;  $c_1 = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $c_2 = 3,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $\nu = 0,25$ ;  $K_1 = 2,98$  при  $n = 10$ ;  $K_2 = 3,55$  при  $N = 20$ ;  $K_3 = 0,2$  при  $a_i = 2 \cdot W_i$ ;  $n_i^* = 3$ ;  $\Phi_1 = 8$ ;  $P = 2,94 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;  $\Phi_2 = 60$ ;  $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $\pi = 3,14$ .

Расчёты дают  $\varepsilon = 0,0035$  при  $R = 100 \text{ м}$ ,  $\varepsilon = 0,0005$  при  $R = 500 \text{ м}$ . То есть на расстоянии  $R > 500 \text{ м}$  (таблица 3) откосы уступов и рабочих бортов карьеров с данными физико-техническими свойствами массивов и параметрами БВР находятся в устойчивом состоянии.

Таблица 3 — Рекомендуемые допустимые значения упругих деформаций для сооружений различных классов

Класс сооружений	Характеристика сооружений, срок их эксплуатации	Допустимая относительная упругая деформация, $\varepsilon$
I	Особо ответственные сооружения длительного срока эксплуатации (более 10–15 лет): гидротехнические тоннели, стволы шахт, капитальные штольни, камеры дробления, водоотлива, околоствольные дворы	0,0001
II	Ответственные сооружения со сроком эксплуатации более 5–10 лет: обводные и транспортные тоннели гидротехнических сооружений, надкамерные целики, квершлагги, борта карьеров, отвалы	0,0002
III	Кратковременно эксплуатируемые сооружения (от 1 года до 5 лет): камеры, уступы, штреки	0,0003
IV	Неответственные сооружения со сроком эксплуатации до года: очистные блоки, рабочие уступы, рабочие борта карьеров и др.	0,0005



В формуле (34) неуправляемыми параметрами являются физико-механические свойства горных пород и горное давление. С увеличением скорости продольной волны в породе  $c_1$  между взрывом и объектом сейсмическое действие взрыва увеличивается. С другой стороны, величина  $c_2$  характеризует прочность (устойчивость) массива на обнажении. С увеличением  $c_2$  устойчивость массива увеличивается. Так как  $c_2$  коррелирует с прочностью пород, то это соответствует данным работы [19, 20]. С увеличением коэффициента трения в районе взрываемого блока  $\mu$  сейсмическое действие взрыва снижается, так как трение между отдельностями в массиве при взрыве препятствует их сдвигению. Горное давление в районе массового взрыва препятствует сдвигению отдельностей в массиве, а значит, препятствует передаче энергии на расстояние. Горные породы с увеличенным коэффициентом бокового распора (Пуассона)  $\nu$  и объёмной массой горного массива  $\rho$  более устойчивы к сейсмо-взрывным нагрузкам.

Управляемыми параметрами, которые обеспечивают снижение относительных упругих деформаций, а также сейсмическое действие массового взрыва на устойчивое состояние открытой поверхности горного массива, являются скорость детонации ( $D$ ), плотность заряжения ( $\rho_B$ ), диаметр заряда ВВ ( $d_3$ ). Кроме того, управляемыми будут параметры, входящие в формулу (33): ЛНС или ЛСПП ( $W_i$ ), а также расстояние между скважинами ( $a_i$ ). Управляемыми можно считать число зарядов в группе ( $n$ ) и число групп зарядов ( $N$ ), взрывааемых короткозамедленно, формулы (31) и (32). Помимо этого, управляемыми можно считать показатели трещиноватости  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Они характеризуют степень трещиноватости, нарушенности массива горных пород.

Рассмотрим численное влияние приведенных выше управляемых параметров. Переход, например, на использование в обводнённых условиях вместо гранулотола, алюмотола ( $D = 5,5 - 6,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ ;  $\rho_B = 900 - 950 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ) на эмульсионные ВВ с фактической (рабочей) скоростью детонации  $D = 2,8 - 3,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  и плотностью заряжения  $\rho_B = 1100 - 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  позволит снизить сейсмическое действие взрыва в 1,4–1,6 раза. Уменьшение диаметра скважин, например, с 250 до 150 мм позволит снизить интенсивность действия сейсмозрывных волн в 1,67 раза. Но при этом увеличиваются показатели  $K_1$  и  $K_2$ , так как если необходимо взорвать одинаковый объём блока, увеличивается число скважин в группе и число групп зарядов ВВ, взрывааемых короткозамедленно. Поэтому этот метод необходимо использовать при отработке приконтурных лент, а также при ведении взрывных работ вблизи неустойчивых или особо важных объектов. Для снижения сейсмического действия взрыва можно уменьшать ЛСПП или ЛНС, увеличивая при этом расстояние между скважинами. Так, при квадратной сетке скважин и одной вертикальной плоскости обнажения  $a_i = W_i$ ,  $K_3 = 0,72$ . При использовании диагональной схемы взрывания, когда уменьшается  $W_i$  и увеличивается  $a_i$ ,  $K_3 = 0,2$ . То есть при уменьшении ЛСПП энергия взрыва перераспределяется на выброс породы и меньшее ее количество воздействует на контурный массив. Увеличение количества обнаженных вертикальных поверхно-

стей, согласно анализу формулы (33), также снижает интенсивность сейсмических волн за счет перераспределения большего количества энергии взрыва на выброс.

Снижать сейсмическое действие взрыва можно уменьшением числа одновременно взрывающихся скважин, согласно формуле (31). Например, при взрыве 10 скважин ( $n = 10$ )  $K_1 = 2,77$ . При взрыве 5 скважин ( $n = 5$ )  $K_1 = 1,78$ , то есть вредное воздействие взрыва можно снизить в 1,55 раза. При короткозамедленном взрыве 10 групп зарядов интенсивность воздействия в направлении последовательного взрывания групп зарядов равна  $K_2 = 2,9$ . При взрыве 5 групп зарядов ВВ  $K_2 = 2,25$ . В противоположном направлении (в сторону отбойки горной массы)  $K_2 = 1$ .

Управлять интенсивностью воздействия взрыва на законтурную часть массива можно, изменяя показатель трещиноватости массива вблизи взрываемого блока. Для этого весьма эффективны П-образные схемы КЗВ. Взрыв оконтурирующих скважин обеспечивает создание между ними зоны сильно нарушенных горных пород. То есть показатель трещиноватости увеличивается  $\Phi_1$  с 60 – 80 до 100 – 120. Это обеспечивает частичное экранирование энергии во взрываемом массиве при взрыве скважин внутри блока. Помимо этого, использование П-образных схем снижает средний размер куска на 20% и выход негабарита на 30 – 40 %.

Значимость приведенных формул состоит в том, что заключенные в них управляемые и неуправляемые параметры объединены в единое целое. Используя формулы, можно численно анализировать степень снижения интенсивности воздействия взрыва на окружающий массив. Изменяя параметры буровзрывных работ и применяя специальные методы снижения их влияния на массив, можно определить безопасное расстояние до охраняемого открытого участка горного массива.



Рисунок 13 — Фактическое положение Лебединского и Стойленского карьеров, Коробковского месторождения, г. Губкин и точки наблюдения за геодинамическими процессами от массовых взрывов

Предложенные методы могут быть применены для промышленных испытаний и промышленного использования с целью сохранения устойчивости бортов карьеров, открытых поверхностей подземных горных выработок, камер и целиков. Методы могут быть использованы при отработке приконтурных лент на карьерах и разрезах.

С целью сохранения устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при проведении массовых взрывов в сложно структурных массивах железистых кварцитов Лебединского, Стойленского карьеров и шахты им. Губкина комбината «КМА Руда» в Оскольском рудном районе Курской магнитной аномалии организован подземный полигон для изучения сейсмического действия взрывов (рисунок 13).

На рисунке 13: слева — г. Губкин; справа — Лебединский и Стойленский карьеры; штрих-пунктирный контур — границы горного отвода Коробковского месторождения комбината «КМА Руда». Пунктир — расположение регионального разлома; треугольник — автоматизированный полигон наблюдения за геодинамическими процессами от массовых взрывов на карьерах и шахтах Оскольского рудного района.

Используя формулу (34), можно получить величину относительных деформаций ( $\varepsilon$ ), сравнив которую с данными таблицы 3, оценить степень устойчивости обнажений на открытых или подземных горных разработках и при необходимости провести корректировку параметров БВР.

#### 4.2 Инженерные методы повышения устойчивости горных выработок на карьерах

Способы укрепления карьерных откосов можно разделить на четыре основные группы:

- механические способы укрепления;
- способы, направленные на улучшение физико-механических свойств горных пород;
- способы, обеспечивающие изоляцию поверхности откосов от воздействия неблагоприятных внешних факторов;
- комбинированные способы.

Укрепление неустойчивых откосов механическими способами основано на перераспределении напряжений в массиве горных пород. Давление призмы обрушения укрепительные конструкции передают устойчивой части массива. Необходимым условием применения механических способов является наличие прочного, устойчивого массива, находящегося вне зоны возможного обрушения. В качестве средств механического укрепления откосов применяют конструкции (сваи, шпоны, штанги, тросовые тяжи) и сплошные сооружения (подпорные и защитные стенки, контрфорсы). Первые находят преимущественное применение при укреплении откосов скальных и полускальных пород, вторые — для предупреждения оползней и укрепления глинистых пород и фильтрующих откосов. Вторая группа способов направлена на улучшение физико-

механических свойств горных пород путем их упрочнения при помощи различных связующих и цементирующих материалов, нагнетаемых в массив для восстановления нарушенных структурных связей в трещиноватых горных породах или же для создания новых дополнительных связей в рыхлых породах. Покрытие поверхности откосов изолирующими материалами осуществляется при условии интенсивной выветриваемости горных пород в откосах после их обнажения. Покрытия предназначены для изоляции массива горных пород от воздействия внешней среды. В сложных инженерно-геологических условиях производится комплексное укрепление массива с применением различных способов. Например, способ цементации трещиноватых скальных пород применяется в сочетании с механическими способами укрепления сваями или штангами.

Способы укрепления горных пород и области их применения приведены в таблице 4. В практике открытых горных работ они находят пока ограниченное применение.

Таблица 4 — Способы укрепления горных пород

Группа способов	Область применения
1	2
<b>Механическое укрепление</b>	
Железобетонные сваи и шпоны	Массивы со слаборазвитой трещиноватостью, подсеченные неблагоприятно ориентированными поверхностями ослабления, падающими в сторону выработанного пространства под углом 20-50°
Штанги и гибкие тросовые тяжи	Крупноблочные маловыветрелые массивы, сланцевые слоистые породы, падающие в сторону выработанного пространства под углом 40-60°
Защитные стенки	Сильнотрещиноватые выветрелые скальные и полускальные породы
Подпорные стенки и контрфорсы	Нарушенные массивы сложной структуры с переслаиванием пород, глинистые и рыхлые увлажненные породы
<b>Упрочнение массива (улучшение физико-механических свойств)</b>	
Нагнетание в массив укрепляющих растворов из полимерных материалов (смола), цементация	Скальные и полускальные нарушенные и трещиноватые массивы, крупнозернистые пески без глин
Силикатизация и электросиликатизация	Породы песчаные и лёссовые (коэффициент фильтрации 0,1-5 м/сутки)
Электрохимическая обработка (электроосмос)	Породы водонасыщенные глинистые (коэффициент фильтрации менее 0,01 м/сутки)

Окончание таблицы 4

1	2
Термическая обработка	Породы лёссовидные, суглинистые и глинистые с коэффициентом воздухопроницаемости 0,2-0,4 см/с
Уплотнения энергией взрыва	Породы суперпесчанистые, лёссовидные, глинистые с коэффициентом пористости более 0,1
<b>Изолирующие и защитные покрытия</b>	
Набрызгбетон по металлической сетке	Сильнотрещиноватые породы, склонные к интенсивному выветриванию или выщелачиванию
Смолизация	Сильнотрещиноватые породы, песчаные и гравелистые откосы
Агромелиоративные мероприятия	Песчано-глинистые откосы
<b>Комбинированное укрепление</b>	
Механическое укрепление с упрочнением	Сложные инженерно-геологические условия
Механическое укрепление с изоляцией	

#### 4.2.1 Механические способы укрепления откосов

Штанги и гибкие тросовые тяжи применяются для укрепления откосов маловыветрелых твердых горных пород крупноблочной, слоистой или сланцеватой структуры. Достоинствами этого вида крепи являются простота её возведения, низкая себестоимость, высокая надежность и эффективность в работе, широкий диапазон условий, в которых она применима.

Необходимая длина штанг определяется мощностью ослабленной зоны, требующей укрепления, и ограничивается технологическими возможностями их установки. Максимальная длина жестких штанг, рекомендуемая к применению на карьерах, составляет 4-5 м. Применение штанг большей длины значительно усложняет производство работ по их установке. Ввиду того, что в условиях открытой разработки основным назначением штанговой крепи является обеспечение устойчивости блока породы, подсеченного поверхностью ослабления, эффективность укрепления обуславливается состоянием массива в месте закрепления замков штанг. Поэтому, если бурение показывает, что массив нарушен на глубине 5-6 м и более, то породы замковой зоны подвергаются частичной цементации или в качестве укрепляющих конструкций применяются гибкие тросовые тяжи.

Применение тросовых тяжей дает возможность располагать замки на большом расстоянии от поверхности откоса в крепких монолитных породах. По характеру работы различают штанги, работающие на растяжение и на срез. По-

следние устанавливаются нормально к поверхности скольжения, имеют увеличенный диаметр и изготавливаются из материалов, имеющих повышенное сопротивление срезу. Штанги и тросовые тяжи, рассчитанные на деформации растяжения, получают предварительное натяжение либо сразу же после их установки (натяжение конструкциям задается при помощи специальных механизмов), либо по мере деформирования массива (самонатяжение). В последнем случае штанги и тросовые тяжи должны устанавливаться под минимально возможным углом  $\varphi$  к поверхности сдвига, однако при этом увеличивается объём бурения и, кроме того, повышается трудоемкость работ по бурению и цементации скважин, установке арматуры. При расположении штанг горизонтально или с наклоном 10-15° к горизонту производство работ упрощается, но при этом штангам задается начальное натяжение.

Основным отличием штанг различных типов является конструкция замковой части. Она обеспечивает надежность работы штанги. Существует большое разнообразие конструкций замков: клиновые, конусные, взрывные и пр. Самонатягивающиеся штанги замков, как таковых, не имеют. Так как бетоном заполняется все свободное пространство между арматурой периодического профиля и стенками скважины, штанга по всей длине соприкасается с окружающими породами и находится с ними в сцеплении. Штангам можно задавать начальное натяжение, для этого вначале заполняется бетоном только часть длины скважины (за зоной сдвига), а затем, после натяжения штанги, - вся скважина.

По мере освоения полимерных материалов в качестве связующего в горном деле находят все большее применение различные полимеры и синтетические смолы. Штанги, при установке которых используются эти материалы, получили название сталеполимерных. В конструктивном отношении они не отличаются от железобетонных. При установке гибких тяжёлых тросов в замковой части расплетается. За счет большой поверхности соприкосновения прядей троса с бетоном образуется прочный замок.

В литературе вместо названия «штанговая крепь», объединяющего такие понятия, как металлические штанги, железобетонные штанги, сталеполимерные штанги, гибкие тросовые тяжи, часто используется термин «анкерная крепь». Затяжкой, рекомендуемой к применению при укреплении откосов анкерной крепью, служат: опорные железобетонные плиты, отдельные для каждого анкера или соединяющие «кусты» из трех-четырех анкеров, деревянные или металлические подхваты, соединяющие анкера каждого ряда, металлическая сетка, затягивающая пространство между анкерами, торкрет-бетон по металлической сетке и т. д.

Необходимость и тип затяжки устанавливаются на месте в зависимости от размеров блоков, возможности их выпадения и склонности пород к выветриванию. Железобетонные сваи и шпоны. Железобетонные сваи являются надежным средством укрепления участков уступов, сложенных крепкими горными породами, ослабленными трещинами, тектоническими нарушениями или слабыми включениями.

Основными достоинствами свайной крепи являются:

- высокая несущая способность свай (особенно с жесткой арматурой), достигающая при работе свай на срез до 100-150 тс;
- простота возведения свай, не требующая специальных сложных приспособлений; рабочим местом служит верхняя площадка уступа, что облегчает транспортировку оборудования и материалов, используемых при укреплении; ширина берм, на которых производятся укрепительные работы, должна быть не менее 6-7 м;
- полная механизация работ, позволяющая достигнуть высокой производительности и низкой себестоимости работ;
- возможность укрепления участков значительной протяженности и большой мощности с глубоким залеганием поверхностей скольжения при условии, что призма возможного обрушения представлена монолитом крепких пород, а зона ослабления имеет незначительную мощность.

Применение свай ограничено и даже невозможно на участках, ослабленных крутопадающими поверхностями скольжения. Если же поверхность скольжения имеет сложную форму с изменяющимися углами падения, крепь возводят с таким расчетом, чтобы сваи пересекали зону ослабления на участках с возможно более пологими углами наклона и как можно ближе к призме упора. Для укрепления уступов необходимо, чтобы свая была установлена ниже ослабленной зоны на глубину, обеспечивающую ее устойчивость. В условиях, когда не исключена возможность работы сваи на изгиб, жесткая арматура в скважине располагается так, чтобы наибольший момент сопротивления ее изгибу совпадал с направлением действия изгибающего момента (направление сдвигающих сил).

В практике открытых горных работ применяют железобетонные сваи двух типов:

- набивные, изготавливаемые на месте производства работ непосредственно в скважинах; в качестве арматуры для этих свай используются железнодорожные рельсы или другой металлопрокат, а также готовые арматурные каркасы;
- сборные типовые железобетонные сваи заводского изготовления, сплошные и трубчатые; сплошные сваи имеют круглую, квадратную и прямоугольную формы поперечного сечения.

Диаметр свай может колебаться в широких пределах: от 200 до 1000 мм. Применение свай ограничивается возможностью бурения скважин различных диаметров, обусловленной наличием парка буровых машин на предприятии. В связи с этим на практике диаметр применяемых свай устанавливается не из расчета на прочность, а из возможности бурения скважин для них.

По характеру работы в деформирующемся массиве различают сваи, работающие на срез и изгиб. Сваи, работающие на срез, имеют сплошное поперечное сечение. Чем больше процент армирования таких свай, тем выше их сопротивление срезу. В этих условиях применяют набивные сваи, армированные рельсами тяжелого типа (Р-43 или Р-50).

Для экономии материалов в некоторых случаях целесообразно применять железобетонные шпоны вместо свай. При необходимости применения шпон,

диаметр которых больше диаметра скважин, последний может быть увеличен путем взрывания камуфлетных зарядов или же с помощью расширителей скважин.

Сваи, работающие на изгиб, должны иметь наибольшую жесткость пропорциональную модулю упругости материала, из которого изготовлена свая, и моменту инерции ее сечения. Для увеличения сопротивляемости свай изгибу верхние их концы прикрепляются в ненарушенном массиве анкерами. В связи с тем, что при изгибе нормальные напряжения, действующие в поперечном сечении конструкции, имеют максимальные значения у поверхности и равны нулю вдоль нейтральной оси конструкции, целесообразно применять сваи трубчатого сечения.

В зависимости от характера деформирования откоса, физико-механических характеристик пород и диаметра применяемых свай последние устанавливаются в один или несколько рядов. При установке свай в один ряд на небольшом расстоянии друг от друга образуется сплошная свайная стенка, аналогичная шпунтовой. Такие стенки находят применение при сооружении искусственных улавливающих берм. Если сваи устанавливаются в два-три ряда, образуется подобие подпорной стены шириной, равной расстоянию между первым и последним рядами свай. Для того чтобы все сваи работали как единое целое, верхние их концы соединяют железобетонным ростверком.

Подпорные и защитные стенки, контрфорсы из скальных пород. Массивные подпорные стены, применяемые в гидротехническом, дорожном и специальном строительстве находят ограниченное применение в практике открытых горных работ в силу присущих им недостатков, основными из которых являются:

- трудоемкость возведения этих сооружений, требующих затрат материалов и рабочей силы;
- высокая себестоимость укрепления (по сравнению со стоимостью укрепления способами);
- относительно небольшая несущая способность, прямо пропорциональная ширине и массе стены;
- большая масса, создающая дополнительную нагрузку на нижележащие уступы.

Подпорные стены относятся к сплошным сооружениям. Они создают единый фронт сопротивления сдвигающимся горным породам, поэтому их применяют для стабилизации оползней глинистых пород. Внутри оползня отсутствуют существенные силы взаимосвязи между частицами горных пород. Поэтому движение оползня может быть остановлено только сооружениями, создающими лобовое сопротивление. К тому же оползающие породы обычно значительно, увлажнены.

Подпорные стены могут оказать сопротивление оползню только в том случае, если ширина их больше фронта распространения оползня, а высота достаточна, чтобы предотвратить «перетекание» пород через стену. Основание (фундамент) стены должно находиться вне зоны действия оползня, в горных породах, обладающих достаточным сопротивлением сдвигу с учетом веса сте-



ны и давления, оказываемого на нее оползнем. Во избежание скопления воды за подпорной стеной и тем самым создания дополнительных напоров, необходимо в подпорных стенах устанавливать на определенном расстоянии дренажные трубы.

Железобетонные подпорные стены рассчитывают на сдвиг и опрокидывание, они должны иметь достаточное сопротивление сдвигу по основанию. Конструктивно стены сооружают на прочном скальном или полускальном основании или же на свайных фундаментах. В отличие от массивных железобетонных подпорных стен, защитные стенки имеют небольшую толщину (0,5-1,5 м). Они сооружаются для предотвращения локальных вывалов, обрушений ограниченного объема и осыпей в откосах, сложенных выветрелыми горными породами.

Устойчивость защитных стенок обеспечивается заделкой фундамента в основание укрепляемого уступа и анкерованием верха стенки. Промежуточные анкеры устанавливаются для сокращения пролетов при наличии опасности возникновения больших по величине изгибающих моментов. В качестве анкеров применяются металлические штанги или тросовые тяжи (в зависимости от длины анкера). Защитными стенками этого типа укрепляются уступы трещиноватых скальных и полускальных пород. Тонкие подвесные стенки толщиной 0,05-0,10 м сооружаются исключительно для предотвращения образования осыпей. Металлическая сетка навешивается на штанги длиной 1,5-2,5 м, предварительно установленные на определенном расстоянии друг от друга. Затем поверхность откоса покрывается набрызгбетоном. Эти стенки относятся к группе изолирующих покрытий поверхности откосов. Вариантом подвесной стенки является затяжка поверхности откоса сборными железобетонными плитами.

Контрфорсы, отсыпаемые из скальных пород, выполняют те же функции, что и подпорные стены, но, в отличие от последних, являются более дешевыми сооружениями (если скальная вскрыша добывается попутно). Им присущи и некоторые недостатки: большая собственная масса и большие площади, требующие значительной ширины берм, на которые отсыпается контрфорсы, если отсыпка производится на заоткошенные уступы. Для сохранения ширины берм производится частичная выемка рыхлых пород и замена их скальными. Эти работы ведутся в определенной последовательности с минимальным опережением выемки. Обычно контрфорсы не имеют фундаментов, но отсыпаются на специально подготовленное основание. Если в основании оползня залегают скальные или полускальные породы, то их рыхлят на глубину 1-1,5 м с помощью буровзрывных работ. При наличии слабых пород, поддающихся экскавации, делают выемку на такую же глубину таким образом, чтобы основание контрфорса не совпадало с поверхностью скольжения. Для предотвращения сдвига в основании контрфорса может закладываться специально подготовленный свайный фундамент. Фундамент представляет собой ряд вертикальных свай, забитых в основание уступа не на полную длину. Выступающие на 2-2,5 м верхние концы свай перевязываются поперечными железобетонными ригелями. На это основание производится отсыпка скальной породы. Дренаж воды через

тело контрфорса обеспечивается удовлетворительно при содержании глинистых пород в материале отсыпки в пределах до 20 %. Для предотвращения фильтрационных деформаций уступов поверхность откосов уступов пригружается фильтрующим материалом — гравием, щебнем или скальными породами вскрыши. Это мероприятие предохраняет поверхность откоса от размыва сточными водами, препятствует выносу частиц пород подземными водами и развитию фильтрационных деформаций откосов. Отсыпка фильтрующего материала может производиться на заоткошенную поверхность уступа без выемки части рыхлых пород. В этом случае пригрузка имеет в поперечном сечении форму треугольной призмы, а откос выполаживается. При выемке части рыхлых пород и замене их фильтрующим материалом угол откоса уступа чаще всего равен углу естественного откоса материала, из которого отсыпается пригрузка.

#### 4.2.2 Искусственное упрочнение массива

Упрочнение массива горных пород на ослабленных участках достигается введением в трещины массива веществ, которые после отвердевания и схватывания с породой значительно повышают её характеристики сопротивления сдвигу. Введение упрочняющего вещества в массив осуществляется под давлением, а в качестве упрочняющегося материала применяются цементные растворы, силикаты и полимерные смолы.

Наибольшее распространение среди методов упрочнения получила цементация горных пород. Цементация производится при проведении выработок в водоносных породах, укреплении неустойчивых и нарушенных массивов. Область её применения — массив, сложенный породами от сильнотрещиноватых скальных и полускальных до крупнозернистых песков и галечников при наличии в породах трещин шириной не менее 0,15-0,20 мм, обеспечивающих доступ цементного раствора в трещину. Породы должны обладать удельным водопоглощением не менее 0,01 л/мин. Наилучший эффект цементации достигается в трещиноватых породах (песчаниках, глинистых и песчаных сланцах, известняках, гранитах, гранито-гнейсах, габбро, аргиллитах, алевролитах и т. д.) при отсутствии в трещинах глинистого заполнения. Цементация в гидротехническом строительстве применяется не только для создания гидроизоляционных завес в основаниях плотин, но и как метод укрепления породного массива. Посредством цементации достигается прочное сопряжение тела плотины с берегом реки и образование надежного упора до заполнения верхнего бьефа. Цементные растворы нагнетаются в массив через скважины и должны иметь сроки застывания, обеспечивающие его проникновение по трещинам на проектное расстояние. Время схватывания цемента с породой регулируют путем добавления в раствор соды, хлористого кальция и других веществ. Одним из условий, препятствующих цементации, является слабая сопротивляемость действию агрессивных вод. Некоторые подземные воды содержат растворимые минеральные соли и кислоты, которые вызывают коррозию цемента и бетона.

Глинизация применяется для заполнения пустот в карстовых породах и в породах с крупной трещиноватостью. К недостаткам этого способа можно отнести большой расход тампонажного материала, значительная продолжительность процесса, слабая сопротивляемость глинистого тампонажного камня внешнему давлению, нецелесообразность тампонажа тонких трещин. Достоинство способа: возможность использования местного тампонажного материала (глины), способность противостоять действию агрессивных вод, разъедающих даже специальные бетоны.

Для укрепления породных массивов применяют также способ силикатизации — введение в массив силиката натрия и хлористого кальция. Так как проницаемость пород слишком мала, введение силикатов в массив может производиться электрохимическим методом. В этом случае внедрение растворов производится не за счет нагнетания их в скважины, а за счет создания разности электрических потенциалов между соседними скважинами.

Битумизация — заполнение пустот и трещин путем нагнетания в них расплавленного битума. В жидком состоянии битум проникает в трещины с раскрытием более 0,2 мм. Однако даже в твёрдом состоянии битум сохраняет пластичность и при определенном давлении начинает течь и выделяться из трещин.

Искусственное замораживание горных пород применяется при проходке шахтных стволов и других горных выработок в водоносных породах. Технологический процесс очень дорогостоящий и требует длительного времени.

Для упрочнения слабых обводненных песчано-глинистых пород применяют электрофизический метод-электроосмос, т. е. воздействие на породу постоянного тока, в результате чего происходит осушение массива, что повышает его прочностные характеристики.

В последние годы ведутся интенсивные исследования искусственного укрепления трещиноватых горных пород с помощью синтетических смол. Полимерные смолы играют роль синтетического клея, скрепляющего блоки горных пород, разбитых трещинами. Укрепляющие составы — это сложные смеси, включающие синтетическую смолу, отвердитель, ускорители схватывания, стабилизаторы, растворители, другие специальные добавки. Для приготовления растворов используют различные смолы — фенолоальдигидные, аминоальдигидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые смеси и др. Технология упрочнения горных пород нагнетанием скрепляющих составов апробирована на шахтах Донбасса, Кузбасса, на рудниках ПО «Апатит», Кривбассруда, Урала, Норильского, Кольского и других полиметаллических месторождений.

Технология инъекционного упрочнения широко применяется на горных предприятиях Германии, США, Великобритании, Франции, Японии, Чехии, Бельгии, на рудниках Канады, Индии, США, ЮАР и других стран. Большой опыт по применению полимерных смол для укрепления слабых участков в массиве горных пород имеется, в частности, в Германии. Полимерные смолы применяются здесь для устранения конвергенции, укрепления почвы в рыхлых породах, опережающего крепления горных выработок, заполнения пустот (купо-

лов) в тоннелестроении, на рудниках и шахтах. Наиболее перспективным материалом для упрочнения массива горных пород являются полиуретановые смолы. Они представляют собой материал, образующийся в результате реакции полиизоциантов с полиольными смолами. До смешивания компоненты представляют собой жидкости со сравнительно низкой вязкостью; при соединении компоненты некоторое время сохраняют свойства текучести, затем состав твердеет с увеличением в объеме. Основными достоинствами полиуретанов является большая прочность, низкая молекулярная дисперсность, позволяющая составу проникать в трещины с шириной раскрытия менее 0,01 мм, высокая прочность адгезионной связи («адгезия» от латинского слова *adhaesio* – прилипание) пограничного слоя «полимер – горная порода», высокий коэффициент вспенивания (от 1,5 до 8), низкая токсичность, приемлемое (от 3 до 45 мин) время гелеобразования. Обладая высокой проникающей способностью, упрочняющий состав, при нагнетании его под высоким давлением, заполняет 90–95 % всех имеющихся в массиве трещин. Затвердевший полиуретан обладает остаточной пластичностью, что дает возможность упрочняемому массиву деформироваться без разрушения и выдерживать сейсмические нагрузки. Вспениваясь, полиуретан создает дополнительный распорный эффект, что повышает связи между блоками массива и улучшает его прочностные свойства. Отличительными особенностями полиуретана, определяющими его преимущества перед другими типами смол, являются высокая адгезия с породами при отверждении под давлением, регулируемое время потери текучести и набора прочности, экзотермический характер реакции полимеризации компонентов (саморазогрев) и остаточная пластичность, которая позволяет не терять связности упрочненных пород при взрывных работах и процессах сдвижения горных пород.

Перечисленные выше свойства полимерных полиуретановых смол указывают на целесообразность использования их для укрепления прибортового массива скальных и полускальных трещиноватых пород карьеров. Современный подход к решению проблемы поддержания прибортовых массивов основывается на максимальном использовании собственной несущей способности окружающего массива. Одним из действенных путей повышения несущей способности скального массива, как известно, является упрочнение связей по трещинным контактам структурных блоков в глубине массива и приконтурной его части за счет инъекции синтетических смол или других видов связующих веществ, введение армирующих элементов или комбинированным способом. Это позволяет эффективно решать главные задачи разработки месторождений полезных ископаемых — улучшение показателей извлечения полезного ископаемого, сокращение потерь и повышение безопасности ведения горных работ.

#### 4.2.3 Смолоинъекционное упрочнение породных массивов

Сущность смолоинъекционного упрочнения состоит в том, что быстротвердеющие и обладающие повышенной проникающей способностью скрепляющие составы — химические растворы на основе полимерных смол при

нагнетании их под высоким давлением в трещиноватые массивы проникают в поры и трещины и, отвердевая там, склеивают естественные отдельности, образуя прочно связанный (монолитный) массив, который не расслаивается и не обрушивается. Такое скрепление между собой структурных отдельностей массива по существу представляет собой целенаправленное изменение механических свойств массива горных пород с переводом его в состояние, близкое к монолитному. При этом размеры зоны проникновения упрочняющих составов для трещиноватых массивов практически не ограничены и зависят от направления и протяженности трещин, глубины распространения и величины их раскрытия в массиве.

По сравнению с цементными растворами составы на основе смол обладают большей проникающей способностью (могут заполнить трещины с шириной раскрытия менее 0,01 мм), а сроки их твердения и прочность могут изменяться в широких пределах. Химические растворы, имеющие вязкость, близкую к вязкости воды, способны легко её вытеснить из пор и трещин массива. Прочное и надежное сцепление блоков-отдельностей массива между собой по склеенным трещинам обеспечивается благодаря высокой собственной прочности (когезия) и силе сцепления (адгезия) полимеров с массивом по поверхности трещин. Обладая высокой проникающей способностью, упрочняющие составы на основе синтетических смол способны при нагнетании под большим давлением заполнить до 90–95 % всех имеющихся в массиве трещин.

Смолоинъекционное упрочнение для условий рудных месторождений с неустойчивыми трещиноватыми и в то же время крепкими породами и рудами представляет повышенный интерес и перспективу. Вместе с тем следует отметить, что геологические, гидрогеологические, горнотехнические условия, а также физико-химические свойства руд и вмещающих пород создают определенные трудности для применения смолоинъекционного упрочнения. Основными причинами, затрудняющими процесс инъекции полимерных смол, являются незначительная пористость и слоистость руд и пород, повышенное содержание в них известково-глинистых и карбонатных веществ, которые могут повлиять на процесс кислотного отверждения смол, малое раскрытие трещин. Для упрочнения массива крепких трещиноватых пород, которыми представлено большинство рудных месторождений, эффективно применение синтетических смол, которые обладают достаточной прочностью, низкой (молекулярной) дисперсностью, позволяющей составу на основе смол проникать в тонкие поры и трещины с шириной раскрытия менее 0,01 мм.

Технология упрочнения пород синтетическими (карбамидными) смолами впервые была применена МХТИ им. Д. И. Менделеева и ВНИИ нефтегазпромом для изоляции пластовых вод путём создания водонепроницаемых экранов в нефтяных скважинах. Начиная с 1956 г. этой технологией занимается ИГД им. А. А. Скочинского. Технология упрочнения пород нагнетанием скрепляющих составов на базе синтетических смол основана на создании двух-, трех- и более компонентных растворов химических композиций, соединение и перемешивание которых приводит к образованию твердого вещества с высокой адгезией к горным породам и другими физико-химическими и механическими

свойствами, отвечающими требованиям горного производства. Отверждение соединяемых компонентов происходит в результате реакций полимеризации или поликонденсации, характерных для отверждения синтетических смол при введении отвердителей, затвердения минерального раствора водой или другими специальными растворами.

Опыт многих промышленно развитых стран свидетельствует, что вместо возведения традиционных видов крепи при подземной разработке месторождений во многих случаях целесообразно упрочнять ослабленный трещиноватостью приконтурный массив полимерными композициями, которые позволяют на контуре массива образовать монолитную оболочку с высокой несущей способностью. В смолинъекционной практике одним из важных критериев выбора и оценки способа упрочнения горных пород является размер трещин и сопоставимость этих размеров с размерами частиц упрочняющего раствора. Наиболее тонкие трещины, встречающиеся в горных породах, имеют величину раскрытия порядка 0,01 мм. Для успешного применения упрочняющих составов необходимо, чтобы размеры частиц упрочняющих веществ были в 2 – 3 раза меньше минимального раскрытия трещин. Достижение таких малых размеров упрочняющих частиц возможно при применении растворов химических веществ, в которых вещество находится в молекулярном состоянии, и размеры частиц соизмеримы с размерами самих молекул. Следовательно, этому условию удовлетворяют только химические способы упрочнения.

Укрепляющие составы — это сложные смеси, включающие синтетическую смолу, отвердители, ускорители схватывания, стабилизаторы, растворители и другие специальные добавки. По сравнению с цементными растворами полимерные составы обладают более высокой проникающей способностью, а длительность их твердения и другие физико-химические и механические характеристики можно изменять в широких пределах. Укрепляющий состав, введенный под давлением в трещиноватый массив, остается некоторое время жидким, затем (после периода гелеобразования) он постепенно теряет текучесть, становится вязким и через непродолжительное время — жестким, нерастворимым и практически неплавким.

Около 70 % прочности сцепления с массивом этот материал набирает уже по истечении нескольких часов нагнетания растворов. При этом подача жидких компонентов скрепляющего состава в трещиноватый массив осуществляется при помощи специального технологического оборудования, включающего насосные нагнетательные установки, магистральные высоконапорные шланги, соединительную и запорносмесительную арматуру. Для приготовления растворов используют различные термореактивные смолы — фенолальдегидные, аминоальдегидные, ненасыщенные полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые смеси и другие. Чаще всего применяют полиуретаны, которые могут многократно увеличивать свой объем, быстро твердеть, обладают пластичностью и высокой адгезионной способностью. Благодаря увеличению объема при вспенивании, полиуретан эффективно заполняет пустоты и трещины породного массива, однако стоимость его остается еще достаточно высокой.

В предварительный этап работ по упрочнению входят оценка трещиноватости горных пород, составление минералогических характеристик, назначение вида и рецептур состава, выбор технологического оборудования, установление параметров нагнетания (давление и темп нагнетания устанавливаются опытными нагнетаниями). Радиус распространения скрепляющего состава по трещинам массива каждый раз определяется экспериментально. На основе полученных данных задают параметры инъекционных шпуров или скважин на данном конкретном участке упрочнения.

В практике смолоинъекционного упрочнения горных пород различают три схемы инъектирования массива: предварительное, опережающее горнопроходческие работы, одновременное и последующее. Предварительно горные породы укрепляют до проведения в них горных выработок или до начала добычных работ, что должно заблаговременно обеспечить благоприятные и безопасные условия ведения горных работ. Одновременное укрепление выполняют в процессе проведения выработок, и оно входит в состав проходческого цикла. Последующее укрепление применяют для упрочнения горных пород после того, как выработки уже пройдены.

По способу подачи ингредиентов и месту изготовления укрепляющих растворов также различают три технологические схемы: однорастворную, многорастворную и смешанную. В первом случае раствор изготавливают заблаговременно до подачи его в массив, используя для этого специальную емкость, в которую подают, а затем перемешивают в ней отдельные компоненты. Согласно второй схеме, ингредиенты смеси подают отдельно, перемешивая их в инъекционной скважине (шпуре). Третья схема предусматривает подачу ингредиентов раствора непосредственно перед нагнетанием в специальный смеситель, откуда готовую смесь закачивают в массив.

Первая схема наиболее проста, но при её использовании необходимо выбирать такое соотношение компонентов, при котором длительность гелеобразования смеси составляла бы не менее 30–40 мин. В противном случае часть заранее приготовленной порции может затвердеть до окончания нагнетания, что приведет к засорению используемого оборудования и выводу его из строя. При одновременном нагнетании двух растворов трудно обеспечить тщательное перемешивание компонентов внутри инъекционного шпура, что ухудшает требуемое качество состава. На практике чаще всего применяют смешанную схему нагнетания. Она позволяет легко изменять продолжительность процесса гелеобразования и технические свойства твердеющей смеси, при этом (по сравнению с однорастворной схемой) прочность сцепления пород повышается. При отдельном нагнетании смолы и отвердителя можно использовать менее мощные насосы. Инъекционные составы в массив обычно нагнетают насосами, развивающими давление от 3 до 30 МПа.

В последние годы разработаны безнасосные схемы инъектирования. В инъекционную скважину помещают специальные ампулы с ингредиентами укрепляющего состава, который проникает в массив за счет взрыва заряда ВВ, помещенного в эту же скважину, или за счет многократного увеличения объема смеси в замкнутом объеме скважины после механического разрушения ампул и

перемешивания компонентов состава. С точки зрения технического уровня и тенденций развития рассматриваемого вопроса зарубежный опыт инъекционного укрепления пород синтетическими смолами в настоящее время представляет большой интерес. Наиболее широко укрепление трещиноватых массивов с помощью инъекций составов на основе синтетических смол используют при разработке угольных месторождений, однако в последние годы смолоинъекционные методы стали применять и при разработке руд черных и цветных металлов. На угольных шахтах эти методы применяются для повышения устойчивости кровли очистных забоев, сопряжений лав со штреками, межслоевых пачек при разработке мощных пологих пластов, кровель и нависающих угольных массивов при разработке крутых пластов, повышения устойчивости горных пород в зонах геологических нарушений (в том числе под- и надработки пластов), переходах одних выработок другими и прочих ослабленных зон. При разработке месторождений нагнетание укрепляющих составов в породный массив позволяет упрочнять локальные и крупные участки рудников, очистные блоки, в первую очередь — трещиноватые массивы оснований блоков. При разработке залежей системами с обрушением — пород кровель, опорных и панельных целиков — при разработке системами с открытым очистным пространством, других участков и зон, требующих повышения устойчивости в целях обеспечения их несущей способности.

Эффективность применения полимерных составов для повышения устойчивости трещиноватых пород определяется, прежде всего, прочностью адгезионной связи пограничного слоя полимер - горная порода. В наибольшей степени этому требованию удовлетворяют эпоксидные смолы. В настоящее время, учитывая острую необходимость в эпоксидных смолах горнодобывающих отраслей, в США налажено производство более 130 их модификаций. Смолы на эпоксидной основе используют для упрочнения пород кровли выработок на угольных шахтах. В странах СНГ разработаны и выпускаются несколько марок эпоксидных смол, применяемых при укреплении кровли очистных камер и подготовительных выработок на шахтах НПО СУБР сталеполимерными и полимерными анкерами. Использование их в подземных условиях ограничено из-за высокой вязкости, большой стоимости и токсичности.

Выполненные МГГУ научно-экспериментальные исследования позволили установить область рационального применения метода смолоинъекционного упрочнения и на этой основе систематизировать возможные объекты упрочнения при разработке рудных месторождений. Применение на этих объектах технологии упрочнения пород нагнетанием скрепляющих составов в разработанных вариантах может дать высокие результаты. Согласно выполненным исследованиям инъекционное упрочнение целесообразно в горных породах, имеющих собственную прочность хотя бы на молекулярном уровне. К ним относятся все крепкие трещиноватые, средней крепости горные породы, включая сланцы, песчаники и т.п.

Смолами могут быть упрочнены трещиноватые массивы со среднеблочной и мелкоблочной структурой, слабым взаимным зацеплением отдельностей размером до 0,5 м, с интенсивностью трещиноватости от 0,1 мм/м и более, ши-



риной раскрытия трещин от 0,01 мм, удельным водопоглощением от 0,01 л/мин и выше, реометрической проницаемостью пород от 0,15 МПа/(м·мин) и выше.

В целом можно отметить, что наибольший упрочняющий эффект обеспечивают полимерные смолы, обладающие гомогенной структурой и высокой проникающей способностью, лучшей адгезией с породами при отверждении. Поэтому они могут считаться наиболее перспективными при решении задач повышения устойчивости горных пород способом инъекционного упрочнения. Из всех полимерных смол для этой цели наиболее эффективными являются полиуретановые и карбамидные смолы.

Смолоинъекционное упрочнение находится на стадии активного развития и, во-первых, весьма разнообразны сами методы и способы, во-вторых, заметна тенденция разработки все новых и новых упрочняющих веществ с улучшенными физико-механическими характеристиками и другими химико-техническими показателями. Интенсивное развитие новых научных направлений и идей в технических и технологических решениях, касающихся методов и средств упрочнения горных массивов, в перспективе должно привести к более эффективным мерам в области смолоинъекционного упрочнения прибортовых массивов на карьерах и рудниках.

Укрепление прибортового массива горных пород синтетическими смолами — это новое направление в теории и практике управления устойчивостью карьерных откосов. Идея укрепления смолами связана с научно-техническим прогрессом в области химических технологий во второй половине XX века. Это позволило, с одной стороны, получать полимеры с заданными свойствами и, с другой стороны, производство смол в промышленных масштабах привело к снижению их стоимости, что сделало возможным широкое применение синтетических материалов в горной промышленности для решения задач укрепления породных массивов.

#### 4.2.4 Технологическая заоткоска уступов

В скальном и полускальном трещиноватом массиве постановка уступов и бортов карьеров в стационарное положение производится с помощью буровзрывных работ. Для обеспечения длительной устойчивости карьерных откосов с рекомендуемыми параметрами необходима специальная технология ведения этих работ. В настоящее время используется большое количество технологических схем исходя из конкретных горно-геологических условий карьеров. Все технологические схемы заоткоски можно разделить на две группы:

- сдваивание подуступов;
- раздельная заоткоска подуступов.

Наиболее эффективным способом повышения устойчивости стационарных уступов является контурное взрывание зарядов. Возможны два способа взрывания зарядов контурного ряда:

- до взрывания основных зарядов дробления в приконтурной ленте (метод предварительного щелеобразования);

- после отбойки приконтурной ленты (гладкое взрывание).

Метод предварительного щелеобразования является наиболее эффективным способом заоткоски уступа. Контурные заряды при этом способе взрываются в ненарушенном массиве, пока горные работы находятся от своего предельного положения на расстоянии не менее 40–50 м. Заряды для контурного взрывания могут приготавливаться в виде гирлянд из патронов ВВ диаметром 30–90 мм, привязанных к прочной верёвке. Вдоль гирлянды прокладывают две нитки ДШ. После взрыва контурных зарядов в массиве образуется узкая щель, которая значительно ослабляет взрывную нагрузку от основных зарядов дробления, устраняет образование закалов и практически полностью исключает деформацию массива. Вдоль контурных зарядов образуется ровная устойчивая стенка откоса с видимыми следами скважин.

Заоткоска уступов на проектном контуре способом предварительного щелеобразования может вестись отдельно по уступам, или сдваивая, страивая их в один откос. Наиболее эффективным является создание предварительной щели сразу на несколько уступов скважинами диаметром 0,250 м. Для проработывания нижней части заоткашиваемого уступа на дно заоткосных скважин отсыпается рассыпное ВВ 20–40 кг. Однако необходимо отметить, что даже качественно созданная предварительная щель не сохранит законтурный массив, если удельный расход ВВ при взрывании последней заходки не будет превышать 0,4–0,6 кг/м<sup>3</sup>.

Опыт показывает, что все усилия, затрачиваемые на создание предварительной щели, пропадают даром, если удельный расход ВВ чрезмерно завышен. В этом случае массив интенсивно разбивается, а на предохранительной берме прослеживаются заколы. Естественно, что такой уступ со временем потеряет всю устойчивость и будет разрушаться. В том случае, когда близость фронта взрывных работ к проектному контуру на верхнем подступе не позволяет создать предварительную щель, заоткоску необходимо производить наклонными однорядными или двухрядными скважинами. Но эти наклонные скважины бурят на всю высоту сдвоенного 30-метрового уступа и служат для нижнего подступа для создания предварительной щели. Контурные заряды при гладком взрывании отделяют с поверхности откоса уступа наиболее разрушенный слой и формируют более устойчивую поверхность. Удовлетворительные результаты достигаются при расстоянии между скважинами контурного ряда 2–3 метра. Добиваться высокой чистоты поверхности, при данном способе заоткоски путём сближения скважин контурного ряда в условиях открытых горных работ, не имеет смысла. Трещины и деформация, существующие за контурным рядом от взрыва основанных зарядов дробления не могут быть уменьшены путем изменения параметров контурных зарядов. Бурение контурных скважин и взрывание контурных зарядов в данном случае можно производить после взрывания основных зарядов. Взрывание контурных зарядов можно производить также с замедлением в 50–70 мс по отношению к основному взрыву. Данный способ контурного взрывания менее эффективен в отношении повышения устойчивости уступов по сравнению с методом предварительного щелеобразования. Он мо-

жет быть рекомендован лишь в тех случаях, когда применение метода предварительного щелеобразования невозможно по каким-либо причинам.

Заоткоска уступов с помощью контурного взрывания позволяет на 5-10° и более увеличить их угол откоса по сравнению с углами откосов, получаемых при обычной технологии буровзрывных работ, а также обеспечивает длительную устойчивость уступов.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Назовите известные механические способы упрочнения массива.
2. Что представляют собой инъекционные способы упрочнения массива? Какова область их применения?
3. Что представляет собой смолоинъекционное упрочнение прибортовых массивов?
4. Что такое силикатизация и битуминизация массива? Какова область их применения?
5. Что представляют собой подпорные стены и контрофорсы. Какова область их применения?
6. Что такое заоткоска уступов с помощью комплекса БВР?
7. Как влияет сейсмика промышленных взрывов на устойчивость выработок карьера?

## 5 ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НА КАРЬЕРАХ

### 5.1 Опыт применения методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах

Общей тенденцией развития инженерной деятельности человечества является неуклонное возрастание воздействий на окружающую среду, что проявляется в резком ухудшении ее общего экологического состояния. Подобная ситуация характерна для всех регионов мира, при этом в отдельных случаях, положение становится катастрофическим или весьма близким к нему [24].

Наиболее сильное воздействие на окружающую среду оказывает разработка месторождений полезных ископаемых, при этом природное состояние среды, представленной, в частности, массивом окружающих горных пород, изменяется.

В результате ведения горных работ изменениям подвергаются все компоненты массивов пород, но в различной степени. В некоторых случаях изменения свойств пород в процессе разработки могут быть мало заметны. В большей степени наблюдается изменение состояния структурных неоднородностей — раскрываются имеющиеся естественные структурные неоднородности; происходят подвижки по разрывным нарушениям (разломам); образуются новые, техногенные нарушения (трещины). Но в еще большей степени и, практически, повсеместно, имеет место изменение естественного напряженного состояния различных блоков массивов пород.

Для определения геомеханического состояния горных сооружений и вмещающего массива пород, в настоящее время широко применяются методы непосредственного измерения смещений традиционными геодезическими и маркшейдерскими методами, но в последнее время при этом все шире начинают использоваться физические методы измерения длин (лазерная и радиодальнометрия), а также методы спутниковой геодезии (GPS- и ГЛОНАСС-технологий).

Родоначальником всех навигационно-геодезических систем являлась спутниковая навигационная система ВМФ США — NNSS (Navy Navigation Satellite System), известная также под названием «Навсат», которая в свое время создавалась по программе с кодовым названием «Транзит», работы по созданию которой начались в декабре 1958 г. В 1973 г. на основе полученного опыта и выполненных разработок исследовательскими лабораториями ВМФ США была разработана специализированная «Навигационная Система со Временем и Дальностью», которая в настоящее время называется «Всеобщая Координирующая Система» (GPS). В нашей стране первое применение системы GPS для изучения современной геодинамики было осуществлено в 1991 г. на Кавказе сотрудниками Института физики Земли АН СССР, Индианского университета США и Массачусетского технологического института [25].

Например, для условий рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК», как и для любого другого карьера, актуальной проблемой остается обеспечение устойчивости уступов и бортов карьера. Наравне с традиционными методами сбора информации о перемещении массива горных пород широко применяются методы спутниковой геодезии. В 2006 г. на контуре карьера рудника «Железный» был заложен измерительный полигон из 6 фундаментальных пунктов (рисунок 14). Регулярные измерения с применением технологий GPS-измерений выполняются с 2007 г.

Места расположения фундаментальных пунктов были выбраны в соответствии с пространственным положением крупных структурных неоднородностей. Конструкция фундаментальных пунктов представлена на рисунке 15.

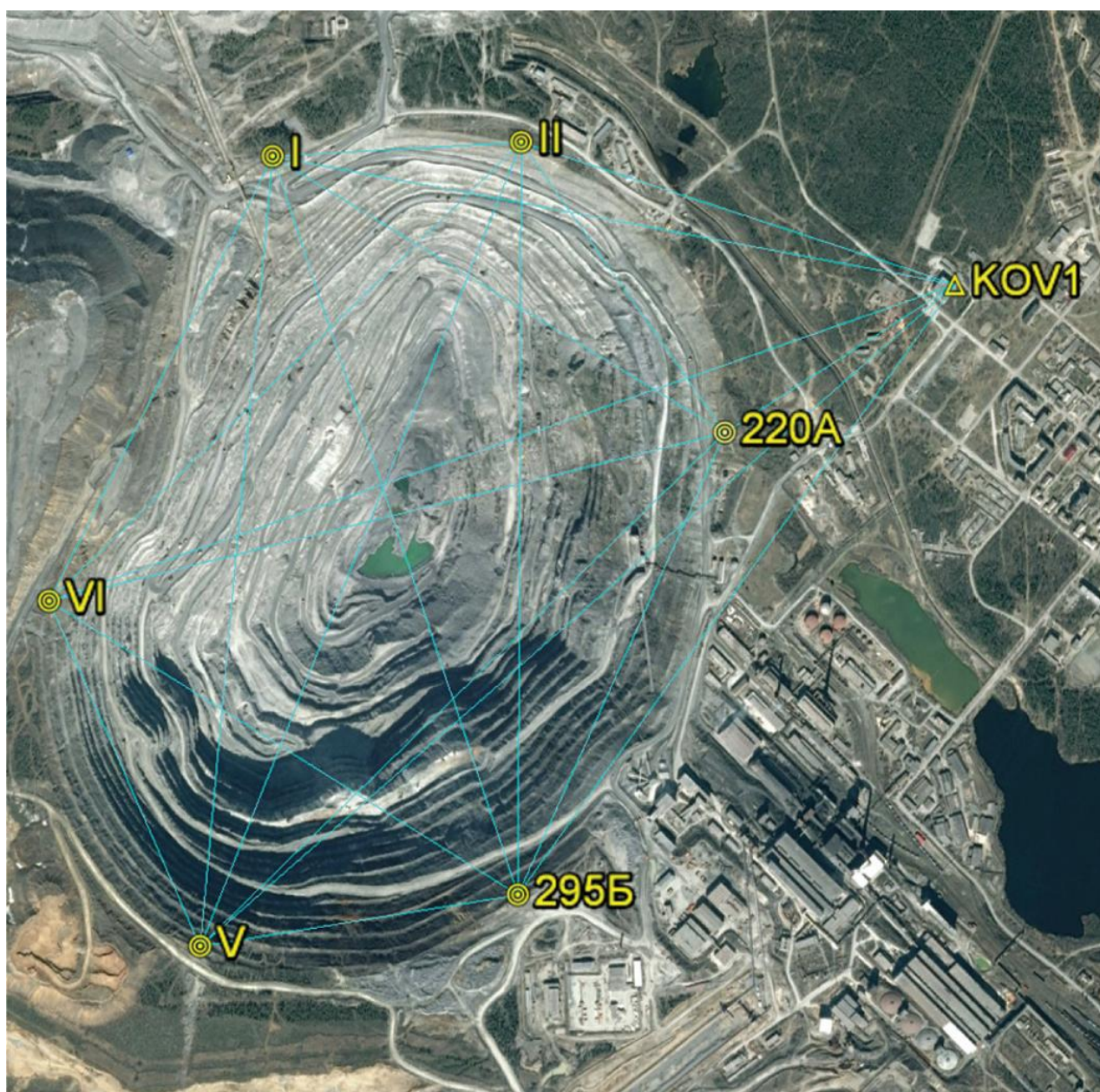


Рисунок 14 — Схема расположения фундаментальных реперов геомеханического полигона в карьере рудника «Железный»

Для проведения наблюдений использовался комплект оборудования состоящий из 4 приемников Lехon GGD и приемника Delta G3T, а также антенн JNS Choke Ring. Все оборудование разработано и произведено фирмой Javad Navigation System.

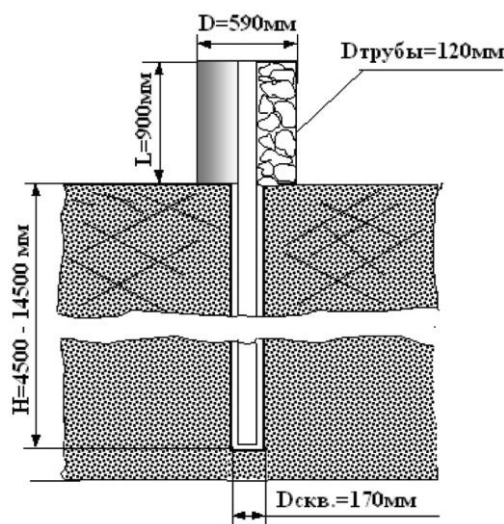


Рисунок 15 — Конструкция фундаментальных пунктов геомеханического полигона в карьере рудника «Железный»

После проведения измерений выполняется обработка полученных результатов с использованием программы обработки Trimble Business Centre (TBC). Создается рабочий проект для начального цикла измерений, его настройки в дальнейшем без изменений переносятся во все проекты последующих циклов наблюдений.

Координаты опорного пункта (KOV1) определялись в системе координат ITRF2005, при этом в качестве исходных пунктов использовались пункты международной геодезической сети IGS: KIRU, г. Кируна (Швеция); TRO1 — Тромсе (Норвегия); SVTL — Светлое (Россия), представленные на рисунке 16.



Рисунок 16 — Сеть пунктов для определения координат опорного пункта KOV1 (рудник «Железный» АО «Ковдорский ГОК»)



Рисунок 17 — Схема смещений (в плане) фундаментальных пунктов внутреннего контура в период 26.09.2011 г. — 02.11.2016 г.

Для нанесения результатов определения смещений пунктов на планы горных работ выполняется перевод координат из геоцентрической системы координат WGS-84 в проекцию Гаусса — Крюгера. Для этого используются приближенные параметры стандартного набора Trimble Business Center для системы координат СК-42 зона 6. Для перехода от геодезических к нормальным высотам используется глобальная модель геоида EGM2008.

На рисунке 17 показаны результирующие векторы плановых смещений пунктов внутреннего контура на общем плане карьера рудника «Железный» за весь период наблюдений.

Максимальные результирующие смещения наблюдаются на пунктах 295Б и VI. Значения смещений для этих пунктов составляют 0,1387 м и 0,0883 м соответственно.

Основной задачей мониторинга состояния бортов карьера является оценка степени их устойчивости, которая может быть осуществлена различными методами. Один из таких методов — метод расчёта величин обратных скоростей сдвигения фундаментальных пунктов полигона.

Метод был разработан японским исследователем Фукузоно [26]. В основу метода положено предположение о возрастании скорости смещения деформирующегося откоса по мере его приближения к моменту обрушения и, практически, бесконечно большой величине скорости смещения в сам момент обрушения.

При этом, чтобы не иметь дело с неопределёнными бесконечно большими величинами скоростей, Фукузоно предложил использовать обратные величины значений скоростей смещений, при которых момент разрушения определяется точкой пересечения графика изменения обратных значений скоростей смещения с осью времени. Типичные графики зависимости величины обратных скоростей от времени приведены на рисунке 18 [26].

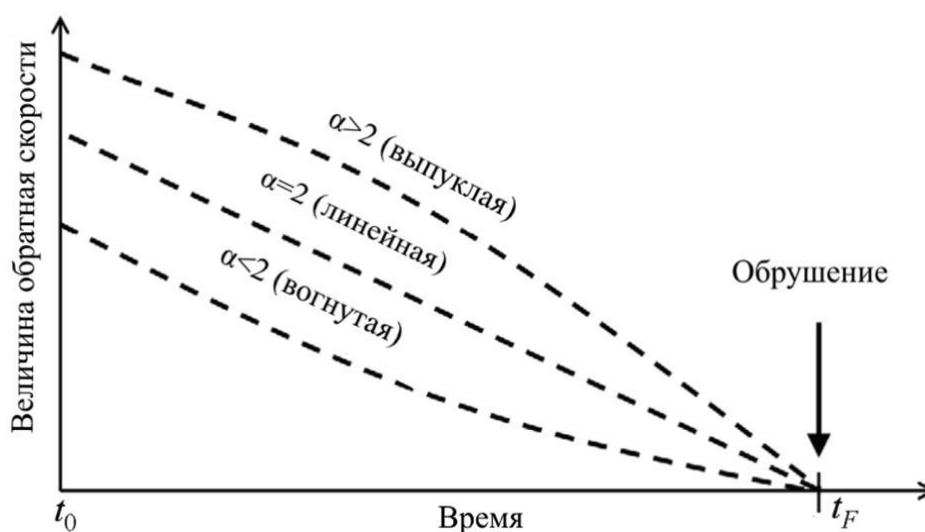


Рисунок 18 — График зависимости величины обратной скорости от времени



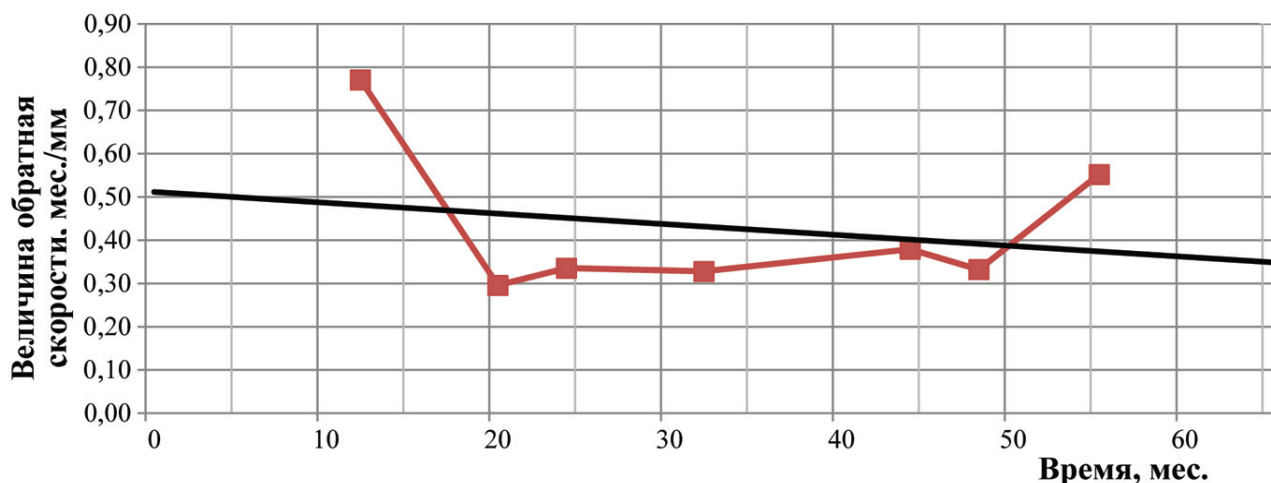


Рисунок 19 — Изменение величины обратной скорости по времени для пункта 295Б

В нашем случае для анализа изменения значений обратных скоростей были выбраны пункты с максимальными результирующими смещениями (295Б и VI) и построены графики зависимости величины обратной скорости от времени (рисунки 19 и 20).

Сравнивая два графика можно увидеть два совершенно противоположных характера развития деформации. Если на графике для пункта VI линия тренда направлена от оси времени, что может говорить об устойчивости горных пород на этом участке борта, то на графике для пункта 295Б ситуация обратная. Наклон линии тренда к оси времени говорит о возможной потере устойчивости. Угол наклона линии показывает, что при таком характере развития деформаций в ближайший год обрушения не предвидится, однако тенденция вызывает опасения.

В качестве выводов хочется отметить, что метод спутниковой геодезии хорошо зарекомендовал себя в качестве средства мониторинга устойчивости бортов карьеров. Данные измерений показывают, что наблюдается сближение бортов карьера.

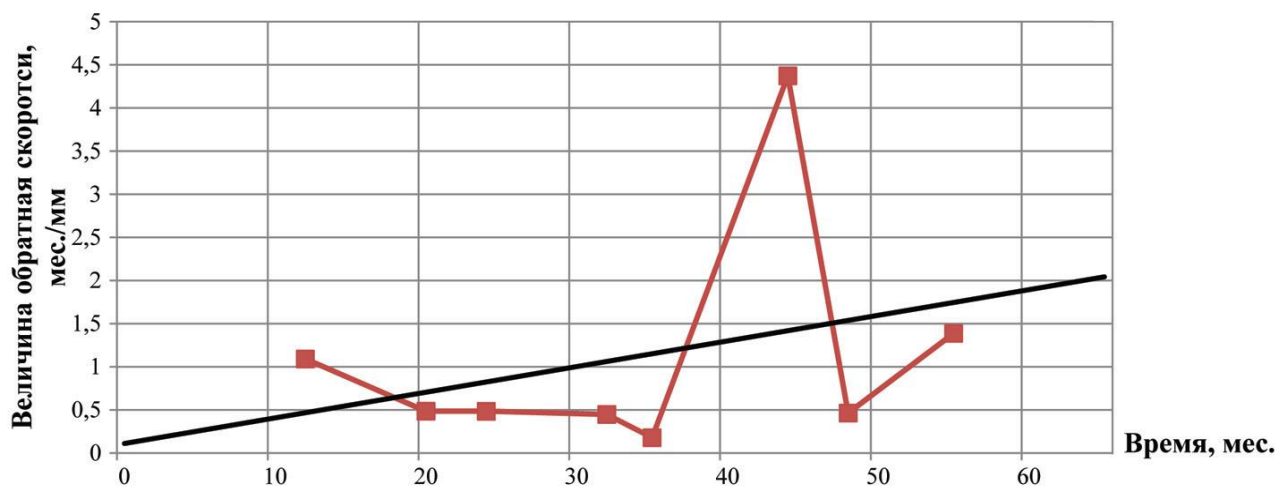


Рисунок 20 — Изменение величины обратной скорости по времени для пункта VI

## 5.2 Геомониторинг состояния устойчивости карьерных откосов

Своевременная разработка мероприятий по управлению устойчивостью прибортовых массивами во многом зависит от достоверности знаний прочностных свойств горных пород, условий залегания пород и причин, вызывающих возникновение нарушений в карьерных откосах [27]. Прогнозирование и обеспечение устойчивости откосов является одной из главных задач при ведении открытых горных работ. При учете факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов, необходимо знать:

- вид и активность процесса разрушения;
- периодичность нарушения;
- параметры деформирования откоса;
- характер разрушения объекта;
- характеристику и условия залегания пород;
- характер и конфигурацию поверхности разрушения.

Необходимую информацию можно получить на основе систематических инструментальных наблюдений, которые служат для прогноза устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. Инструментальные наблюдения на проектных контурах бортов карьеров проводятся с целью изучения закономерностей развития деформаций бортов с самого начала их образования. По результатам наблюдений можно выявить характер и оценить степень опасности деформирования, дать прогноз относительно его дальнейшего развития. Точность инструментальных наблюдений должна быть максимально высокой.

Существующие способы маркшейдерского контроля состояния прибортовых массивов на карьерах основаны на определении относительных смещений контрольных пунктов автоматически измерительными приборами с дистанционной передачей информации, геометрическим нивелированием, трилатерацией, измерением расстояний по профильным линиям электронными та-

хеометрами, специальной наземной фототеодолитной съемкой или лазерным сканированием.

Распространенные схемы наблюдений представлены на рисунках 21, 22, 23.

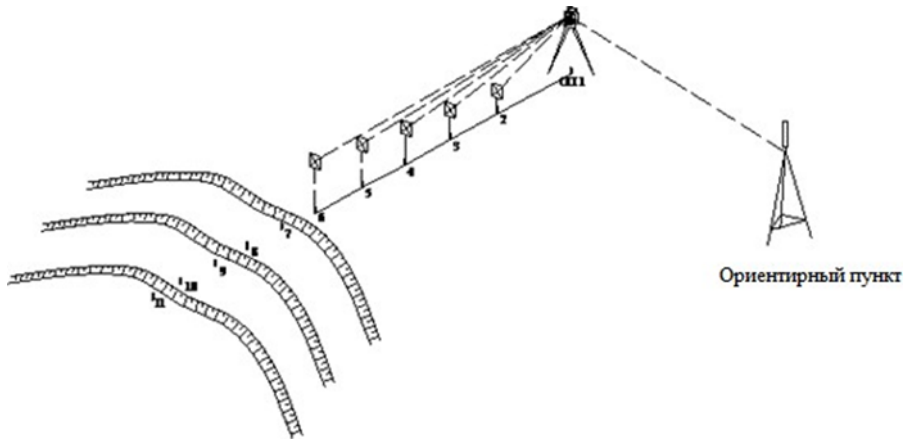


Рисунок 21 — Схема наблюдения по створу

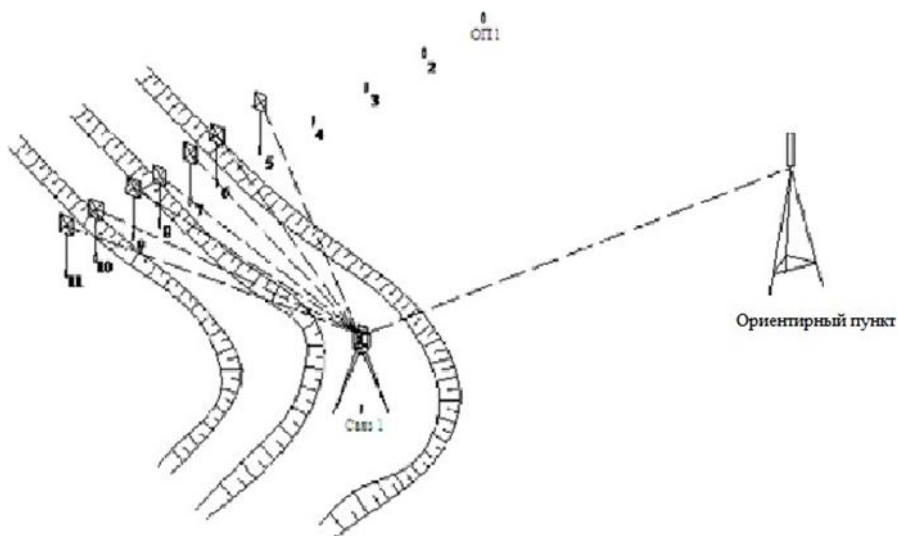


Рисунок 22 — Схема наблюдения со связующих точек

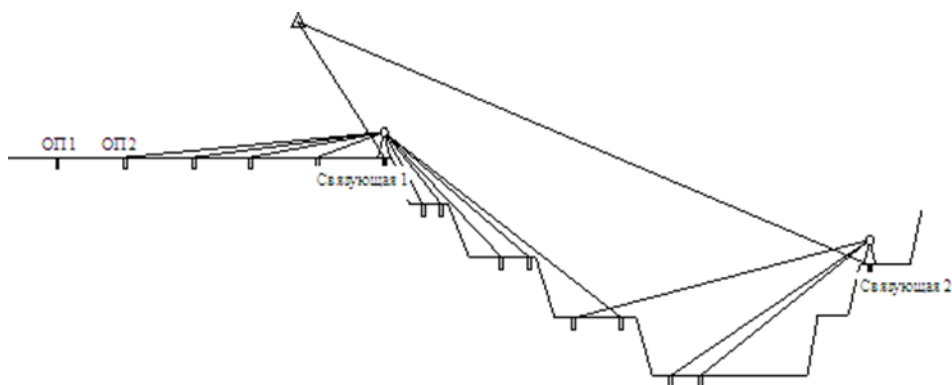


Рисунок 23 — Схема наблюдения с противоположного борта карьера

Первый из приоритетных способов является наиболее перспективным, хотя в настоящее время этот способ используется в основном для контроля конструкций уникальных сооружений (плотины, дамбы и т. д.), в остальных приведенных способах присутствует трудоемкая работа, которая связана с большим объемом закладки рабочих реперов на бермах и установкой на них маркшейдерских приборов.

Критерием правильности ранее принятых технологических решений по параметрам карьерных откосов является высокоточный инструментальный контроль состояния бортов карьеров и отвалов, поэтому его также необходимо включить в единую систему маркшейдерских и инженерно-геологических исследований. В результате комплексных исследований можно проводить оценку и прогноз геомеханических процессов, происходящих в прибортовых массивах карьера и разработку рекомендаций по параметрам карьерных откосов с целью повышения эффективности и безопасности ведения горных работ.

Целью геомониторинга на карьерах является надежный контроль состояния устойчивости уступов и бортов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, сложенных скальными, полускальными, глинистыми и песчано-глинистыми породами.

В соответствии с этим определением, геомеханический мониторинг – это комплексная система, включающая:

- периодические высокоточные, маркшейдерские и инженерно-геологические наблюдения состояния откосов прибортовых массивов на карьерах;
- исследования инженерно-геологических характеристик состава и свойств горных пород, а также изучение структурных особенностей прибортовых массивов;
- оценку и прогноз геомеханических процессов, происходящих в массиве;
- определение параметров устойчивых откосов на основе создания адекватной геомеханической модели массива;
- разработку рекомендаций по оперативному изменению параметров бортов карьера и отвалов с целью повышения эффективности и безопасности ведения открытых горных работ.

Наблюдения за состоянием прибортовых и отвальных массивов необходимо проводить не реже двух раз в год, соответственно требованиям инструкций. В период между сериями инструментальных измерений должны производиться систематические натурные, визуальные наблюдения за состоянием прибортовых и отвальных массивов геомеханической службой предприятия.

На рисунках 24 и 25 показаны инструментальный контроль и деформации западного борта Соколовского карьера.



Рисунок 24 — Инструментальный контроль западного борта Соколовского карьера



Рисунок 25 — Деформации западного борта Соколовского карьера

### 5.3 Фотодокументация систем трещин в породном массиве

В горном производстве фото-документация — это процесс фиксирования на какие-либо носители реального изображения строения массива горных пород, вскрываемого горными выработками. Обычно фиксируют формы контактов руды и вмещающих пород, особенности залегания слоев осадочных толщ, тектонические нарушения и системы трещин [29].

Фото-документация, как метод обладает большой наглядностью, так как отражает малейшие подробности строения реального массива горных пород, которые не всегда возможно точно отобразить в полевых условиях и зафиксировать на бумажных носителях (пикетажная книжка или рабочий журнал). При ведении горных работ массив срабатывается, картина залегания пластов пород и положение трещин в массиве изменяется. Незафиксированная информация теряется безвозвратно, в то время как оцифрованная информация может быть многократно использована для построения объемных блочных моделей месторождения или оценки физико-механических свойств массива.

Для крупных месторождений определение физико-механических характеристик массива должно вестись с учетом структурного ослабления его на конкретных участках. Так для Ковдорского месторождения институтом «ВИОГЕМ» выделено 20 инженерно-геологических блоков [30], отличающихся по физико-механическим характеристикам массива. Современное проектирование, геологическое и маркшейдерское сопровождение горных работ с использованием систем автоматизации горных работ, также должно учитывать реальные характеристики массива. Появление на горных предприятиях таких современных сканирующих лазерных устройств как Optech, Leica Scan Station и др. открывает новые перспективы для развития методов фото-документации и лазерного сканирования массива, существенно облегчая привязку объектов к то-

пографической сети и соблюдение масштаба при съемке. Процесс отображения массива в плоское или объемное его изображение выполняется с соблюдением масштаба и должен иметь привязку к местной маркшейдерской сети координат месторождения и к высотной отметке. Ориентация изображения по сторонам света и направление съемки также должны быть зафиксированы в документации. При выполнении этих условий обеспечивается максимальная достоверность полученных данных. Ниже приведен пример (рисунок 26) привязки плоского двухмерного изображения уступа карьера «Чернореченский» на плане горных работ.

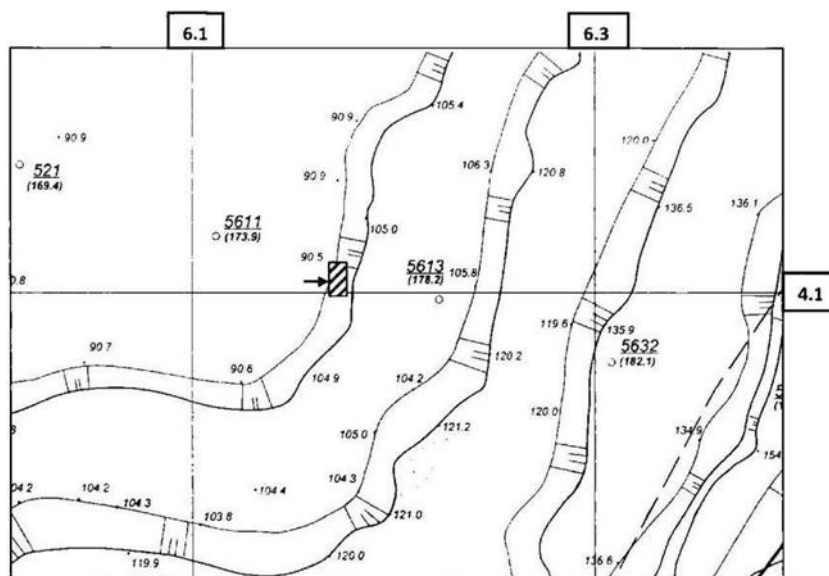


Рисунок 26 – Пример нанесения единичного фотоизображения восточного борта карьера «Чернореченский» на план горных работ

Основная информация этого изображения — характеристика трещиноватости восточного борта карьера. Известняки карьера «Чернореченский» относятся к средне трещиноватым скальным породам.

Обработка фотоизображения позволяет повысить производительность труда и качество выполнения работ. На данном изображении восточного борта карьера зафиксирована высотная отметка +90 м (рисунок 27) и положение координатной сетки по широте местности, пересекающей кадр. Для удобства выполнения расчетов, значения расстояний между трещинами (в см) нанесены на изображение по каждой из систем трещиноватости, которые влияют на устойчивость уступа: система трещин 1 (Аз.  $270^\circ$  угол падения  $60^\circ$ ); система трещин 3 (Аз.  $196^\circ$  угол падения  $72^\circ$ ); система трещин 4 (Аз.  $7^\circ$  угол падения  $73^\circ$ ).

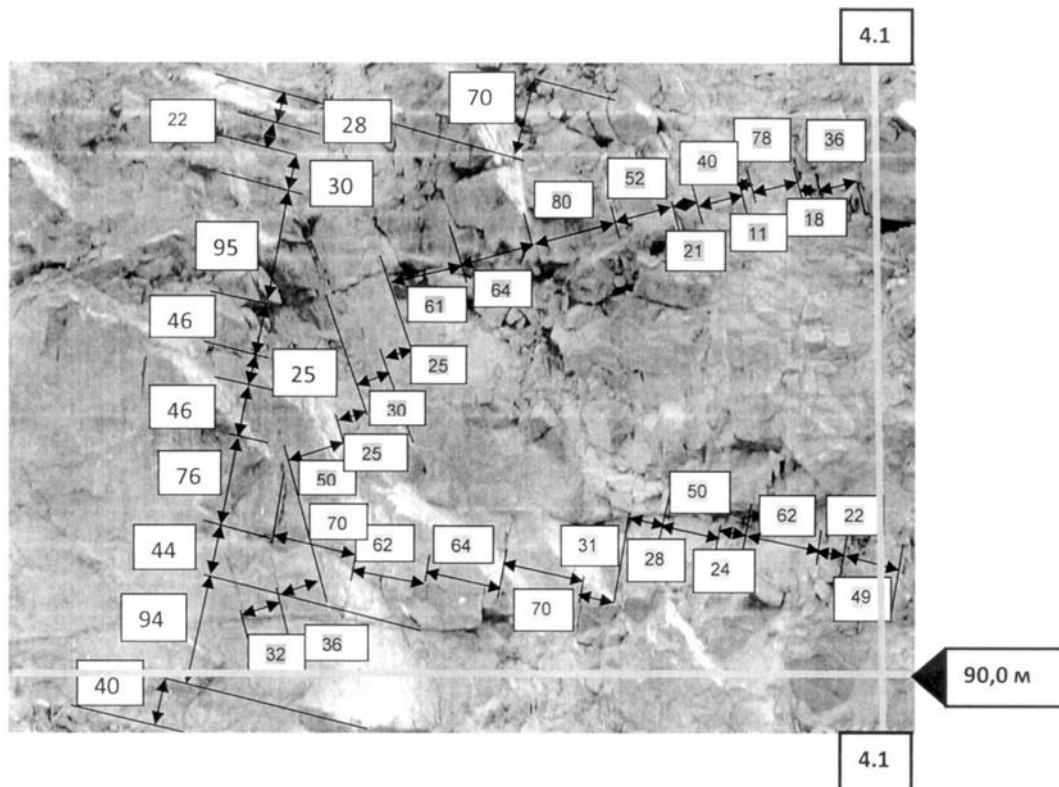


Рисунок 27 — Пример обработки единичного фотоизображения восточного борта карьера «Чернореченский» для определения физико-механических характеристик массива пород

Результаты расчета среднего расстояния между трещинами приведены в таблице 5.

Таблица 5 — Характеристика трещиноватости восточного борта карьера

Система трещиноватости	Азимут падения, °	Угол падения, °	Характеристика трещин	Расстояние между трещинами, см				Число замеров	Среднее расстояние, см	$L_{cp} = 46,6\text{см}$
				10-20		>20				
				КОЛ-ВО,	ПШТ	КОЛ-ВО,	ПШТ			
1	269-271	59-61	ширина <1мм, шероховатость средняя	-	-	12	100	12	51,3	
3	194-198	71-73	ширина <1мм, шероховатость средняя	2	13	14	87	16	41,9	
4	4-8	72-74	ширина <100мк, шероховатость средняя	-	-	11	100	11	48,4	

По результатам расчетов строится роза-диаграмма трещиноватости массива известняков восточного борта карьера (рисунок 28).

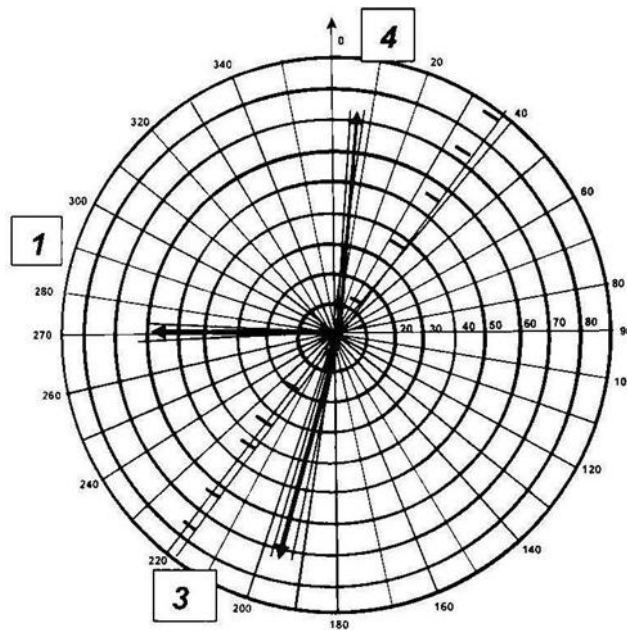


Рисунок 28 — Роза-диаграмма трещиноватости массива известняков восточного борта карьера «Чернореченский»

По данным обработки изображения можно определить удельное сцепление пород в массиве и коэффициент его структурного ослабления.

Величина сцепления для породного образца  $C_0$ , МПа определяется по результатам испытаний на одноосное сжатие по формуле:

$$C_0 = \frac{\sigma_{сж}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}, \quad (35)$$

где  $\sigma_{сж}$  — предел сопротивления породы при одноосном сжатии, МПа ( $\sigma_{сж} = 7,4$  МПа);

$\varphi$  — угол внутреннего трения, град (таблица 6).

Величину сцепления породы в массиве с учетом его трещиноватости ( $C_T$ ) определяют по эмпирической зависимости, установленной на основании большого числа натуральных испытаний:

$$C_T = C' + \frac{C_0 - C'}{1 + \alpha \cdot \ln\left(\frac{H}{l}\right)}, \quad (36)$$

где  $H$  — наибольший размер области возможных деформаций (для карьеров — полная высота борта), м;

$l$  — среднее расстояние между трещинами всех систем, м (таблица 5);

$\alpha = 5$  — коэффициент, зависящий от прочности пород в образце и характера трещиноватости;

$C_0$  — сцепление в образце, МПа;

$C_T$  — сцепление по трещинам ( $C' = 0,75 \frac{\text{т}}{\text{м}^2} = 0,075$  МПа)[33].



Степень снижения прочности массива характеризует коэффициент структурного ослабления  $k_{co}$

$$k_{co} = \frac{C_T}{C_0}, \quad (37)$$

где  $C_T$ ,  $C_0$  — удельное сцепление пород в массиве и образце соответственно, МПа.

Интенсивность трещиноватости  $\omega$  определяют по формуле [33]

$$\omega = \frac{1}{l}. \quad (38)$$

Анализ распределения отдельных систем трещин показал, что наиболее распространены в борту карьера диагональные трещины (система 4) – до 36 %.

Результаты расчета основных физико-механических характеристик массива для восточного борта карьера известняков представлены в таблице 6.

Таблица 6 — Сравнение физико-механических характеристик в образце и в массиве для карьера известняков ЗАО «Чернореченский карьер»

Физико-механические характеристики									
в образце			в массиве						
$C_0$ , МПа	$\varphi_0$ , градус	$\gamma_0$ , МН/м <sup>3</sup>	$\omega$ , м <sup>-1</sup>	$k_{co}$	$C_T$ , МПа	$\alpha$	$l$ , м	$\varphi_m$ , градус	$\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>
26,7	31,5	0,028	2,14	0,039	1,05	5	0,466	29	0,028

Сравнение основных физико-механических характеристик массива и образца (таблица 6) показывает, что удельное сцепление пород в массиве и образце от влияния трещин различаются более чем в 25 раз. Метод фотодокументации систем трещин на примере карьера «Чернореченский» показывает возможность оценки с его помощью некоторых физико-механических характеристик породного массива.

#### 5.4 Геодезический мониторинг карьера методом спутникового позиционирования

Традиционным источником данных о состоянии карьеров и их динамике являются периодические инструментальные геодезические измерения. Обычно при измерениях пользуются либо створным методом, либо методом косвенного определения длин [34].

Створный метод предполагает измерение интервалов между реперами в профильных линиях для определения смещений и обеспечивает удовлетворительную точность результатов при измерениях с минимального количества опорных реперов. При субгоризонтальном положении профилей используется геометрическое нивелирование, при наклонном — тригонометрическое. К не-

достаткам метода следует отнести довольно быстрое снижение точности определения высотных отметок при тригонометрическом нивелировании на большие расстояния. Впрочем, благодаря применению современных высокоточных электронных тахеометров этот недостаток стал не столь очевиден.

При наблюдении методом косвенного определения длин производится измерение расстояний до каждого рабочего репера, а также измерение горизонтального угла между направлениями на эти реперы.

Главным достоинством этого метода является то, что прибор устанавливается в любом удобном месте, что позволяет значительно уменьшить измеряемое расстояние, хотя и вызывает увеличение количества опорных реперов.

В обеих методиках работы выполняются на специально оборудованных поверхностных наблюдательных станциях. Для измерений применяются нивелиры или же электронные тахеометры, технические возможности которых позволяют определять наклонные дальности с достаточной точностью (1 – 2 мм), что позволяет избежать трудоемкого и небезопасного в условиях действующего карьера геометрического нивелирования для определения вертикальных смещений рабочих реперов.

Возможности мониторинга деформаций уступов карьеров во времени и пространстве значительно расширились с внедрением в практику современных маркшейдерско-геодезических работ методов спутникового позиционирования. Спутниковые измерения позволяют охватить не только зону непосредственного техногенного воздействия карьера, где пока достаточно эффективны традиционные геодезические методы, но и зону его ближайшего окружения, полностью или почти полностью лишенную геодезического обеспечения по причине высокой трудоемкости работ. Исходя из требований к точности определения координат, целесообразно использовать минимум два одновременно работающих GPS-приемника, первый из которых (базовый) устанавливается на стационарную станцию на весь период измерения, второй (передвижной) – на каждый рабочий репер в процессе измерений. Для достижения оптимальной точности определения координат реперов необходимо выбирать промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте PDOP меньшем 4 и высоте спутников над горизонтом 15° и более, с периодом наблюдения на каждом репере минимум 10 минут.

При таких условиях, например, GPS-приёмники Trimble-5700 обеспечивают точность измерений  $mL = mh = 5 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ , мм [35].

## 5.5 Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями

Горнотехнические конструкции, прежде всего с точки зрения конструктивных элементов систем разработки, являются важнейшим элементом в вопросах эффективности и безопасности разработки месторождений полезных ископаемых [36]. Поэтому решение задачи обеспечения их устойчивости и выполнения функционального назначения (работоспособности) всегда являлось и

является важным и актуальным. При этом существенную, если не определяющую, роль играет знание текущего состояния и структуры горнотехнических конструкций, которая получается на основе данных оперативной оценки и мониторинга их состояния специальными геомеханическими и геофизическими методами: визуальное обследование, акустические исследования, сейсмодиформационные определения, реометрия, метод разгрузки, контрольные скважины, теле- и видеосъемка скважин и др.

Вместе с тем, вышесказанные методы в большинстве своем являются малоинформативными и требующими значительных капитальных затрат. Специальные геологические скважины дают наиболее достоверную информацию, но бурение их весьма затратно, трудоемко и длительно, а для целей выявления и трассирования структурных ослаблений/дислокаций дает точечные результаты и требует сгущения сетки размещения. В этой связи применение неразрушающих, дающих сплошную (профильную) картину, методов исследования является предпочтительным и экономически значительно более выгодным.

Активное развитие георадиолокации и создание современных высокопроизводительных георадарных систем дает достаточные основания полагать, что неразрушающее подповерхностное георадиолокационное зондирование может эффективно использоваться для исследования состояния и структуры горнотехнических систем. В общем виде для целей горного дела георадары могут использоваться для определения структуры массива пород, обнаружения полостей, кварцевых гнезд, интрузий и т.п.; локализации природных и техногенных разрывных нарушений в законтурном массиве пород, геологической слоистости, неоднородности и пр.

В Горном институте Кольского научного центра Российской академии наук развивается инновационное направление георадиолокационных исследований с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M (производства компании Mala GeoScience, Швеция), оснащенного экранированными антеннами 100, 500 и 800 МГц, что позволяет получать непрерывную информацию об основных элементах строения участков массивов горных пород на глубину до 30 м с выделением (идентификацией) его аномалий (разрывные нарушения, полости, влагонасыщенные породы и т.п.), и георадарного комплекса «ЛЮЗА-1Н» (производства ООО «ВНИИСМИ», Россия), оснащенного двумя антеннами: передающей и приемной, длиной по 15 м, с частотой 10 МГц, что позволяет производить зондирование горно-геологического массива на глубину до 200 и более метров [40].

Необходимо отметить, что подповерхностное зондирование природнотехнических систем с использованием радиолокационных комплексов (в общепринятой терминологии – георадара) основано на использовании классических принципов радиолокации [39]. Антенной георадара излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0-1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная часть сигнала определяется типом антенны. Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью георадара. Для формирования зондирующих импуль-

сов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжений (ударный метод возбуждения).

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе и преобразуется в цифровой код для обработки. В результате обработки полученная информация отображается в виде волнового или плотностного профиля — радарограммы.

Георадарные определения проводятся двумя основными способами: профилирование и зондирование [39]. При профилировании георадар перемещается о линии (трассе) и при каждом измерении передающая и приемная антенны находятся в одной точке линии. При зондировании выбирается одна точка и далее приводится ряд регистраций отраженных сигналов при разносе антенн передатчика и приемника в разные стороны на равные расстояния.

Для количественной интерпретации данных георадиолокации необходимо знать такую характеристику исследуемой среды как диэлектрическая проницаемость пород  $\epsilon$ . Например, основные породообразующие минералы Ковдорского месторождения полезных ископаемых – апатит, нефелин и пироксенит. Согласно атласу физических свойств минералов и пород, относительная диэлектрическая проницаемость этих минералов равняется 6, 7.5 и 13, соответственно. Используя эти данные для расчетов по формулам  $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$  и  $H = c \cdot \frac{t}{2} \cdot \sqrt{\epsilon}$ , где  $c$  — скорость света в вакууме, получены зависимости скорости прохождения электромагнитной волны  $v$  от диэлектрической проницаемости апатита, нефелина и пироксенита (рисунок 29 а), а также зависимость глубины зондирования  $H$  от времени двойного пробега  $t$  электромагнитной волны для этих пород (рисунок 29 б).

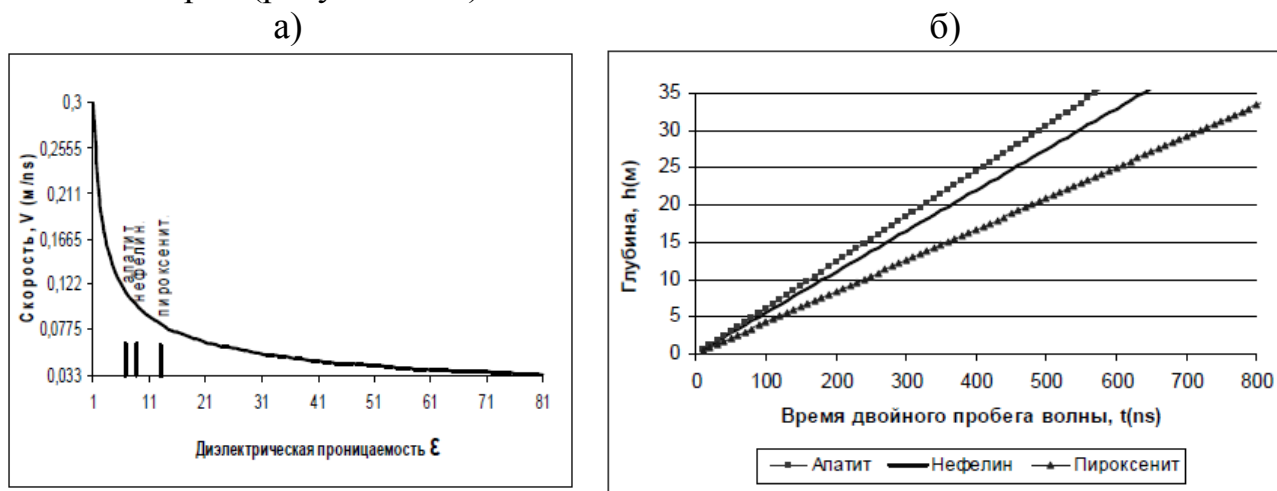


Рисунок 29 — Зависимости скорости прохождения электромагнитной волны от диэлектрической проницаемости пород (а) и глубины зондирования от времени двойного пробега волны (б)

Экспериментальные георадарные исследования законтурного массива пород карьера «Железный» Ковдорского ГОКа были выполнены с применением

специальных технологий на участке возле здания РДКК (горизонты +40, +94, +140, +165, +220 м) и на участке ЦПТ (горизонты +190 и +200 м). Всего было выполнено 78 георадарных профилей общей протяженностью около 11 км, в том числе 67 радарограмм (исследованы участки общей протяженностью 7 км) – для задач приповерхностного зондирования (на глубину до 40 м), и 11 радарограмм (исследованы участки общей протяженностью 4 км) – для задач глубинного зондирования (на глубину до 200 м).

Для оценки законтурной структуры горнотехнических конструкций авторами разработаны методики проведения полевых георадарных исследований, камеральной обработки, анализа и выявления подповерхностных (законтурных) структурных дислокаций (наклонные, субвертикальные, линзовидные) в скальных горнотехнических конструкциях, заключающиеся в применении специальных детерминированных операций и процедур измерений и обработки, что позволяет повысить оперативность определения местоположения и трассирования дислокаций при существенном снижении затрат в сравнении с традиционными методами.

Алгоритм выполнения работ заключался в следующем (рисунок 30):

1. Выполняется предварительное зондирование исследуемого участка с визуальным анализом получаемой волновой картины.

2. При выявлении аномалий в волновой картине идентифицируется вид (тип) дислокации с отнесением к одной из трех групп: наклонные, субвертикальные, линзовидные.

3. Выполняется корректировка управляющих параметров (интервал зондирования, время двойного пробега электромагнитной волны и др.), в наибольшей степени соответствующих идентифицированному типу дислокации.

4. Составляется план-схема профилирования с учетом возможности трассирования дислокации.

5. Выполняется георадарное профилирование.

6. В камеральных условиях, в дополнение к стандартным, применяются специализированные процедуры обработки (деконволюция, преобразование Фурье, преобразование Гильберта) и последующий анализ преобразованных сигналов (сжатые импульсы, амплитудно-частотные характеристики, мгновенные амплитуды).

7. Для каждого вида дислокаций (вертикальные, наклонные, локализованные) создаются соответствующие скоростные модели.

8. Выполняется построение радарограмм с картированием выявленных дислокаций.



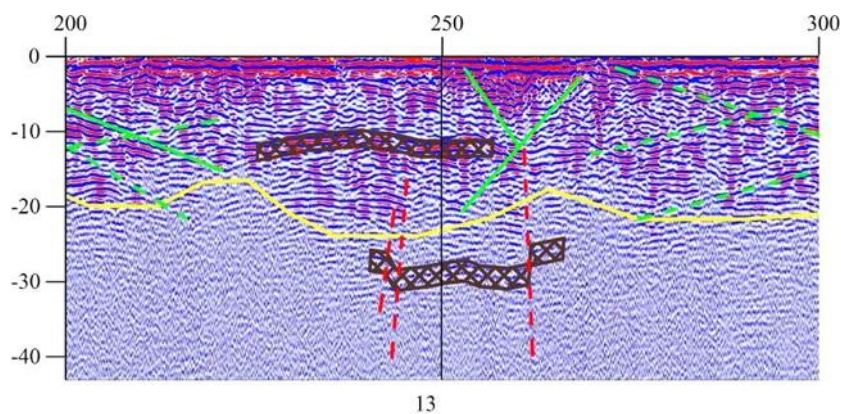


Рисунок 31 — Фрагмент профиля 1470 горизонт +190 м, участок ЦПТ

На профиле выделяются две структуры (пересекающаяся штриховка), схожие по своим электрофизическим свойствам, которые могут быть приурочены к зонам структурного нарушения. Первая – на интервале 225-255 м, на глубине 13 м, мощностью 2 м, расположенная субгоризонтально в плоскости профиля, и вторая – на интервале 240-265 м, на глубине 31 м, мощностью 3 м, разорванная двумя разломами в левой, и одним разломом в правой ее части, со сдвигом центральной части структуры вниз.

На рисунке 32 приведен фрагмент георадарного профиля по результатам исследований на уступе гор. +40 м участка РДКК рудника.

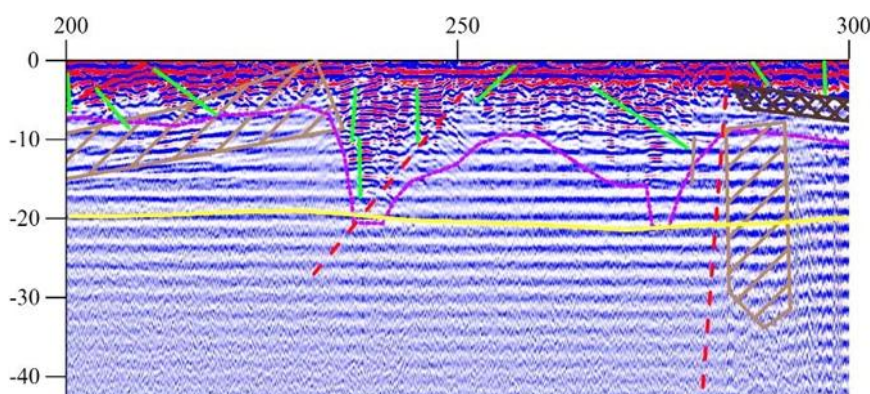


Рисунок 32 — Фрагмент профиля 1344 горизонт +40 м, участок РДКК

Как видно из рисунка, приповерхностная зона профиля мощностью до 4 м (раздробленный слой пород), характеризуется равномерной волновой картиной с небольшим количеством наклонных трещин. Следующий слой мощностью около 15 м соответствует разуплотненным породам, и далее, с глубины примерно 20 м, породы менее разуплотнены.

На интервале 230-250 м профиля отмечается наличие трех субвертикальных трещин с изменением формы сигнала электромагнитной волны, где предположительно, по косвенным признакам, проходит тектонический разлом.

На профиле также выделяются две геологические структуры: первая на интервале 200-230 м с глубины 15 м и мощностью 7–10 м, выходящая под углом 15° практически на поверхность и вторая субвертикальная структура на

интервале от 284 до 291 м с глубины от 9 м до 33 м. При этом вторая структура разделяет в вертикальной плоскости исследованный массив пород на две зоны с различными электрофизическими свойствами. В конце профиля на интервале 285–300 м контрастно выделяется зона, располагаемая на глубине от 3 до 7 м, мощностью 3 м, которая может быть приурочена к структурному нарушению.

Глубинное зондирование выполнялось с использованием георадарного комплекса «ЛОЗА-1Н», с заданной глубиной профилирования около 200 м. На рисунке 33 приведены радарограммы глубинного зондирования с расположением по уступам борта карьера.

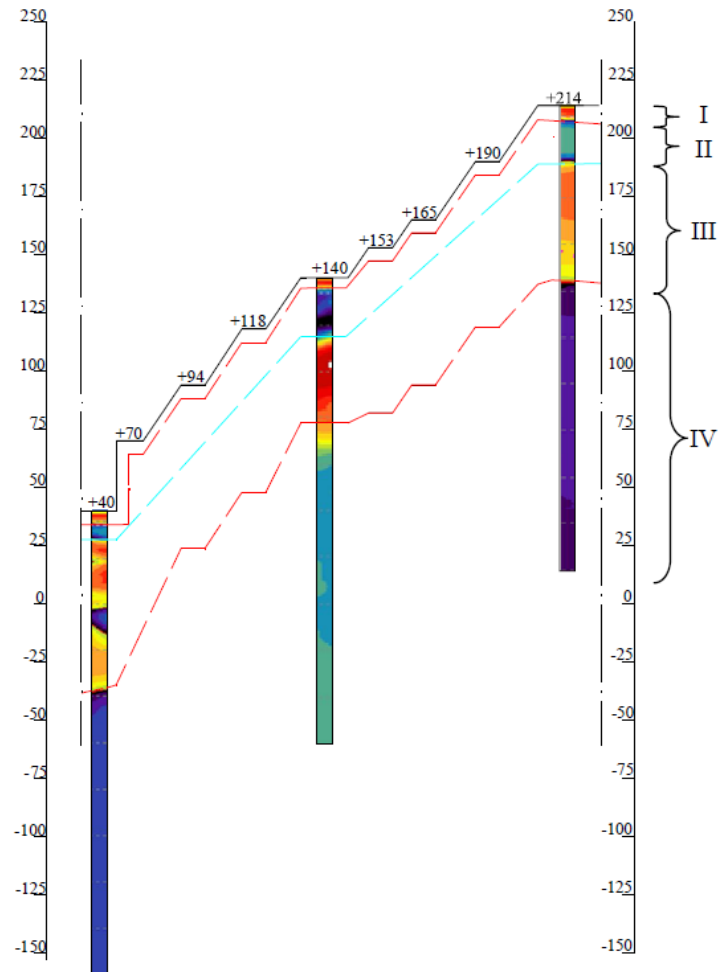


Рисунок 33 — Радарограммы глубинного профилирования по уступам борта карьера

Анализ и интерпретация радарограмм позволяют сделать следующие выводы. Полученные волновые картины характеризуются своей неоднородностью по глубине зондирования, но вместе с тем имеют идентичный характер на всех трех уступах, который может быть рассмотрен на примере одного из профилей.

На рисунке 33 видно, что по глубине георадарного профиля четко выделяются три слоя различной мощности: 4–5, 5–10, 20–60 и далее основной массив. Приповерхностный слой составляет примерно 4–5 м глубины профиля и представляет собой раздробленные/разрушенные породы. Далее следует слой



мощностью от 5 до 10 м, в пределах которого породы, по-видимому, разуплотнены, и имеют более раскрытую, в сравнении с основным массивом, трещиноватость. Нижняя граница этого слоя достаточно хорошо коррелирует с уровнем подземных/грунтовых вод, определенном по гидрогеологическим скважинам. Следует также отметить, что граница между этим и следующим слоем изменяется в диапазоне 10–15 м глубины профиля.

Следующий (третий сверху) слой, мощностью от 20 до 60 м на различных участках, имеет более сложную градиентную картину, обусловленную, по-видимому, наличием достаточно большого числа геологических структур, неоднородностью напряженно-деформированного состояния пород, а также наличием в этой зоне подземных вод, имеющих в свою очередь градиент порового давления. Нижняя граница достаточно контрастна, изменчива и прослеживается на данном профиле на глубинах от 60 до 90 м. Далее следует, по всей видимости, основной массив горных пород, в котором волновая картина также имеет градиентные изменения, обусловленные литологическими разностями слагающих массив пород, естественными зонами разуплотнения и другими факторами.

Таким образом, георадарными исследованиями выявлены особенности структуры и состояния массива пород для исследуемых горнотехнических конструкций карьера, имеющие подтверждения данными геологического бурения. Эти особенности могут быть учтены при оценке устойчивости как уступов на локальных участках, так и борта карьера в целом. В частности, для целей обоснования параметров новых уступов на горизонте 40 м участка РДКК карьера Железный Ковдорского ГОКа рекомендуется принимать во внимание в первую очередь следующие особенности структуры массива пород:

- зональность волновых характеристик массива пород на глубинах до 4 м, до 20 м и до 40–60 м (может быть обусловлена неравномерным напряженным состоянием пород, неоднородностью пород, распределением внутривидовых (подземных) вод);

- градиентность волновой картины на глубинах свыше 40 и до 200 м (принятая глубина георадарных определений), отражающая изменчивость состояния и структуры массива пород;

- наличие субвертикальных и наклонных структур, прослеживаемых практически на всех уступах участка РДКК.

Корреляция результатов приповерхностного и глубинного георадарного зондирования для выделяемых в массиве пород крупных дислокаций очевидна, но каждый метод в отдельности позволяет выявить те или иные особенности в структуре массива пород. Поэтому методы приповерхностного зондирования предпочтительно применять при исследовании структуры массива пород до глубин 20–30 м и решения соответствующих горнотехнических задач (устойчивость приконтурных пород, обоснование параметров буровзрывных работ, и др.), а методы глубинного зондирования – при исследовании структуры массива пород до глубин 150–200 м и решения соответствующих горнотехнических задач (устойчивость уступов и борта карьера в целом, дифференцированное и детализированное дополнение данных скважинного бурения, задачи гидрогео-

логии и др.). Вместе с тем как приповерхностное, так и глубинное зондирования достаточно информативны при выявлении зон с различными разностями пород, напряженно-деформированного и водонасыщенного состояния.

Для целей решения задач устойчивости уступов и борта карьера, обосновании параметров буровзрывных работ, задач гидрогеологии и др. целесообразно проведение режимных георадарных исследований в целях выявления сезонного воздействия на состояние массива горных пород, а также тенденций (динамики) изменения состояния и структуры массива вследствие техногенного воздействия (массовые взрывы, подвигание фронта работ, изменении контура борта и т.п.).

## 5.6 Совершенствование системы мониторинга глубоких карьеров

Для выявления различных деформационных проявлений как в массиве многолетнемёрзлых пород (таликовые зоны, пустоты, ледяные линзы и т.д.), так и на поверхности берм и откосов уступов по бортам карьера (трещины, провалы, сработка верхней бровки откоса уступа и т.д.) на глубоких карьерах известны примеры использования различных приборов и установок для осуществления их мониторинга по некоторым отдельным направлениям, например [42]:

- реперные наблюдения за сработкой верхней бровки откосов уступов;
- контроль деформаций относительных смещений по трещинам на локальных участках карьера;
- мерзлотный контроль массивов уступов и берм карьера;
- контроль динамических воздействий на массив уступов и бортов при массовых взрывах на карьере;
- оценка вибрационных воздействий на массив уступов и бортов при работе горного и транспортного оборудования на карьере.

Как правило, на карьерах создаются опытные участки, где обеспечивают контроль за отдельными неблагоприятными факторами.

Для непосредственного контроля за состоянием массивов берм и откосов уступов локальных участков бортов глубоких карьеров с целью обеспечения наиболее полной и оперативной комплексной информации и разработки превентивных мероприятий по сохранности участков предлагается, обустройство в одном месте карьерного пункта комплексных наблюдений (рисунок 34) [44] за состоянием массива многолетнемёрзлых пород локальных участков берм и откосов бортов карьера, где осуществляется весь комплекс необходимых замеров и наблюдений, для устранения вышеуказанных недостатков. Причем для защиты проводных и кабельных линий на берме они помещены в металлических кабель-каналах (металлическая труба). Мониторинг за состоянием массива на одном участке бермы включает в себя:

- участок реперного контроля за сработкой верхней бровки уступа;
- комплекс аппаратуры для контроля над смещением трещин;
- комплекс аппаратуры для температурного контроля;

- комплекс аппаратуры для сейсмического контроля взрывных и вибрационных воздействий.

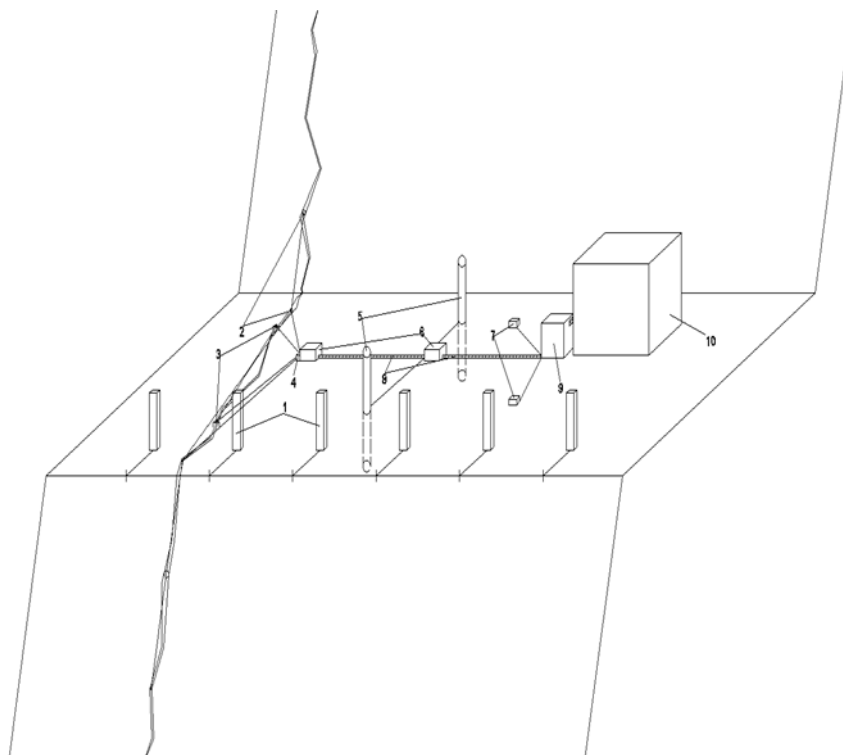


Рисунок 34 — Карьерный пункт комплексного контроля состояния массива участка борта карьера: 1 — Металлические репера; 2 — кольцевые электрические датчики смещения трещин; 3 — механические датчики смещения трещин; 4 — измерительный усилитель и мультиметр; 5 — термоскважина; 6 — блок приема данных; 7 — сейсмоприемники; 8 — провода в металлических кабель-каналах; 9 — приемная станция; 10 — карьерный пункт комплексного контроля

Реперный контроль за сработкой верхней бровки уступа осуществляется путём размещения системы стационарных металлических реперов на контролируемых участках вдоль верхней бровки откосов берм.

Предложена специальная конструкция репера для расширения диапазона и оперативности реперного контроля при фиксации процесса сработки верхней бровки откосов уступов с высокой точностью измерения дистанционно с общего пункта наблюдения одновременно по нескольким локальным участкам.

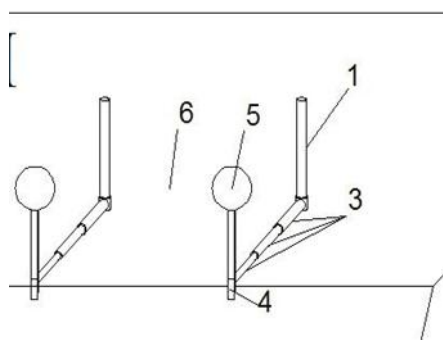


Рисунок 35 — Участок реперного контроля

Положительный результат, получаемый при использовании устройства, выражается в возможности дистанционного контроля сработки верхней бровки откоса уступов без непосредственного присутствия наблюдателей на реперном участке. Важным отличительным признаком является так же тот факт, что в систему установки реперного контроля введен элемент фиксации репера с массивом при помощи прижимного пружинного устройства, а также сферический отражатель жестко соединенный с фиксатором, что повышает достоверность получаемых результатов

Для повышения достоверности получаемых результатов в систему установки реперного контроля введен саморегулирующийся прижимной пружинный фиксатор для фиксации репера с массивом при помощи механизма пружинного крепления размещённого в телескопический став, а также сферический отражатель жестко соединенный с фиксатором.

Предлагаемое устройство иллюстрируется рисунками 35, 36, 37, 38 где схематически показан участок реперного контроля (рисунок 35) с его поперечный разрезом (рисунок 36), а также поперечный разрез стационарного пункта дистанционного контроля (рисунок 37) и общий вид размещения установок реперного контроля и стационарного пункта дистанционного контроля на бермах бортов карьера (рисунок 38).

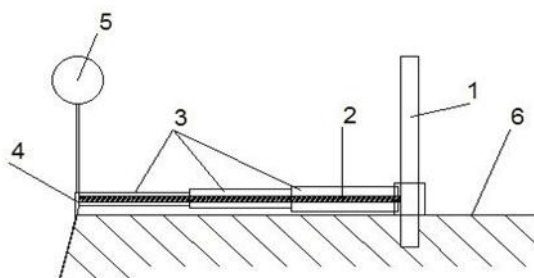


Рисунок 36 — Поперечный разрез



Рисунок 37 — Стационарный пункт дистанционного контроля: 1 — металлический репер; 2 — механизм пружинного крепления телескопического става фиксатора с репером; 3 — телескопический став для обеспечения плотного соприкосновения фиксатора с верхней бровкой откоса уступа; 4 — саморегулирующийся прижимной пружинный фиксатор; 5 — сферический отражатель жестко связанный с фиксатором; 6 — локальный участок бермы; 7 — стационарный пункт дистанционного контроля; 8 — лазерный сканер

На локальных участках предохранительных и транспортных берм (особо в местах деформационных проявлений и нарушений на откосах берм) для долгосрочных наблюдений организуются пункты реперного контроля, состоящие из рядов металлических реперов 1 расположенных вдоль верхней бровки откоса уступа бермы. Расстояние между соседними реперами в ряду 2,0-2,5 м. Расстояние от репера до границы линии верхней бровки откоса уступа бермы от 4 до 6 метров в зависимости от фактического контура линии верхней бровки. Все репера на берме закладываются за линией сдвижения откоса уступа.

Каждый репер оборудуется устройством для его надёжного контакта с поверхностью массива соосно месту заложения репера и состоящему из системы телескопических труб вдвигающихся внутрь себя в сторону металлического репера за счёт воздействия пружинного механизма 2 внутри телескопических труб 3 и имеющего жесткое крепление с репером 1. На конце телескопического става со стороны откоса имеется подпружиненный саморегулирующийся фиксатор 4 в виде прямоугольной площадки со скошенным срезом в её нижней части незначительной площади (порядка  $(0,1-0,2 \text{ м}^2)$ ), который находится в постоянном соприкосновении с породным массивом верхней бровки откоса, перемещаясь в направлении металлического репера через подпружиненную систему телескопических труб при его разрушении. Фиксатор 4 имеет жесткое соединение со сферическим отражателем 5 выполненного из лёгкого материала (металл, пластик и т. п.) и покрытого слоем светоотражающего материала (краска, плёнка и т. п.). При разрушении породного массива верхней бровки откоса на локальном участке предохранительной бермы 6, вместе с фиксатором синхронно перемещается сферический отражатель, перемещение которого фиксируются на стационарном пункте дистанционного контроля 7 расположенного на вышележащих бермах или дневной поверхности карьера в диапазоне действия приборов контроля за смещением, например лазерного сканера 8.

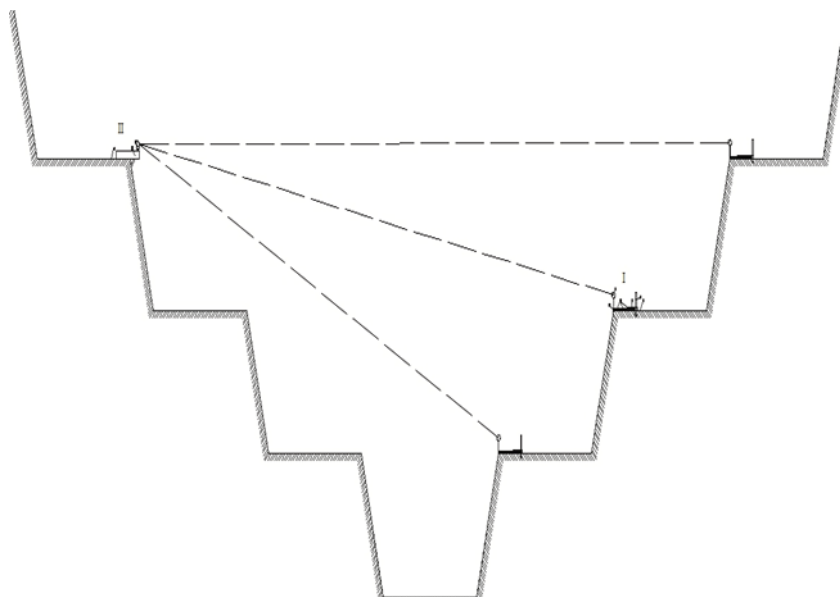


Рисунок 38 — Схема размещения установок для дистанционного контроля

Полученные при наблюдениях результаты могут быть использованы при разработке превентивных мероприятий, предотвращающих активное нарушение либо разрушение верхней бровки локальных участков берм, обеспечивая тем самым сохранение необходимой ширины транспортных и предохранительных берм.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое космическая геодезия? Как с её помощью осуществляется контроль выработок на карьере?
2. Как осуществляется исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями?
3. Как производится геодезический мониторинг карьера методом спутникового позиционирования?
4. Что такое фотодокументация систем трещин в породном массиве?
5. Как осуществляется геомониторинг состояния устойчивости карьерных откосов?

## 6 ОСУШЕНИЕ КАРЬЕРОВ

На сегодняшний день многие разведанные приповерхностные необводнённые месторождения практически отработаны, а эксплуатируемые и перспективные месторождения, как правило, характеризуются сложными гидрогеологическими условиями, что требует применения эффективных методов защиты горных выработок от подземных вод. С непрерывным ростом глубин залегания и отработки полезных ископаемых указанная проблема еще более обостряется.

Для защиты бортов карьеров от обводнения широко применяются различные способы осушения, которые сооружают у подошвы водоносного горизонта нормально или под некоторым углом к линии простирания борта карьера. Существенным недостатком указанного способа осушения остается «проскок» подземных вод к борту карьера, который может достигать 40 % от общего водопритока и серьёзно осложняет ведение открытых горных работ. С непрерывным ростом глубин залегания и отработки полезных ископаемых указанная проблема еще более обостряется.

В связи с широким распространением в мировой и отечественной практике установок горизонтального направленного бурения, открылись новые возможности для построения более совершенных и эффективных способов осушения бортов карьеров.

### 6.1 Анализ существующих методов и технологий осушения карьеров горно-обогатительных комбинатов

В зарубежной практике в послевоенный период быстрое развитие получили так называемые лучевые водозаборы. Данную технологию запатентовали американские ученые, и она широко применяется в зарубежных странах. Эти водозаборы позволяют более эффективно использовать возможности водоносных горизонтов, вытесняя малодебитные артезианские скважины.

Лучевой водозабор имеет вид шахтного колодца, из которого водозаборные скважины расходятся лучами. Вода от туда идет в шахтный колодец, откуда откачивается с помощью насосов. Такая система водоснабжения хороша тем, что позволяет использовать мощные глубинные погружные и непогружные насосы, с более высоким КПД, которые откачивают воду из шахты. Также эта система заметно снижает затраты на эксплуатацию при добыче подземных вод.

Горизонтальные водосборы подземных вод в разном исполнении, такие как дренажи, подземные галереи и т. д., давно известны и применяются во многих областях. Вертикальных колодцев не достаточно, чтобы полностью перехватить весь поток подземных вод даже небольшой мощности, т. к. между ними слишком большое расстояние.

Другой вариант решения вопроса горизонтального водосбора, это задавливание в водоносные пески металлических труб большого диаметра, что поз-

воляет разрешить вопрос каптажа в большом количестве, с минимальными затратами.

Лучевые водозаборы позволяют решить еще один наболевший вопрос: при вертикальном пересечении водоносных горизонтов с водозаборной скважиной, теперь спокойно можно ввести в эксплуатацию маломощные водоносные горизонты, которые нельзя было использовать ранее т.к. дебит их слишком мал.

Кристаллизация, коррозия и заиливание фильтра есть причины спада производительности в артезианских скважинах. Та часть фильтра, которая находится в скважине выше переменного уровня воды, находится на воздухе и корродирует. При горизонтальных водосборах, из-за меньшей скорости движения воды, выделение углекислоты в трубах уменьшается, и кристаллизация проходит гораздо медленнее, также и заиливание замедляется при таких условиях, нежели в скважинах с вертикальным водозабором.

Шахтные колодцы с лучевым водозабором типа Л. Ранняя изображены на рисунке 39. Впервые такой колодец построил американский инженер Л. Ранней в 1934 г в Лондоне, а именно в аллювиальных отложениях на реке Темзе. Дебит такого водозабора составлял  $370 \text{ м}^3/\text{ч}$ . До сих пор он не менял своего значения. Изначально водосборы сооружались около озер или берегов рек, при этом исключали постройки насосных станций, также бурение групп артезианских скважин и устройство очистных сооружений, т. е. насосные станции первого подъема простого открытого водозабора из реки не сооружались.

Диаметр шахты составлял 4–6 м. Толщина стенок равнялась 450–600 мм. От подошвы шахтного колодца отмерялось примерно 1,0–1,2 м вверх и располагалось один, два или три ряда стальных перфорированных труб. Эти трубы выходили наружу шахты через специальные отверстия в стенах. Обязательная задвижка устанавливалась на конце, что выступал для каждой из перфорированных труб. Задвижка имела вид штока, который выводился вверх прямо в насосную будку. С помощью глубинного насоса из шахтного колодца откачивали воду, которая поступала из перфорированных труб. Количество насосов варьировалось исходя из производительности всех перфорированных труб и осуществляемого ими расхода воды, и обычно устанавливалось 2 или 3 насоса.

В насосную будку, расположенную над шахтным колодцем, устанавливают контрольную и пусковую аппаратуру, а также электродвигатели. В местах затопления насосная будка устанавливается немного выше предполагаемого паводка. Из листовой стали изготавливаются перфорированные трубы, размер их 200 мм. Размер отверстий рассчитывают с учётом размера зерен пород, в которых устанавливаются перфорированные трубы. Например, имея крупные песчано-гравелистые породы, отверстия делают размером  $40 \times 8 \text{ мм}$ . Длину звеньев перфорированных труб делают не более 2–2,2 м, для удобства их задавливания. Для правильного определения количества и размера труб учитывают следующие параметры: вода должна входить в отверстия за 3–6 мм/сек, в трубе вода должна двигаться со скоростью, не превышающей 1,5 м/сек. За счёт этого, уменьшается попадание мелких частиц грунта в трубу и улучшается качество воды. В обычных условиях скорость не должна превышать 0,75–0,9 м/сек.



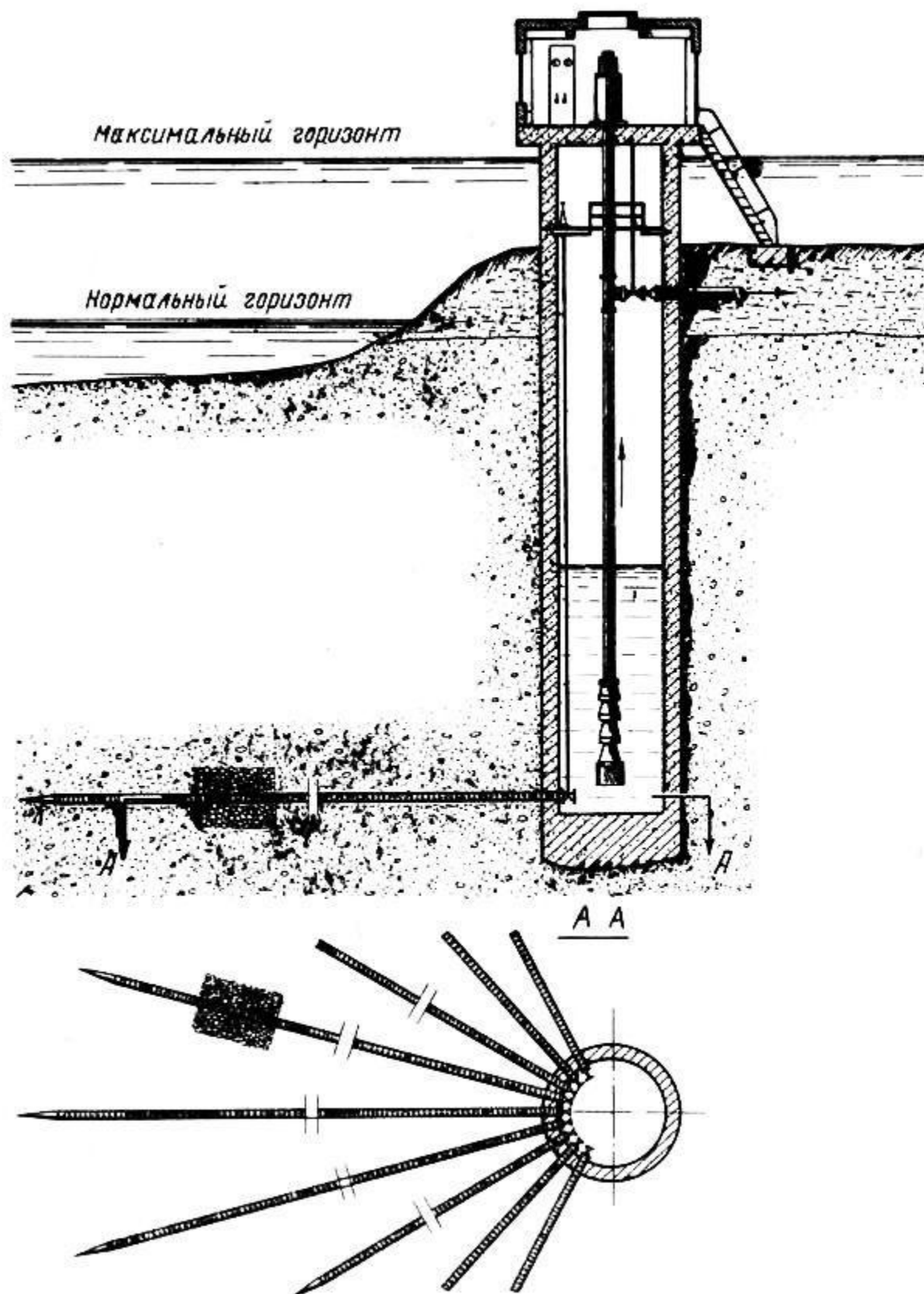


Рисунок 39 — Шахтный колодец с лучевым водозабором

Установка перфорированных труб один из самых ответственных этапов работы. С помощью двух гидравлических домкратов мощностью 100 тонн про-

изводят задавливание труб в грунт. С целью облегчения данного процесса передний конец первой трубы делают со специальным заостренным наконечником. Между наружной поверхностью трубы и заделанным в бетон шахты патрубком ставят специальный уплотняющий манжет, делают это для предотвращения попадания воды в сам колодец.

Как только перфорированную трубу задавливают до определенного уровня, следующее звено наращивают приваркой. Водонапорная труба помещена внутрь перфорированной трубы для размыва грунта в этап задавливания перфорированной трубы. На конических резьбовых соединениях соединяется внутренняя 50-миллиметровая труба. На этом этапе устанавливают специальный насос для откачки воды и песка, поступающих в шахту. Трудность установки перфорированных труб заключается в выборе правильного соотношения между размывом грунта и подачей трубы вперед. Труба может легко выйти из горизонтальной плоскости, при нарушении этого соотношения. Это может привести к аварии. В особенности при песках мощностью 1-2 м [45].

В колодце предусматривают запасные окна, для того чтобы при выходе из строя ранее установленных перфорированных труб можно было своевременно установить новые.

В случае, когда перфорированная труба задавлена таким образом, что часть трубы находится под рекой или озером, то 4-5-метровый естественный слой, отделяющий воду от труб, способен очищать воду бактериологически и химически. Это расстояние проверяется расчетом, и зависит от ряда условий. Около четырехсот водозаборов было построено по методу Л. Раннея в США, Венгрии, ФРГ и других странах к 1961 г. Многие из них имеют производительность 2000–2400 м<sup>3</sup>/ч.

В 1941 г. Р. Небольсин (США) предложил метод устройства лучевых водозаборов, который отличается от метода Л. Раннея. Этот метод основан на том, что в водоносный пласт одновременно задавливают обсадную трубу с толстыми стенами, а также фильтровые трубы. Далее обсадную трубу убирают, и в скважине остаются только буровую головку и фильтровые трубы. Таким же способом происходит образование фильтра в методе Л. Раннея. Нью-Йоркский метрополитен был построен с использованием метода Р. Небольсина при водопонижении. Также в ФРГ было сооружено несколько водозаборов с данным методом. Особо широкого распространения этот метод не получил.

Первые колодцы данного типа были сооружены швейцарским инженером Г. Фельманом еще в 1947–1948 гг. для водоснабжения г. Берна. Отличие метода Фельмана в том, что для сооружения скважины применяют толстостенные гладкие обсадные трубы, которые соединяются на резьбе. Впереди колонны укреплен режущая головка, которая подсоединена к колонне труб, функционал которых в подаче воды для промывки скважины. После окончания бурения промывные трубы выдаются, и вместо них в обсадные трубы вводится также подсоединяемая к «пилоту» колонна перфорированных труб. Только после этого из скважины выдаются обсадные трубы.

Схема лучевого водозабора с восходящими лучами изображена на рисунке 40.

Основные преимущества способа Г. Фельмана по сравнению со способом Л. Раннея:

- перфорация труб может быть осуществлена заранее за счёт данных, полученных во время бурения скважины, о гранулометрическом составе пород; величина отверстий перфорации может не превышать, а в точности повторять величину зерен дренируемого горизонта;

- обсадные трубы могут использоваться не один раз и спокойно заменяться более дешевыми перфорированными тонкостенными; перфорированные трубы можно изготавливать из синтетических материалов;

- в случае, когда пройден слой мелкого песка, во избежание излишнего выноса песка и обрушения грунта данный участок трубы может быть неперфорированными; также как и участок, где пересекается глина может не перфорироваться.

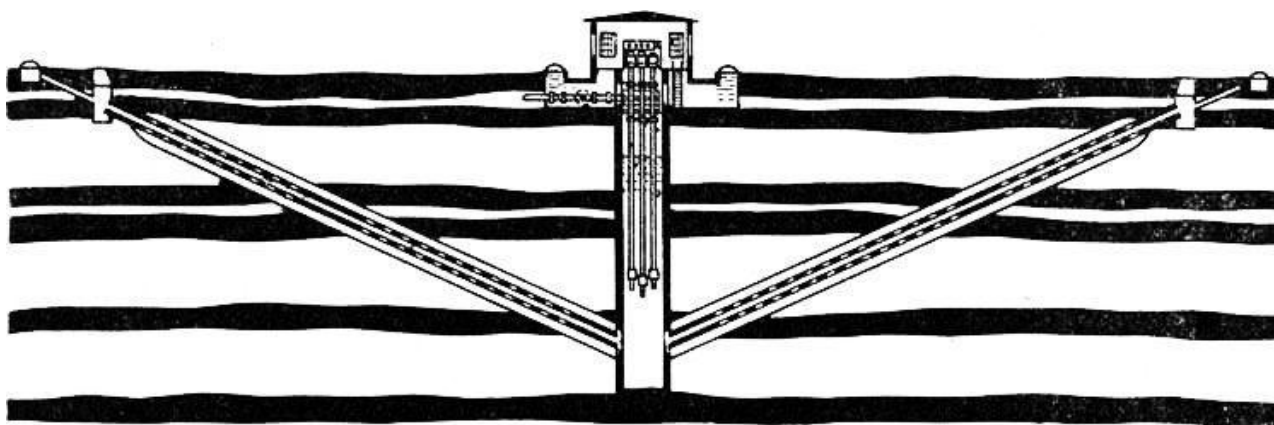


Рисунок 40 — Схема лучевого водозабора с восходящими лучами

Во всех лучевых водозаборах описанных ранее естественный гравийный фильтр, расположенный вокруг фильтровой трубы создавался из местного грунта, посредством интенсивного выноса гравия и мелкого песка.

Способ, который применила фирма «Пройсаг» в Германии, предполагает засыпку заранее подготовленного гравия внутрь концентрического зазора, который образуется между фильтровой и обсадной трубами. В одно время вместе с фильтровой трубой закладывают трубу, которая будет намывать гравий. Равномерно с заполнением гравием участков скважины, обсадная труба будет выдаваться из скважины. Производительность таких лучевых водозаборов колеблется от 100 до 1500 м<sup>3</sup>/ч.

Также есть особые, более интересные с технической точки зрения типы лучевых водозаборов. Малые лучевые водозаборы сооружают, если нет большой потребности в воде, для уменьшения затрат. Шахта таких водозаборов имеет диаметр от 1,5 до 2 м. Г. Фалли получил патент на данный метод в 1955 г. в Австрии, метод получил название малых лучевых водозаборов. Конструкция бурового снаряда отличает этот метод от способа Л. Раннея.

Другой метод сооружения малых лучевых водозаборов запатентовал Г. Фельман в Швейцарии в 1953 г. Отличие этого метода состоит в двухэтаж-

ном полке для оборудования, который нужен при задавливании обсадной трубы. Таким образом, уменьшается диаметр шахты до 1,5-1,6 м. В Германии сооружено несколько водозаборов с восходящими лучами. Пробуривают восходящие скважины из шахты под определенным углом, которые выходят на поверхность. Далее скважины обсаживают трубами, куда после опускают фильтровые колонны. Обсадные трубы извлекают, как только гравий заполняет зазор между фильтровой и обсадной колоннами.

Небольшие колодцы устанавливают там, где фильтровые трубы выходят на поверхность. Глубинные насосы откачивают воду, которая поступает из восстающих скважин.

Эти технологии сооружения водозаборов постоянно совершенствуются и в будущем должны получить широкое распространение.

Основные достоинства водозаборов данного типа:

- оборудования фильтров в соответствии с гранулометрическим составом каждого из пересекаемых водоносных пластов, а также возможностью оборудования глухих участков;

- возможность пересечения всех водоносных участков, что очень важно при большом числе маломощных изолированных друг от друга водоносных пластов;

- возможность спуска обсадной и фильтровой колонн с поверхности звеньями большой длины, что упрощает и облегчает производство работ.

Ремонт скважины или смена фильтра осуществляется с поверхности вне зависимости от работы водозабора.

Впервые в 1960 г. на берегу р. Рейн сооружен водозабор с восходящими лучами. Постройка была осуществлена с целью водоснабжения металлургического завода. Глубина шахты 18 м, диаметр 3 м. Суммарная длина восходящих лучей 1000 м. Дебит водозабора равен 2000 м<sup>3</sup>/ч. Из поливинилхлорида изготавливается фильтровая колонна диаметром 160 мм.

Заметим, что каждый из описанных нами лучевых водозаборов имеет свои плюсы и минусы сточки зрения гидрогеологических характеристик водоносных пород, как со стороны производства работ, так и эффективности использования водоносного горизонта.

Основное преимущество лучевых водозаборов это их незаменимость, при больших объёмах производства.

При составлении вариантов открытого водозабора из реки и шахтного колодца с лучевым водозабором следует принимать во внимание, что для большинства районов стран СНГ диапазон колебания температуры воды, получаемой из шахтного колодца, в любое время года не превышает 8-12° С. Это очень важно в тех случаях, когда значительная часть воды потребляется предприятиями бумажной, текстильной, металлургической, химической промышленности и т. д.

В Советском Союзе проектированием и строительством лучевых водозаборов занимались несколько организаций. Эти наработки остались в странах бывших советских социалистических республик и по сей день.

На рисунке 41 показан опытно-эксплуатационный водозабор, сооруженный в Казахстане по проекту треста Гидроспецпромстрой.

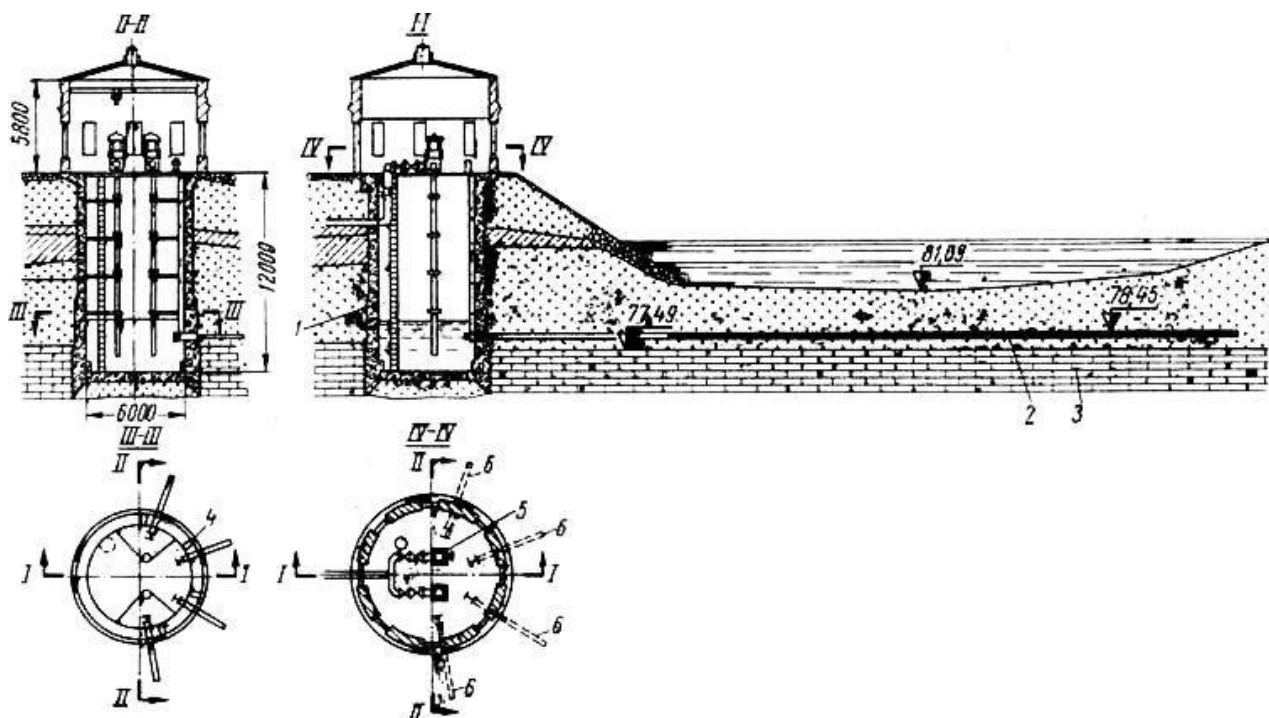


Рисунок 41 — Опытно-эксплуатационный лучевой водозабор в Казахстане:

- 1 — железобетонный шахтный колодезь, 2 — фильтровая щелевая труба,  
 3 — скала, 4 — запасной направляющий патрубков,  
 5 — насос 20А-18ХІ ( $Q = 600 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ ), 6 — лучи

Внутренний диаметр шахты 6 м, глубина шахты 12 м. Предусмотрено четыре луча длиной до 50 м, длина фильтров — по 35 м, диаметр фильтров — по 200 мм. Два луча — подрусловые, два — береговые. Скважность фильтров 17,4 %. Метод устройства лучевых водозаборов аналогичен венгерскому. Опытная откачка одного из лучей длиной 15 м при понижении уровня воды в водосборной камере относительно уровня воды в реке на 5 м составляет  $200 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ . В Прибалтике, г. Рустави и в нескольких других городах соорудили лучевые водозаборы таким способом.

Водопонижение с помощью лучевого водозабора при сооружении Киевской ГЭС. В 1964 г. горизонтальный лучевой водозабор был успешно применен трестом Гидроспецстрой на строительстве Киевской ГЭС. Ствол шахты предстояло пройти в аллювиальных отложениях мощностью 20 м, сложенных среднезернистыми и крупнозернистыми песками, ниже которых залежали водонасыщенные бучагские пески. Грунтовые воды находились на глубине 2–3 м. Глубина шахты 25 м, диаметр в свету 5,5 м. Толщина крепи 0,6 м. Крепь ствола шахты представляла собой замкнутую бетонную стенку и возводилась путём бурения вплотную скважин, заполняемых затем бетоном. Устойчивость стенок образуемой траншеи обеспечивалась заполнением их глинистым раствором. Бетонирование траншеи велось под глинистым раствором. Буровая установка со-

стояла из поворотной платформы, установленного на ней станка УКС-22м и мачты. Поворотная платформа перемещалась вокруг центральной опоры. Привод платформы осуществлялся трубой, имеющей диаметр 219 мм. Для остановки поступления грунта в продавливаемые трубы, и блокировки пропуска и регулирования потока воды от размыва грунта перед головкой сооружена специальная конструкция затвора головки. Параболическая часть корпуса имеет отверстия диаметром 16 и 20 мм, которые предназначены для приёма грунта, и отверстия диаметром 10 мм для выхода воды, размывающей грунт. Приёмные отверстия распределяют по параболической части корпуса головки равномерно, кроме верхнего участка. Сделано это для уменьшения при продавливании возможного отклонения луча вверх. Обсадные трубы подготавливали длиной по 2 м и прodelывали проточку фаски, для более качественной сварки.

Далее устанавливается колонна фильтровых труб и резиновый сальник в зазор между обсадными и фильтровыми трубами на определённую глубину колонны обсадных труб. После чего домкратом из скважины извлекаются обсадные трубы. Фильтровые трубы изготавливаются из стали диаметром 114 мм, в них перфорируются щели длиной 100 мм, шириной 3–4 мм, и обматываются латунной или винипластовой сеткой галунного плетения. Сквашность фильтров всех дрен около 10 %. Всего оборудовали четыре лучевых дрен.

Основное оборудование, используемое для установки лучевых дрен:

- вентилятор «Сирроко» производит вентиляцию рабочей зоны, при сварке труб;
- насосы С-204 откачивает воду из шахты;
- два домкрата ГД-170/1120, имеют суммарное усилие 340 тонн, маслосос и бак для масла;
- насос НГР-250/50 обеспечивает нагнетание размывающей воды прямо в буровую головку.

После дополнительной промывки давление на интервале 30-40 м не превышало 20-30 тонн, а максимальное усилие домкратов при продавливании обсадных труб не превышало 40-45 тонн.

В итоге оборудования лучевого водозабора вдоль продольной перемычки сооружаемой ГЭС можно было спокойно демонтировать глубинные насосы на участке около 300 м.

Кафедрой открытых работ Фрайсбургской горной академии в Германии были проведены опытные работы в области применения электроосушения на буроугольных карьерах. Опыты по повышению устойчивости бортов карьеров проводили на карьере Цехау.

Участок, на котором проводили исследования, находился под угрозой оползания уступа в связи с боковым гидростатическим давлением на него.

На рисунке 42 изображена схема расположения электродов на карьере Цехау. В нижней части откоса были установлены горизонтальные забивные фильтры-катоды с интервалом 7 м. В качестве анодов были использованы железные трубы, забитые на глубину 6 м вертикально в грунт выше подошвы откоса.

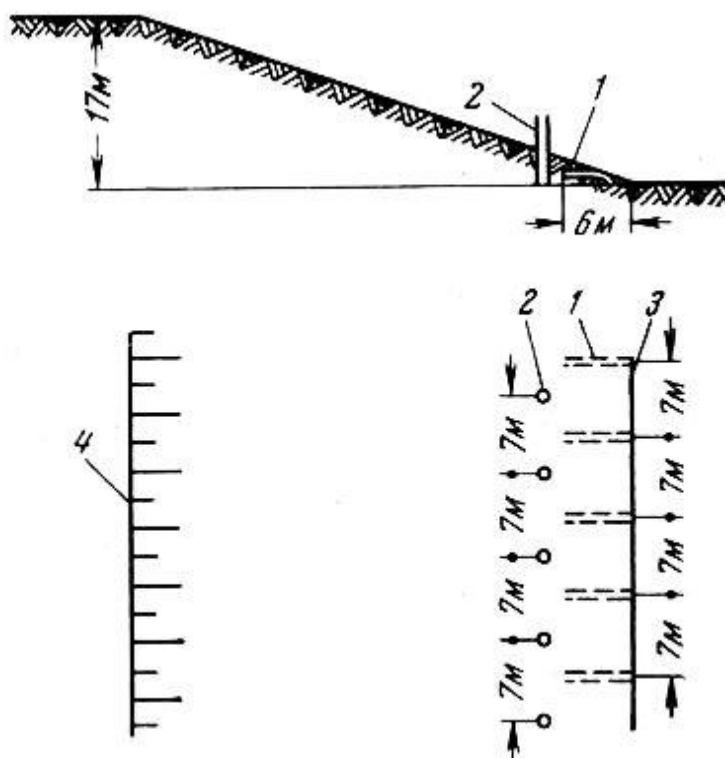


Рисунок 42 — Схема расположения электродов при опыте по усилению действия забивных фильтров на карьере Цехау:  
 1 — горизонтальные забивные фильтры (катоды),  
 2 — вертикальные трубы (аноды), 3 — подошва уступа, 4 — бровка уступа

В связи с низкими коэффициентами фильтрации грунтов из большей части установленных забивных фильтров вода не поступала, восемь фильтров дали очень незначительный дебит. Наибольшая производительность одного из фильтров составляла  $0,77 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

В качестве источника постоянного тока был использован мотор-генератор мощностью  $10,3 \text{ кВт}$ . Было включено семь пар фильтров с анодами. Напряжение между электродами каждой пары составляло  $86 \text{ В}$  при общей силе тока  $55 \text{ А}$ . Средняя напряженность электрического поля в области эффективного перепада напряжений была  $0,06 \text{ В/см}$ .

После включения электроосмоса началось поступление воды из всех фильтров. Дебит фильтров, из которых вода поступала и ранее, резко увеличился. Дебит фильтра, ранее составлявший  $0,77 \text{ см}^3/\text{мин}$ , увеличился до  $10 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Уровень грунтовых вод был понижен до безопасных пределов при сравнительно небольшом суммарном отборе воды. Устойчивость грунта в подошве откоса повысилась.

## 6.2 Передовой опыт горно-обогатительных комбинатов России по осушению карьеров

Различают два вида осушения месторождения: предварительное и текущее. Предварительное осушение производят до начала разработки. Оно предназначено для понижения уровня подземных вод и осушения участков, подлежащих разработке в первую очередь. Текущее осушение производят одновременно с разработкой месторождения.

Применяют поверхностный, подземный и комбинированный способы осушения.

Поверхностный способ применяют в случаях, когда водоносные горизонты и горизонт грунтовых вод находятся на небольшой (80-100 м) глубине в породах с хорошей водоотдачей. Реализация способа осуществляется, бурением и обустройством вертикальных и горизонтальных водопонижающих и водопоглощающих скважин, иглофильтровых установок и опережающих поверхностных траншей [46].

Водопонижающие скважины диаметром 200–800 мм проводят для снижения уровня (напора) в водоносных горизонтах, залегающих на глубинах 25–500 м, мощностью свыше 10 м, с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут. Их бурят до подошвы водоносного горизонта, при пересечении водоносных горизонтов оборудуют фильтрами или перфорированными трубами (в трещиноватых породах) и оснащают погружными насосами.

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 ниже напора на уровне залегания толщи разрабатываемого полезного ископаемого. Разность уровней в дренируемом и поглощаемом горизонтах, обычно поддерживается водопонижающими скважинами.

Горизонтальные дренажные скважины (диаметром 50-300 мм и длиной 50-100 м) сооружают для самотечного осушения уступов рабочего и нерабочих бортов карьеров в песчаных породах (осушительный эффект горизонтальных скважин выше чем вертикальных, при расстоянии между дренами равным их длине коэффициент «заслона» составляет более 90%).

Опережающие траншеи (канавы) сооружают для снижения уровня воды в маломощных (до 10 м) и неглубоко (до 15 м) залегающих водоносных горизонтов, проводимых при помощи специальных траншейных экскаваторов. Откачка воды из траншей производится центробежными низконапорными насосами, а при благоприятном рельефе местности удаляется самотеком. Иголфильтровые установки применяют для временного и локального понижения уровня подземных вод в песчаных и песчаноглинистых породах с коэффициентом фильтрации 0,2-0,3 м/сут.

На рисунке 43 изображена принципиальная схема иглофильтровой установки.



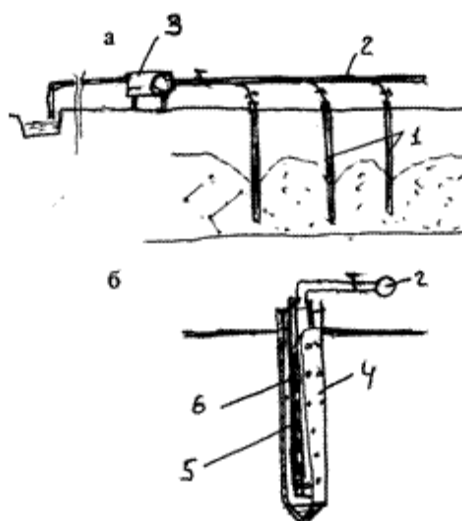


Рисунок 43 — Принципиальная схема иглофильтровальной установки:

- 1 — иглофильтры, 2 — коллектор, 3 — насосный агрегат,  
 4 — внутренняя труба с наконечником, 5 — внешняя труба,  
 6 — сетчатый фильтр

Иглофильтровальная установка состоит из иглофильтра, коллектора и насосного агрегата. Иглофильтр представляет собой колонну труб, оканчивающихся фильтровым звеном с режущим наконечником. Фильтровое звено иглофильтра (длиной около 1 м) состоит из двух труб: наружной (целиком перфорированной, с проволочной обмоткой и латунной сеткой) и внутренней (с отверстиями и плавающим шариковым клапаном на нижнем конце либо как в эжекторе — насадкой и соплом). При создании насосным агрегатом вакуума в иглофильтре клапан перекрывает нижнее отверстие внутренней трубы, и вода поступает только через фильтр наружной трубы. Различают иглофильтры передвижные и легкие, отличающиеся только числом фильтров и производительностью.

Основной недостаток иглофильтровальных установок малая высота подъема воды (6-8 м, 6 м для легких иглофильтров).

Осушение может осуществляться в вариантах открытого вододотлива, изображенном на рисунке 44. 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, который изображен на рисунке 45.

Дренажные штреки проводят по кровле или почве полезного ископаемого, реже по пустым породам. Дренажные штреки сообщаются с поверхностью через штольни или стволы.

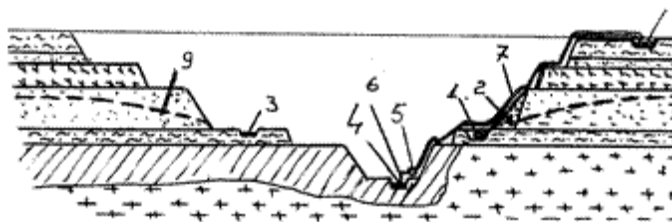


Рисунок 44 — Принципиальная схема открытого вододотлива:

- 1 — канава с водоотливной трубой, 2 — пригрузка у основания уступа, 3 — водосборная и водоотливная канава, 4 — водосборник, 5 — насос, 6 — всасывающий трубопровод, 7 — нагнетательный трубопровод, 8 — поверхностная водоотливная канава, 9 — депрессионная воронка

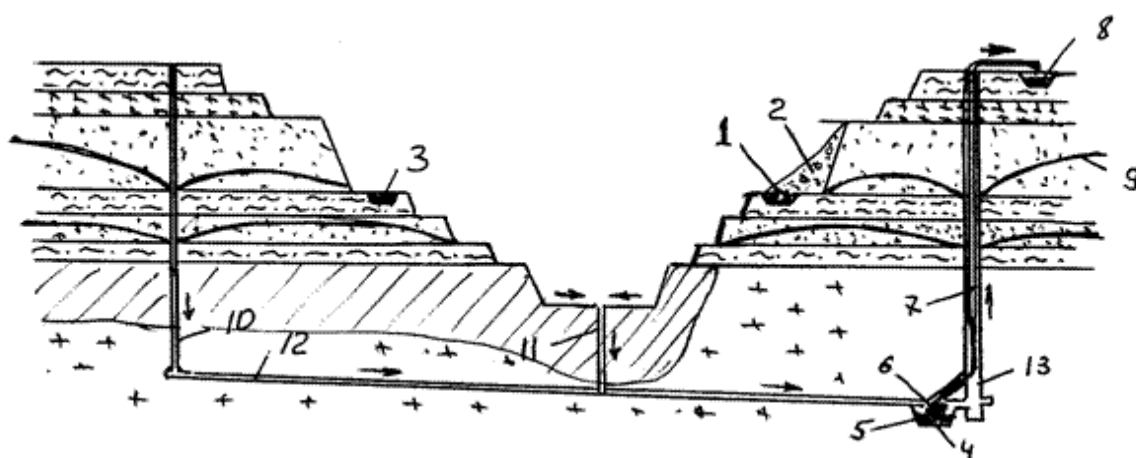


Рисунок 45 — Принципиальная схема подземного вододотлива:

- 1 — канава с водоотливной трубой, 2 — пригрузка у основания уступа, 3 — водосборная и водоотливная канава, 4 — водосборник, 5 — насос, 6 — всасывающий трубопровод, 7 — нагнетательный трубопровод, 8 — поверхностная водоотливная канава, 9 — депрессионная воронка, 10 — дренажная скважина, 11 — водоотливная скважина, 12 — дренажная выработка, 13 — водоотливной ствол

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. Например, для дренирования воды в штреки из вышележащих водоносных горизонтов при наличии водоупоров используют 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 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 (диаметром 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.

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.

Основные достоинства подземного дренажа:

- высокая степень централизации водотлива;
- возможность использования как в хорошо проницаемых, так и сравнительно слабо проницаемых породах (с коэффициентом фильтрации 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), (поэтому в период строительства и первых этапах эксплуатации карьера чаще всего используется 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 менее 5 м/сут в несвязанных породах и менее 1 м/сут в трещиноватых);

- необходимость откачки воды большим числом самостоятельных водоотливных установок;

- большие эксплуатационные затраты связанные с обслуживанием большого числа насосов, часто выходящих из строя;
- трудность централизованного водоотвода.

Комбинированное водоосушение является комбинацией способов поверхностного подземного дренажа воды.

Общим недостатком всех схем осушения карьерных полей является:

- 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. Проявляющихся в снижение уровня подземных вод в радиусе нескольких десятков километров, появлении депрессионных воронок, истощение водных ресурсов, загрязнение поверхностных водотоков и водоемов карьерными водами;
- нарушению природного ландшафта на огромных территориях, и т. д.

Эффективность того или иного вида дренажа на карьерах осуществляется соответствующими гидрогеологическими расчетами, а окончательный выбор способа производится на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

На карьере Лебединского ГОКа используется комбинированный способ осушения. Оборудована система дренажных штреков в виде замкнутого контура по периметру карьера с оборудованными на них сквозными фильтрами. Дренажные штреки проводятся в основании рудной залежи по кварцитам и сланцам. Подземные воды, дренируемые со всего месторождения по дренажным штрекам, самотеком поступают в водосборник подземной насосной станции и выдаются на поверхность.

На Михайловском ГОКе осушение карьерного поля в связи со сложными гидрогеологическими условиями осуществляется комбинированным способом с использованием средств открытого карьерного водоотлива и подземного дренажного комплекса.

В связи со значительными размерами защищаемого объекта (размеры карьера в плане 2,5×7 км) для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды на Михайловском ГОКе принята подземная система осушения с использованием восстающих дренажных скважин и водосбросных скважин. Для этого на предприятии построена Дренажная шахта. Суммарная протяженность всех сооруженных выработок с момента начала её строительства составила более 60 километров. Для обслуживания выработок построено шесть стволов. В настоящее время за счёт расширения карьера часть выработок и стволов подработаны. Протяженность действующих выработок составляет более 30 километров, также осталось три действующих ствола, два из которых вентиляционные. Суммарная длина пробуренных по документации Новотэк восстающих дренажных скважин составила более 18 километров, а водосбросных скважин — более 24 километров.

Отличительной особенностью системы водозащиты карьера Михайловского ГОКа является использование заглубленного карьерного водоотлива, что

позволило исключить работы по эксплуатации насосных станций, расположенных в рабочей зоне карьера. Это сократило время простоя добычного оборудования на дне карьера и подтопление нижних уступов в ливневый и паводковый периоды.

В настоящее время на бортах карьера Михайловского ГОКа практически отсутствуют водопрооявления. Это заслуга Дренажной шахты. Суммарный объём дренажных вод, выдаваемых на поверхность, составляет 20–22 млн. м<sup>3</sup> в год. При этом потребность электроэнергии Дренажной шахты составляет 36,5 ГВт в год. Эффективность принятых решений по работе системы осушения подтверждается выполнением Михайловским ГОКом годовых планов по добыче 47 миллионов тонн руды в год.

Стойленский ГОК извлекает подземные воды посредством 106 дренажных восстающих скважин, пробуренных из кольцевой системы горизонтальных выработок общей протяженностью 35 км. Подземный хозяйственный водозабор включает в себя 29 восстающих дренажных скважин и шахтный водоотлив из ствола №3.

На Ковдорском ГОКе осушение карьера производится поверхностным способом. В системе осушения используются горизонтальные дренажные скважины, сооружаемые на уступах карьера.

Осушение карьерного поля «Восточный» осуществляется водопонижающими скважинами, расположенными на бортах карьера и открытым водоотливом. Средний фактический водоотбор из водопонижающих скважин осушения составляет 3708 м<sup>3</sup>/сут, открытый карьерный водоотлив — 5311 м<sup>3</sup>/сут.

Скважины системы осушения оборудованы погружными электронасосными агрегатами марки ЭЦВ6-ЭЦВ8 производительностью от 6,3 до 40 м<sup>3</sup>/час. Общее количество скважин системы осушения карьера составляет 62 единицы, из них: в постоянной работе — 17, в резерве — 12, наблюдательных — 33. Максимальный фактический водоотбор из 173 м<sup>3</sup>/час. Открытый карьерный водоотлив состоит из главной передвижной насосной станции (ГПНС) и перекачных насосных станций (ПНС-1 и ПНС-2), перекачивающих воду в пруд-отстойник. Все станции карьерного водоотлива оборудованы насосами марки ЦНС180-170.

На Ермолаевском карьере (Башкирская АССР) используется электроосушение при проходке глубокой траншеи. Работы по применению электроосмоса были проведены при сооружении северной выездной угольной траншеи карьера.

Под руководством профессора Б. А. Ржаницына институтом Ленгипрошахт была запроектирована система электроосмотических водопонижающих завес. Проект осуществлялся трестом Союзшахтоосушение, при этом участвовал инженер НИИ фундаментов и оснований Е. В. Степанова.

На Ермолаевском карьере существует проблема постоянных оползней, в связи с этим водопонижение обычным способом с сооружением траншеи с использованием глубинных насосов и иглофильтровых установок представлялось невозможным, этим обусловлена необходимость в применении электроосушения. Работы приостанавливали из-за того, что к началу применения электро-

осушения при наибольшей глубине траншеи 36 м и общей ее длине 1200 м оползни занимали участок протяженностью около 900 м, толщиной 5–10 м.

Основная причина обводнения карьера это наличие водоносного горизонта подугольных отложений.

Две электроосмотические завесы были оборудованы для снижения водонасыщенности пород вскрываемых траншеей.

Одна электроосмотическая завеса состояла из 19 водопоглощающих и 15 водопонижающих скважин, которые были расположены в ряд вдоль западного борта на расстоянии 35-50 м от начала откоса. Глубинные насосы марки АТН-8 расположены в водопонижительные скважины глубиной 50-60 м, расстояние между ними примерно 70 м. Между водопонижающими скважинами располагались водопоглощающие скважины, имеющие глубину 40-50 м. В суглинках заканчиваются три водопонижающие скважины. Все остальные скважины, в том числе и все водопоглощающие, заканчиваются в песках.

К отрицательному полюсу источника постоянного тока подсоединили все водопоглощающие и водопонижающие скважины.

Скважины глубиной 30 м пробурили между поглощающими скважинами на равном расстоянии друг от друга. В них разместили металлические стержни электродов, которые присоединили к положительному полюсу источника постоянного тока.

Весь ряд скважин разделили на три участка, каждый из них оборудовали выпрямителем типа СУГ-2, имевшим силу тока 300 А и напряжение 30 В.

Эффективность работы водопоглощающих скважин увеличивается за счёт наложения постоянного электрического тока. За счет понижения уровня грунтовых вод, представилось возможным соорудить траншею до нужной глубины.

Но заметим, что оборудования электроосмотического водопонижения хватило для проходки только вдоль одного из бортов траншеи на её полную глубину.

На склоне западного борта разрезной траншеи, а именно на берме, который расположен на верхней кромке ниже на 3 м, оборудовали вторую электроосмотическую завесу. Её составили из иглофильтровых установок. Оборудована она была с целью предотвращения оплывания верхней части откоса.

Если при снятии 3-метрового слоя грунта наблюдается выход грунтовой воды, которая скопилась на поверхности бермы, необходимо принять определенные меры, предотвращающие возможность оползней.

Иглофильтры устанавливали через промежуток 1,5 м. Расстояние между стержнями электродов (катодов) и рядами иглофильтров (анодов) равняется 0,65 м. Глубина погружения катодов и анодов 8 м. Завеса состоит из стержней-электродов и четырех участков по 100-120 иглофильтров.

На каждом участке поставлены постоянные источники тока типа ПСМ-100 и установки типа ПВУ или ЛИУ-2. На каждом участке расход воды колеблется от 4 до 1,5 м<sup>3</sup>/ч. При напряжении 60 В плотность тока равна 0,3 А на одном квадратном метре завесы.

Вдоль электроосмотической иглофильтровой завесы оборудовали семь поперечных створов с целью контроля результатов. Каждый створ состоял из 3-4 контрольных скважин. Далее оборудовали гидронаблюдательную скважину № 36, а также 10 контрольных скважин расположили по створу опытного участка.

Верхнюю часть скважины № 36 срезали откосом борта траншеи. В итоге устье этой скважины опустилось на 1,7 м ниже отметки поверхности бермы. Расстояние створа опытного участка по прямой от устья скважины № 36 до контрольной скважины № 6 равно 23 м.

Грунтовые воды шли на снижение достаточно интенсивно. Уровень грунтовых вод снизился на 2,5 м уже за первые сутки после включения иглофильтров и электроосмоса. Далее колебание в вакууме оказывает довольно сильное воздействие на колебания уровня грунтовых вод.

На рисунке 46 показаны замеры уровня грунтовых вод по одному из створов на контрольных скважинах № 32, 33, 34, 35.

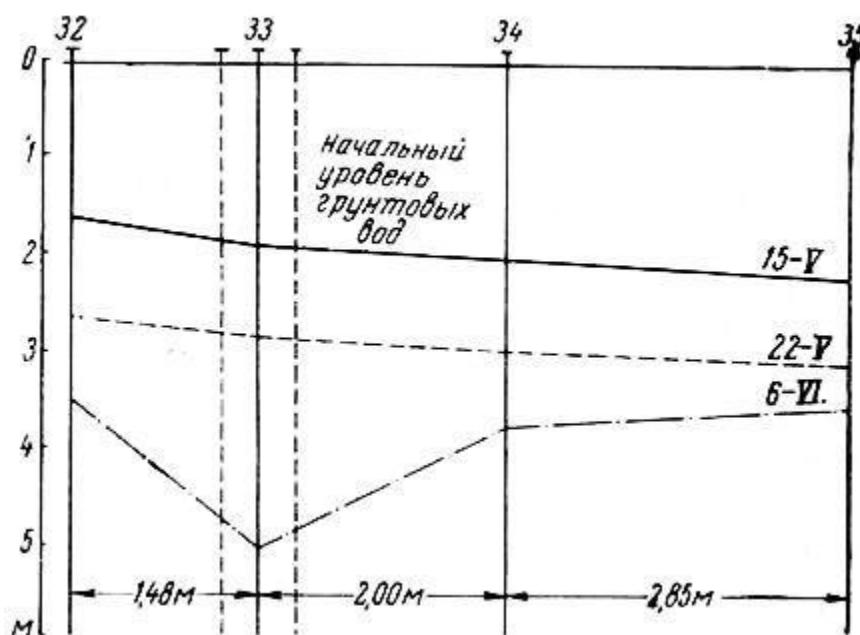


Рисунок 46 — Положение уровня грунтовых вод по створу иглофильтровой завесы

Контрольная скважина № 33 расположена между рядом иглофильтров и рядом стержней-электродов. Достигнутое понижение уровня грунтовых вод 2,15 м.

Достигнутое положение уровня грунтовых вод оказалось вполне достаточным для проходки выездной траншеи. Необходимости в оборудовании на откосе борта траншеи электроосмотических иглофильтровых завес второго и третьего ярусов не было.

Описанный случай глубокого электроосушения при сооружении карьера в особо неблагоприятных в гидрогеологическом отношении условиях является

беспрецедентным в практике осуществления аналогичных работ и свидетельствует о больших возможностях этого способа борьбы с водой.

### 6.3 Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров

Горизонтальные дренажные скважины являются, как правило, элементом двухконтурных дренажных систем и сооружаются на внутреннем дренажном контуре.

При дренаже прибортового массива горизонтальные скважины позволяют снизить «проскок» и уровни подземных вод до безопасных величин гидродинамического давления фильтрующейся воды, вследствие чего:

- увеличивается фильтрационная устойчивость бортов карьеров;
- повышаются прочностные свойства вскрышных пород;
- снижается влажность полезного ископаемого;
- улучшается работа горнотранспортного и вскрышного оборудования;
- снижается вероятность локальных прорывов подземных вод в выработку.

С учётом всех преимуществ горизонтальных дренажных скважин они нашли широкое применение при создании систем защиты месторождений полезных ископаемых от подземных вод.

Схемы с использованием горизонтальных дренажных скважин для осушения бортов карьеров были разработаны и стали применяться в конце 30-х годов. С начала 60-х годов ЦНИИгоросушение (с 1968 г. ВИОГЕМ) при участии НИИ КМА выполнили конструкторские и экспериментальные работы, промышленные испытания буровой установки С-100, предназначенной для бурения горизонтальных дренажных скважин.

Горизонтальные дренажные скважины закладываются с уступов бортов карьера нормально откосу, создавая вдоль всего уступа призму осушенной породы, подготовленной для отработки экскаваторами.

В настоящее время при осушении месторождений полезных ископаемых с применением горизонтальных дренажных скважин используют следующие схемы:

- схема дискретно расположенных скважин перпендикулярно осушаемому борту карьера (рисунок 47);
- узловое — веерное расположение скважин из одной точки (ствола), скважины сооружаются под заданным углом к линии простирания борта карьера, количество и ориентация определяются по результатам компьютерного моделирования (рисунок 48).

Горизонтальные скважины, закладываемые нормально простиранию борта карьера у подошвы водоносного горизонта (комплекса), предназначены для перехвата «проскока» подземных вод через контурную заградительную установку вертикальных водопонижающих скважин. Учитывая все преимущества горизонтальных дренажных скважин, при определенных горно-технических и



геолого-гидрогеологических условиях, можно рассматривать их как основные дренажные устройства для защиты месторождения от подземных вод.

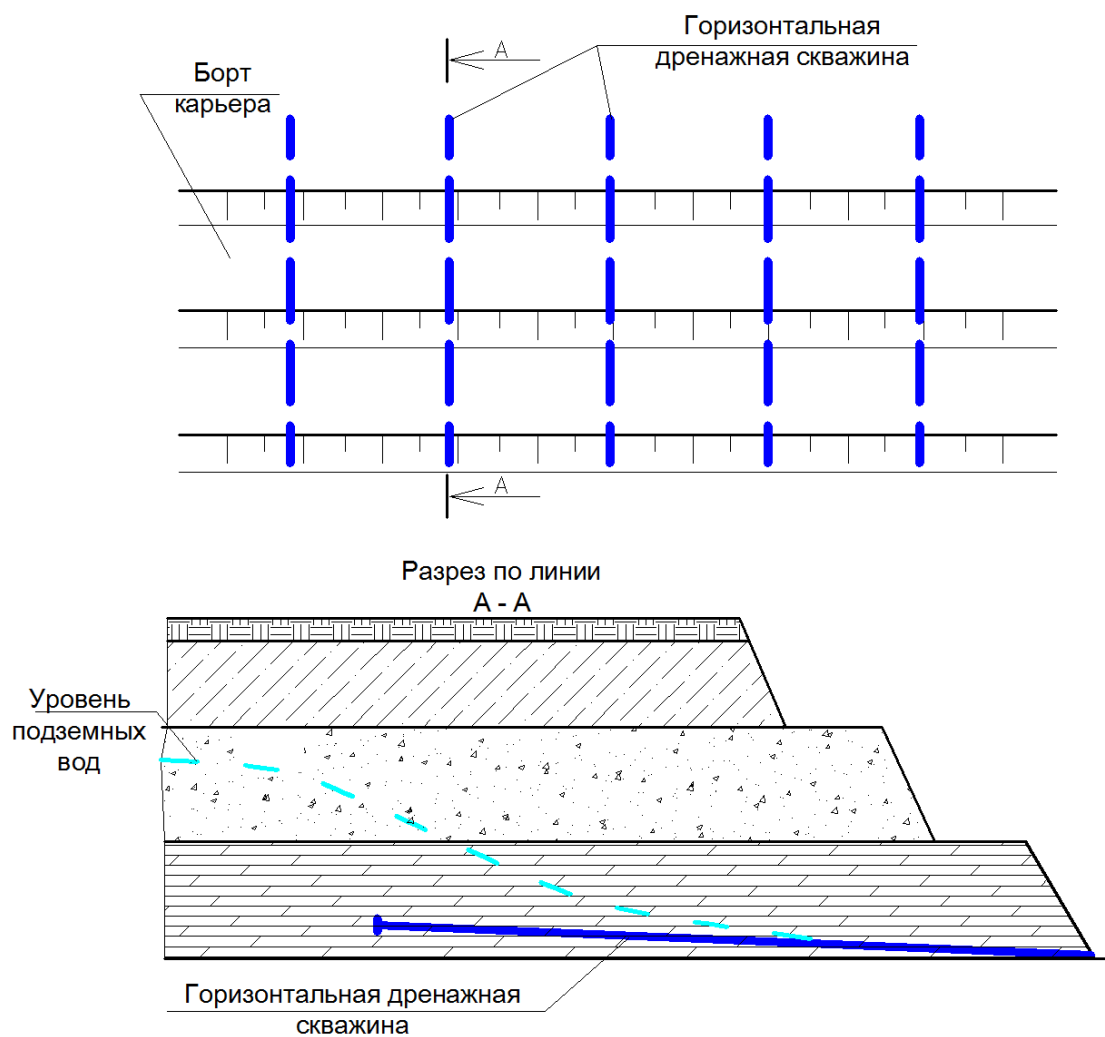


Рисунок 47 — Схема дискретно расположенных горизонтальных скважин, сооружаемых перпендикулярно осушаемому борту карьера

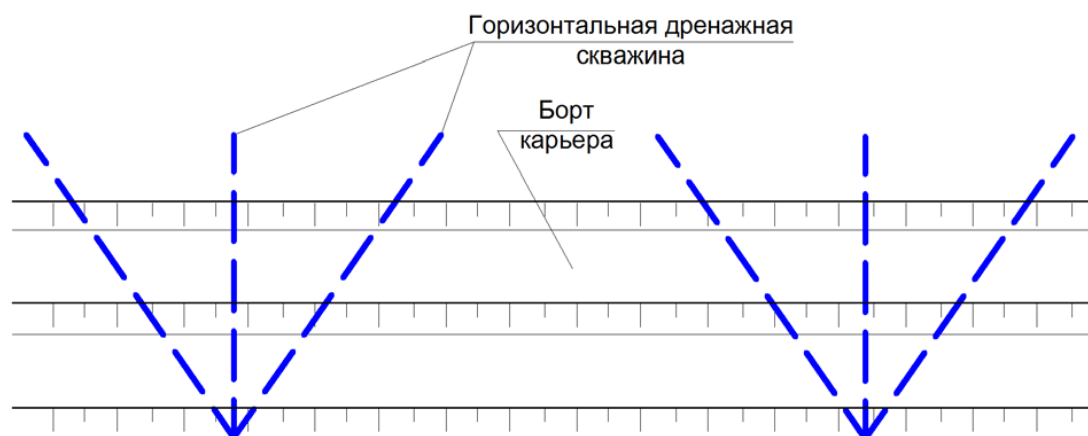


Рисунок 48 — Схема узлового расположения горизонтальных скважин

Горизонтальные дренажные скважины применяются в системах осушения Лебединского карьера, Ковдорского карьера, разреза «Восточный» (Казахстан), Бачатского угольного разреза, Бородинского угольного разреза и др.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Перечислите известные способы осушения карьерных полей.
2. Что представляют собой лучевые водозаборы? Начертите схему.
3. Что представляют собой шахтные водозаборы? Начертите схему.
4. Как производится электроосушение? Его достоинства и недостатки.
5. Как осуществляется поверхностное осушение с использованием водопонижающих скважин?
6. Что такое комбинированное водоосушение?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горное дело: терминологический словарь / Л. И. Барон, Г. П. Демидюк, Г. Д. Лидин [и др.]. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: «Недра», 1981. — 479 с.
2. Шапарь А. Г. Механика горных пород и устойчивость бортов карьеров / А. Г. Шапарь. — К.: «Вища школа», 1973. — 120 с.
3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров отвалов / Г. Л. Фисенко. — М.: «Недра», 1965. — 378 с.
4. Жабко А. В. Расчет бортов карьеров на обрушения / А. В. Жабко, Н. В. Волкоморова, Н. М. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. — Екатеринбург: ФГБОУВО «УГГУ», 2020. — Вып. 2(58). — С. 129-137.
5. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. — М.: «Наука», 1990. — 272 с.
6. Жабко А. В. Теоретические и экспериментальные аспекты пластического деформирования и разрушения горных пород / А. В. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. — 2018. — Вып. 1 (49). — С. 68–79.
7. Чанышев А. И., Подыминогин Г. М. Определение максимально допустимой высоты карьера в массиве горных пород / А. И. Чанышев, Подыминогин Г. М. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — № 2. — С. 291–298.
8. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: введен в действие с 01.01.1999: [утверждён Госгортехнадзором РФ 16.03.1998]. — С.-Петербург: ВНИМИ, 1998. — 208 с.
9. Жабко А. В. Прочность континуума (твердых тел) / А. В. Жабко // Известия вузов (горный журнал). — Екатеринбург: ФГБОУВО «УГГУ», 2019. — № 3. — С. 47–55.
10. Жабко А. В. Континуальная концепция сдвиговой дезинтеграции твердых тел / А. В. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. — Екатеринбург: ФГБОУВО «УГГУ», 2017. — № 2(46). — С. 111-123.
11. Годунов С. К. Уравнения математической физики / С. К. Годунов. — 2-е изд. — М.: «Наука», 1979. — 392 с.
12. Slope Stability Reference Guide for National Forests in the United States. Washington, DC, United States Department Agriculture, Engineering Staff, 1994, August. Vol. II.
13. Slope Stability. Washington, DC, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineering, 2003, 31 October.
14. Abramson L. W. Slope Stability and Stabilization methods / L. W. Abramson, T. S. Lee, S. Sharma [and other]. — 2nd Edition. — N. Y.: «John Wiley & Sons», 2002.

15. Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. CSIRO, 2009. — URL: <https://doi.org/10.1071/9780643101104>.

16. Тюпин В. Н. Разработка методов сохранения устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при проведении массовых взрывов / В. Н. Тюпин, В. Н. Анисимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2019. — № 4. — С. 53-62.

17. Правила безопасности при взрывных работах: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 2-е изд. — Серия 13. — Вып. 14. — 340 с.

18. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2007 г. № 586 ст: введен впервые: дата введения 01.10.2008 г. — М.: «Стандартинформ», 2008. — 20 с.

19. Руководство по определению радиусов опасных зон сейсмического действия взрывов, проводимых на земной поверхности / под ред. В. Л. Барона, В. А. Белина, М. И. Ганопольского. — М., 2011. — 36 с.

20. Зыков В. С. Исследование влияния массовых взрывов на устойчивость подземных горных выработок при открыто-подземной разработке угольных месторождений / В. С. Зыков, В. В. Иванов, В. В. Соболев // Безопасность труда в промышленности. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — № 11. — С. 19-28.

21. Камянский В. Н. Исследование приконтурного массива при производстве взрывных работ на карьерах / В. Н. Камянский // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2017. — № 17. — С. 228-234.

22. Белин В. А. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов / В. А. Белин, А. Н. Холодилов, А. П. Господариков // Горный журнал. — М.: «Горная книга», 2017. — № 2. — С. 66-68.

23. Грязнов О. Н. Геоэкологические проблемы горнопромышленного техногенеза на Урале / О. Н. Грязнов, С. Н. Елохина // Известия Уральского государственного горного университета. — Екатеринбург: ФГБОУВО «УГГУ», 2017. — Вып. 2(46). — С. 28-33.

24. Розанов И. Ю. Опыт применения методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах / И. Ю. Розанов, М. А. Кузнецов, Р. Н. Достовалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2017. — № 4. — С. 100-106.

25. Макаров В. И. Изучение современной деформации земной коры методами космической геодезии / В. И. Макаров, А. Ю. Трапезников // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. — М.: РАН, 1996. — № 3. — С. 70-85.

26. Fukuzono T. A new method for predicting the failure time of a slope / Proceedings of the IVth International Conference and Field Workshop on Landslides,

Tokyo, Japan. — URL: [https://www.researchgate.net/post/A\\_New\\_Method\\_for\\_Predicting\\_the\\_Failure\\_Time\\_of\\_a\\_Slope](https://www.researchgate.net/post/A_New_Method_for_Predicting_the_Failure_Time_of_a_Slope) (дата обращения: 23.11.2021).

27. Низаметдинов Ф. К. Геомониторинг состояния устойчивости карьерных откосов / Ф. К. Низаметдинов, М. Г. Мустафин, С. Г. Ожигин [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. — Новосибирск: ФГБОУ ВО «СГУГиТ», 2016. — С. 161-166.

28. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Приказ Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 22 сентября 2008 года № 39. — 108 с.

29. Тапсиев А. П. Фотодокументация систем трещин в породном массиве / А. П. Тапсиев, В. А. Усков // Интерэкспо Гео-Сибирь. — Новосибирск: ФГБОУ ВО «СГУГиТ», 2012. — № 1. — Том 2. — С. 156-160.

30. Козырев А. А. О новых подходах к оценке устойчивости бортов карьеров в скальных породах / А. А. Козырев, Э. В. Каспарьян, В. В. Рыбин // Труды международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004. — С. 231-237.

31. Чередников О. В. Автоматизированная система инженерного обеспечения горных работ / О. В. Чередников, В. Е. Бодалов // Горный журнал. — М.: «Горная книга», 2010. — № 6. — С. 93-96.

32. Шабаров А. Н. Концепция геодинамического моделирования месторождений / А. Н. Шабаров. — Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2001. — №6. — С. 55-65.

33. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / Г. Л. Фисенко, В. Т. Сапожников, А. М. Мочалов [и др.]. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 165 с.

34. Ступин В. П. Геодезический мониторинг карьера нюрбинского ГОКа / В. П. Ступин, К. И. Антипина // Вестник ИрГТУ. — Иркутск: ФГБОУ ВО ИРНИТУ, 2012. — № 12(71). — С. 122-126.

35. Щеткин А. С. Анализ методов маркшейдерского контроля деформаций бортов карьера на примере ОАО «Сафьяновская медь» / А. С. Щеткин, Б. П. Голубко, В. Н. Яковлев // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». Маркшейдерия, геомеханика и геотехнологии (11–12 апреля 2011 г.). — Екатеринбург: ФГБОУ ВО «УГГУ», 2011. — С. 212-213.

36. Калашник А. И. Исследования горнотехнических конструкций карьера георадарными технологиями / А. И. Калашник, С. В. Казачков, В. А. Сохарев, [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФГБУН ФИЦ «КНЦ РАН», 2012. — № 2(9). — С. 59-65.

37. Козырев А. А. Обоснование конструкций устойчивых бортов карьеров в массивах скальных тектонически напряженных пород / А. А. Козырев, В. В. Рыбин, А. Л. Билин [и др.] // Горный журнал. — М.: «Горная книга», 2010. — № 9. — С. 24–27.

38. Калашник Н. А. Определение пролетов очистных выработок и размеров целиков / Н. А. Калашник, И. И. Бессонов, А. И. Калашник. — Апатиты: ФГБУН ФИЦ «КНЦ РАН», 2000. — 85 с.

39. Андриянов А. В. Вопросы подповерхностной радиолокации / А. В. Андриянов, Л. Ю. Астанин, Д. В. Багно [и др.]. — Петрозаводск: «Радиотехника», 2005. — 416 с.

40. Калашник А. И. Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова / А. И. Калашник, Д. В. Запорожец, А. Ю. Дьяков, А. Ю. Демахин // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. — Мурманск, 2009. — Том 12. — № 4. — С. 576-583.

41. Турчанинов И. А. Атлас физических свойств минералов и пород Хибинских месторождений / И. А. Турчанинов, М. П. Воларович, А. Т. Бондаренко [и др.]. — Л.: «Наука», 1975. — 71 с.

42. Заровняев Б. Н. Совершенствование системы мониторинга глубоких карьеров / Б. Н. Заровняев, Г. В. Шубин, В. С. Сорокин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2012. — № 7. — С. 211-217.

43. Александров И. Н. Создание безопасных условий отработки сверхглубоких карьеров Якутии / И. Н. Александров, А. Н. Шмырко, Г. В. Шубин [и др.]. — Новосибирск: «Наука», 2005. — 180 с.

44. Шубин Г. В. Карьерный пункт комплексных наблюдений за состоянием массива многолетнемёрзлых пород локальных участков берм и откосов бортов карьера. Секрет производства (ноу-хау) / Г. В. Шубин, И. В. Васильев. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: «Горная книга», 2012. — № . — 10 с.

45. Пономаренко Ю. В. Теоретическое обоснование и преимущества применения систем восстающих дренажных скважин на обводненных объектах / Ю. В. Пономаренко, Ю. И. Волков // Материалы 7-го Международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». — Белгород: ВИОГЕМ, 2003. — С. 30–45.

46. Башкатов Д. Н. Справочник по бурению скважин на воду / Д. Н. Башкатов. — М.: «Недра», 1979. — 473 с.