

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева

М. Б. Нурпеисова

**ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД
НА КАРЬЕРАХ**

Рекомендовано Учебно-методическим советом университета
в качестве учебного пособия для магистрантов высших учебных
заведений, обучающихся по специальности
«Маркшейдерское дело»

Алматы 2017

УДК 622.1 (075)

ББК 33.1 я73

Н 90

Рецензенты:

Низаметдинов Ф. К., д-р техн. наук, проф.

Жаркимбаев Б. М., канд. техн. наук, проф.

Касымканова Х. М., д-р техн. наук, проф.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2017 г.

Нурпеисова М. Б.

Н 90 Деформации горных пород на карьерах: Учебник для вузов/
М. Б. Нурпеисова. – Алматы: КазННТУ имени К. И. Сатпаева,
2017. – 180 с.: Ил. 54. Табл. 35. Библиогр. – 35 назв.
ISBN 978-601-323-070-2

В книге рассмотрена важная научно-техническая проблема прогнозирования и предупреждения деформаций горных пород для обеспечения безопасности и эффективности работ на карьерах; проанализировано влияние природных и горнотехнических факторов на устойчивость откосов.

Описаны методы изучения состава, строения, свойств и напряженно-деформированного состояния породного массива применительно к задачам исследования и проектирования современных карьеров. Даны рекомендации по борьбе с деформациями уступов и бортов карьеров. Приведены результаты мониторинга геомеханических процессов на карьерах. Изучено влияние прочностных свойств и структурных особенностей массива на устойчивость откосов рудных месторождений Казахстана. Учебное пособие создано на основе многолетнего опыта преподавания сдвижения горных пород в КазННТУ имени К. И. Сатпаева и практики проведения геомеханических исследований в различных горнопромышленных регионах Республики Казахстан.

Содержание учебника соответствует требованиям программы дисциплины «Деформации горных пород на карьерах». Предназначено для магистрантов вузов и инженерно-технических работников горнодобывающей промышленности.

ISBN 978-601-323-070-2

© Нурпеисова М. Б., 2017

© КазННТУ имени К. И. Сатпаева, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Недра были и останутся в XXI в. важнейшим источником общественного богатства большинства стран мира, а для Казахстана еще и потенциальной базой для вывода экономики страны из кризисного состояния. Поэтому горнодобывающая промышленность занимает одно из важных мест в системе народного хозяйства страны. Темпы роста добычи полезных ископаемых и повышения эффективности работы горнодобывающей промышленности достигаются за счет развития наиболее экономичного открытого способа добычи полезных ископаемых.

Основными тенденциями развития открытого способа разработки являются: проектирование и строительство карьеров большой производительной мощности; увеличение глубины ведения горных работ; использование на вскрышных и добычных работах высокопроизводительного горного оборудования; совершенствование схем вскрытия систем разработки; вовлечение в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями. В связи с этим возникают повышенные требования ко всей горной науке и, в частности, к одному из ее разделов – *деформацию горных пород на карьерах*.

При открытом способе разработки важнейшей задачей является изучение структурных особенностей и механических характеристик массива горных пород и обеспечение на этой основе устойчивости уступов, бортов карьеров. Исследования, проведенные в последние 20-летия (работы акад. Мельникова Н. В., Ржевского В. В., профессоров Фисенко Г. Л., Панюкова П. Н., Попова М. Е., Попова И. И., Попова В. Н., Окатова Р. П., Низаметдинова Ф. К. и др.), позволили заложить научные основы решения проблемы устойчивости откосов горных выработок и широко внедрить на практике инженерные методы их расчета.

Как правило, целью большинства работ в области изучения устойчивости уступов и бортов карьеров является получения надежной информации о состоянии массива горных пород.

В документах конференции ООН по окружающей среде и развитию большое значение уделено получению *надежной информации* об окружающей среде, необходимой для принятия решений как национальном, так и международном уровне. Именно это позволит обеспечить реализацию концепции устойчивого развития и охраны окружающей природной среды.

Решение этой задачи осуществляется на основе создания и эффективного использования *мониторинга* – специальной информационно-аналитической системы наблюдений, контроля и оценки состояния природной среды. *Предметом* мониторинга является совокупность природных явлений, подверженная естественным динамическим изменениям и испытывающая разное воздействие и преобразование человеком.

В соответствии с Кодексом Республики Казахстан о недрах и недропользовании на маркшейдерскую службу горных предприятий возложено *проведение мониторинга состояния недр*, включая процессы деформирования горных пород, геомеханических и геодинамических процессов при недропользовании в целях предотвращения вредного влияния горных разработок, объекты поверхности и окружающую природную среду.

Геомеханические и геодинамические процессы в недрах и на земной поверхности происходят в определенных *условиях* под влиянием природных и технологических факторов.

Условия – это совокупность естественно-природных особенностей массива горных пород. Их влияние на процессы, как правило, не претерпевает существенных изменений во времени.

Под *фактором* (от лат. *factor* – делающий, производящий) в общем случае понимают причину, движущую силу (воздействие) какого-либо процесса, определяющую его характер или отдельные черты.

Природные факторы делятся на две группы: экзогенные и эндогенные.

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

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

Геодинамические процессы – процессы деформирования и разрушения массива горных пород, возникающие в результате изменения его механического состояния под воздействием природных эндогенных и технологических факторов и достигающие в определенных случаях земной поверхности.

Природные эндогенные факторы – это *внутренние* по отношению к массиву горных пород факторы, обусловленные в основном эволюцией Земли как планеты и проявляющиеся в виде тектонических движений, процессов магматизма, метаморфизма и др.

При разработке месторождений открытым способом в массиве горных пород проявляются, главным образом, геомеханические процессы, а подземным способом и скважинными методами как геомеханические, так и геодинамические процессы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРЕДМЕТЕ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

1.1. Предмет, содержание, цель и задачи

Ведение открытых горных работ изменяет природное напряженно-деформированное состояние горных пород, составляющих уступы, борта карьеров и отвалов, в результате чего возникают геомеханические процессы, приводящие к деформациям карьерных откосов.

В общем случае под *деформацией* принято понимать изменение в результате внешнего воздействия положения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними. Следовательно, деформация горных пород – процесс перемещения некоторой части массива горных пород под влиянием природных и горнотехнических факторов, приводящий к изменению формы инженерного сооружения (борта карьера, уступа, отвала, дорожного основания и др.). Деформации горных пород наносят большой ущерб народному хозяйству, так как нарушают нормальный режим горного предприятия и ведут к дополнительным материальным затратам.

Как следствие на территории Республики Казахстан от негативных проявлений неуправляемых геомеханических процессов страдают многочисленные объекты недропользования, промышленные регионы и участки земной поверхности.

Республика Казахстан занимает заметное положение в мировом минерально-сырьевом балансе, играет ведущую роль в Евразийском регионе и имеет высокий потенциал дальнейшего развития и повышения влияния на мировом минерально-сырьевом рынке. В настоящее время в Казахстане интенсивно ведется разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом. Основными из них являются:

меднорудные (Жезказганское, Итауызское, Коунрадское, Николаевское, Актогайское, Бозшакольское, Акбастауское, Космурунское, Нурказганское, Саякское, Чатыркульское и др.;

полиметаллические – (Карагайлинское, Коктенкольское, Акжальское и др.).

золоторудные – (Васильковское, Абызское, Варваринское, Камаровское, Пустынное, Загадка и Бакарчик);

железорудные – Сарбайское, Соколовское, Качарское, Куржункульское, Ломоносовское, Кентобинское и Каражалское);

угольные – (Экибастузское, Майкубенское, Тургайское, Тенгиз-Коржанкульское, Шубаркольское, Жалын, Каражиринское, Борлинское, Куу-Чекинское и Карагандинское и др.);

марганцевые – (Ушкатын – III, Тур, Богач, Восточный и Западный Камыс, Жомарт и др.);

фосфоритовые (Каратауские) и др.

По глубине открытые разработки достигли величины 400–600 м, к ним относятся, железорудные карьеры: Соколовский и Сарбайский, меднорудные: Коунрадский и Николаевский, большинство других карьеров колеблется в пределах от 100 м до 300 м, такие как меднорудные: Саякский, Акчий-Спасский, Итауыз, полиметаллические: Акжалский, Центральный (Карагайлинский), золоторудные: Васильковский, Варваринский (Центральный), железорудные: Качарский, Куржункульский, угольные разрезы: Богатырь, Восточный, Шубарколь и др.

При ведении горных работ на большой глубине в карьерах возникает проблема борьбы с деформациями горных пород.

Деформации горных пород на карьерах относятся к числу весьма важных проблем, с которыми неизбежно встречаются горные инженеры в своей практической деятельности. Масштабы современного горнодобывающего производства требуют углубленного изучения и постоянного контроля за происходящими в прибортовых массивах геомеханическими процессами в период строительства и эксплуатации карьеров. На карьерах должна быть создана система геомеханического мониторинга откосов уступов и бортов.

Предметом деформации горных пород как науки являются свойства и состояния массива горных пород с учетом твердой, жидкой и газообразной фаз и их изменения в процессе технологического воздействия на массив горных пород.

Целью данного курса является выработка у будущих магистрантов знаний, умений и представлений, необходимых для решения задач экологической и промышленной обеспечения недропользования.

Изучение деформации горных пород на карьерах направлено на решение *следующих основных задач*:

- изучение геомеханических процессов при разработке месторождений открытым способом и их мониторинг;

- получение оперативной и надежной информации о механических свойствах и природном напряженно-деформированном состоянии массива горных пород;

- изучение закономерностей изменения этого состояния в результате

- развития в нем процессов деформирования и разрушения под влиянием природных и технологических факторов;

- изучение технологических методов управления геомеханическими процессами в массиве горных пород для обеспечения эффективного и безопасного освоения ресурсов недр.

Главное внимание при этом уделяется обеспечению промышленной безопасности, т. е. обеспечению безопасного ведения горных работ, полноты извлечения полезного ископаемого, а также сохранности зданий, сооружений, попадающих в зону сдвижения.

Методы геомеханических исследований основываются на использовании данных математики, физики твердого тела, теории упругости и пластичности, реологии, геологических и горных наук и применяются для решения конкретных задач, которые ставятся перед геомеханикой при недропользовании. Эти методы могут быть разделены на теоретические, эмпирические и полуэмпирические.

Теоретические методы базируются преимущественно на уравнениях, используемых в механике сплошной среды. При этом массив горных пород рассматривается как упругая, пластичная, вязкая, сыпучая или другая идеализированная среда, отличающаяся от реальной. Теоретические методы для инженерных расчетов применяются редко.

В практике недропользования используются в основном эмпирические и полуэмпирические методы расчета. Эмпирические методы базируются на зависимостях, полученных непосредственно из результатов инструментальных наблюдений в натурных условиях, полуэмпирические – на зависимостях, установленных на основании обобщений, теоретических соображе-

ний, физических и математических аналогий. Численные значения коэффициентов в расчетных формулах полуэмпирических методов определяются по данным натурных наблюдений.

По объему высокоточных инструментальных наблюдений за развитием геомеханических процессов в различных горно-геологических условиях отечественная школа геомехаников значительно превосходила все научные школы мира. Наблюдения охватывают глубины от земной поверхности до 1200 м, углы падения – от 0 до 90°, размеры выработанного пространства – от единиц до тысячи метров и практически все встречающиеся в природе геомеханические и газодинамические состояния массива [1].

Геомеханические методы исследования массивов горных пород необходимы маркшейдерам для определения безопасных параметров горных выработок как при подземной, так и при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

1.2. Деформации горных пород – учебная дисциплина в системе подготовки кадров для недропользования

Ответственные задачи, стоящие перед маркшейдерской службой на всех этапах ее развития, предъявляли высокие требования к квалификации маркшейдеров и учебно-методической литературе для подготовки кадров.

Первой работой по маркшейдерскому делу явился труд Ломоносова М. В. «Первые основания металлургии и рудных тел», изданный в 1763 году. В пятой главе этого труда «Об измерении рудников» Ломоносов М. В. излагает производство съемок, методику составления планов горных работ и решение основных задач, возникающих в горном деле. Следует отметить, что эти труды и ряд последующих работ имели большое значение не только в научном плане, но и по существу явились первыми учебными пособиями для обучения маркшейдерских кадров.

В 1805 г. Максимович А. И. опубликовал книгу «Практическая подземная геометрия» и руководство для студентов по маркшейдерскому искусству. Несколько позже в Германии выходят в свет работы Ю. Вейсбаха «Новое маркшейдерское искусство» (1851) и Борхерса «Практическое маркшейдерское искусства» (1869).

В 1906 г. выдающийся ученый, профессор Петербургского горного института Бауман В. И. написал трехтомный учебник маркшейдерского искусства, который по глубине изложения основных вопросов маркшейдерских работ не имел себе равных в мировой литературе и в течение полувека был настольной книгой маркшейдера.

В 1932 г. учебник был переиздан под редакцией его ближайшего последователя Бахурина И. М.

В 1932 г. Бахурин И. М. организовал первое в мире научно-исследовательское бюро (ЦНИМБ), объединяющее научные работы по маркшейдерии. В 1945 г. ЦНИМБ был преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский маркшейдерский институт (ВНИМИ) и до самой смерти Бахурин И. М. был бесшестенным его руоводителем.

К 60-м годам XX в. можно отнести зарождение нового направления горной науки – механика горных пород при открытых разработках. Организационно это было оформлено созданием во ВНИМИ в 1956 г. лаборатории «Сдвигение горных пород» (зав. лабораторией Авершин С. Г.) и «Устойчивость бортов карьеров». Ее возглавил Фисенко Г. Л., уже много сделавший к этому времени по рассматриваемой проблеме. Таким образом, весьма важный вопрос – деформации горных пород и обеспечение устойчивости карьерных откосов – был, по меткому выражению Бахурина И. М., сдвинут с мертвой точки.

Бахурин И. М. – основоположник исследовательских работ по сдвигению горных пород в бывшем Советском Союзе. «Мы не ошибемся, если скажем, что вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок – есть история борьбы со сдвигением горных пород», – так охарактеризовал значение проблемы Бахурин И. М. в своей книге «Сдвигение горных пород под влиянием горных разработок», вышедшей в 1946 году.

Более полное обобщение многолетних научных работ сделал ученик и преемник Бахурина И. М. профессор Авершин С. Г. В монографии «Сдвигение горных пород и земной поверхности» был опубликован труд выдающегося ученого, профессора Баумана В. И.

В 1947 г. Авершин С. Г. написал учебник «Сдвижение горных пород» применительно к разработке угольных месторождений. В последующие годы было опубликовано большое количество учебников по маркшейдерскому делу, в том числе сдвижению горных пород и земной поверхности, созданными различными школами специалистов-маркшейдеров:

– *ленинградской* – под руководством проф. Казаковского Д. А. и проф. Ушакова И. Н.;

– *донецкой* – под руководством проф. Оглоблина Д. Н.;

– *уральской* – под руководством проф. Рудакова М. Л.;

– *казахской* – под руководством проф. Машанова А. Ж., Попова И. И., их учеников и последователей;

– *московской* – под руководством проф. Соболевского П. К., проф. Рыжова П. А., проф. Павлова Ф. Ф., проф. Попова В. Н., Борщ-Компоницеа В. И. их учеников и последователей, создавших ряд высококачественных учебников и учебных пособий.

Таким образом, сдвижение горных пород как учебная дисциплина имеет более чем двухсотлетнюю историю, что весьма положительно сказалось на количестве и качестве подготовки кадров маркшейдеров и благоприятно повлияло на развитие недропользования в нашей стране и за рубежом.

1.3. Деформации горных пород – научная дисциплина в системе горных наук

Все горные науки разделены на 4 группы: горное недроведение, горная системология, геотехнология и обогащение полезных ископаемых. В группу «Горное недроведение» включены следующие науки: горнопромышленная геология; геометрия и квалиметрия; геомеханика и разрушение горных пород; рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. Они объединены общей идеей – выявить закономерности техногенного преобразования недр. Только после этого можно будет получить представление о состоянии недр и оценить степень комплексности их освоения, сохранения и динамики возможных целенаправленных воздействий.

Как следует из вышеприведенного перечня, геомеханика и разрушение горных пород вошли в него в качестве самостоятельной научной дисциплины.

Предмет «Деформации горных пород» в своих научных основах, методах и средствах изучения массива горных пород и закономерностей процессов, происходящих в нем при недропользовании, тесно взаимодействует с другими научными дисциплинами и, в первую очередь, с горными науками (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Связь «Деформации горных пород» с другими научными дисциплинами

Связь предмета с *маршейдерией* основана на том, что в задачи маршейдерской службы горных предприятий входят организация и проведение инструментальных наблюдений за деформациями горных пород на карьерах, устойчивым состоянием конструктивных элементов систем разработки, деформациями

земной поверхности, зданий и сооружений, за устойчивостью уступов, бортов карьеров и откосов отвалов. А ведь именно силы, вызывающие эти деформации, и являются предметом геомеханики как науки.

Изучение устойчивости бортов карьеров позволило установить, что на процесс деформирования карьерных откосов существенное влияние оказывают механические свойства массива, в особенности трещинная тектоника. Как в свое время отметил Авершин С. Г., трещиноватость – это один из важнейших факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород. Поэтому исследование структурных особенностей и трещиноватости входит основным пунктом почти в каждую научно-исследовательскую работу по сдвигению горных пород.

Контроль за изменением геомеханического состояния породного массива в процессе освоения недр производится путем проведения, главным образом, маркшейдерских инструментальных наблюдений за деформациями горных пород и земной поверхности. Результаты инструментальных наблюдений используются для решения следующих задач:

- установления правомерности для рассматриваемых условий принятой при расчетах модели деформирования массива;
- определения правильности используемых при расчетах характеристик породного массива;
- уточнения закономерностей развития деформационных процессов и зависимостей его параметров от основных влияющих факторов;
- контроля за развитием деформаций земной поверхности и охраняемых объектов с целью своевременного принятия защитных мероприятий по предотвращению или снижению вредных последствий горных разработок при приближении наблюдаемых деформаций к их допустимым или предельным значениям;
- установления эффективности принимаемых мер защиты.

Таким образом, между маркшейдерией и деформациями горных пород существуют не только прямые (как было показано выше), но и обратные связи, поскольку именно маркшейдерская служба обязана перенести в натуру геометрические элементы запроектированных барьерных и предохранительных целиков.

Связь между деформацией горных пород и *горнопромышленной геологией* проявляется в следующем. Как известно, горнопромышленная геология представляет собой совокупность знаний о процессах, протекающих в геологической среде при техногенном воздействии на недра и закономерностях изменения при этом свойств георесурсов. Геологическая информация используется в геомеханике для прогноза влияния недропользования на состояние природных и промышленных объектов.

Связь между данным курсом и горными науками, объединенными в группу «Геотехнология», заключается в следующем. Из вышеприведенной классификации следует, что геотехнология – это комплекс горных наук об извлечении полезных ископаемых из недр и водоемов или использовании георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости). Объединяющей идеей группы горных наук «Геотехнология» является выявление научных предпосылок для технических решений, расширяющих и углубляющих возможности горных предприятий, и преобразования недр в целом. Изменения природного напряженно-деформированного состояния массива горных пород обусловлены, в первую очередь, воздействием технологий, процессов и технических средств, характеризующих геотехнологии. Применение в геотехнологии информации о составе, строении, свойствах и состоянии массива горных пород позволяет научно обосновать и реализовать на практике наиболее эффективные технические решения.

«Деформации горных пород на карьерах» используют для решения свойственных ему задач методы механики и, в частности, *механики сплошной среды*. Такими методами являются методы математической теории упругости, пластичности и теории предельного равновесия. Как отмечено в [2], для всех указанных методов общим является то, что первоначально рассматривается состояние и поведение материала в некоторых бесконечно малых объемах, на которые можно мысленно разделить все рассматриваемое тело, иначе говоря, рассматривается процесс в точках тела. Затем математическими методами от состояния в точке переходят к состоянию тела в целом, т. е. к полному описанию некоторого геомеханического процесса. При этом первоначально мысленно расчлененное на бесконечно малые объемы тело вновь собирается воедино.

Связь курса с *математикой* проявляется в следующем:

- при решении дифференциальных уравнений плоского равновесия совместно с уравнением предельного равновесия среды с трением была получена система дифференциальных уравнений гиперболического типа. Численное и графическое решения этой системы, предложенные Соколовским В. В. и Голушкевичем С. С., были использованы при оценке предельных состояний массива горных пород вокруг открытых и подземных горных выработок;

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

Связь с геомеханикой и *геофизикой* заключается в том, что для изучения природного напряженно-деформированного состояния массива горных пород и закономерностей его изменения под влиянием природных и техногенных факторов все более широко применяются геофизические методы, такие как гравиметрический, электрометрический, звукометрический и др. Естественно, что применению того или иного метода для решения конкретных геомеханических задач должно предшествовать глубокое теоретическое обоснование.

Проведенный краткий анализ показывает, что «Деформации горных пород на карьерах», являясь самостоятельной горной наукой, тесно взаимодействуют с другими областями знаний.

1.4. Деформации горных пород на карьерах – составная часть недропользования

В истории развития геомеханики можно выделить несколько этапов. Это деление является до некоторой степени условным, так как результаты исследований, выполненных на одном этапе, продолжают и развиваются в последующем.

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

щения опыта ведения горных работ. Поскольку горные работы велись тогда на относительно небольших глубинах, механизм сдвижения горных пород над очистной выработкой представлялся в виде оседания всей покрывающей толщи пород как единого целого между двумя поверхностями разрыва, простирающимися от границ очистной выработки до земной поверхности.

С увеличением глубины горных работ было установлено, что размеры зоны сдвижений земной поверхности существенно превышают площадь выработанного пространства. Поэтому было высказано предположение о том, что все точки земной поверхности и породного массива, расположенные над очистной выработкой, опускаются вертикально, а в краевых зонах смещаются по направлению к границам выработки. Над очистной выработкой наблюдаются деформации сжатия, а у краев мульды оседания – деформации растяжения.

К началу XX в. относится *второй этап развития геомеханики*. На этом этапе многие авторы предлагали свои гипотезы возникновения горного давления при подземной разработке месторождений полезных ископаемых и обосновывали методы расчета его величины. В 1907 г. основополагающей отечественной работой, в которой развивалась так называемая «*гипотеза свода*», явилась монография Протодяконова М. М. «Давление горных пород на рудничную крепь». В это же время получили распространение методы расчета, основанные на использовании положений теории сопротивления материалов и строительной механики.

Третий этап развития геомеханики относится к двадцатым годам XX в. и характеризуется применением методов теории упругости к решению проблем горного давления. В 1925–1926 гг. Динник А. Н. [4] впервые предложил использовать теорию упругости для описания напряженно-деформированного состояния горных массивов. Отсюда появилось понятие бокового давления, отличного от нуля, а отношение этого давления к вертикальному горному давлению получило название коэффициента бокового давления. Таким образом, в 20–30 гг. прошлого столетия впервые при решении проблем горного давления стали использовать исходные понятия об упругих средах, закон Гука и уравнения равновесия.

Начало *четвертого этапа в развитии* геомеханики в России приурочено к середине тридцатых годов, когда в результате исследований Кузнецова Г. Н. был разработан новый метод моделирования проявлений горного давления с помощью эквивалентных материалов. Применение методов моделирования позволило получить важную информацию о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород для различных горно-геологических условий и разработать методы расчета деформаций горных пород.

Пятый этап развития геомеханики связан с широко известными работами Соколовского В. В. [5] и Голушкевича С. С. [6] и характеризуется дальнейшим расширением применения аналитических методов для решения геомеханических проблем.

Работы Соколовского В. В. и Голушкевича С. С. послужили основой для разработки многих инженерных методов расчета предельных нагрузок на целики, предельного состояния пород вокруг одиночных горных выработок, вертикальных шахтных стволов и кровли очистных выработок, а также расчета устойчивости уступов и бортов карьеров. Здесь следует отметить значительный вклад Фисенко Г. Л. (ВНИМИ) [7].

Маркшейдеры бывшего СССР хорошо знают, что в 40-е годы прошлого столетия в Казахстане зародилась научная школа геомехаников под руководством члена-корр. НАН РК Машанова А. Ж., центром которой стал Казахский политехнический институт. Машанов А. Ж. был и остается одним из основателей научного направления в горной науке – геомеханики, актуальной и в настоящее время. Основной заслугой Машанова А. Ж. является создание на базе научного потенциала кафедры маркшейдерского дела КазПТИ (ныне КазНТУ), мощной научно-педагогической школы, на основе которой происходит непрерывный приток в науку молодых и талантливых ученых по схеме «*студент – кафедра – наука*».

Редкому ученому выпадает судьба быть основателем и главой научной школы. Эта миссия намного значимее, чем достижение какого-либо конкретного научного результата, даже самого выдающегося, потому что глава научной школы должен быть прежде всего продолжателем и хранителем всех предше-

ствующим научным направлениям в своей области знаний и быть способным поновому ихразвивать, устремляя в будущее. Научная школа – это многолетнее *«дерево»*, жизнь которого исчисляется поколениями причастных к ней ученых. И нет ничего хуже, если по тем или иным причинам происходит разрыв ветвей. Тогда вся надежда на крепость корня, имя которому – основатель научной школы [8].

Первая научная работа Машанова А. Ж. была связана с изучением сдвижения горных пород и земной поверхности Риддер-Сокольного месторождения под влиянием подземных горных работ. Проявлением процесса сдвижения на этом руднике была искривление (деформация) вертикального ствола шахты «Северная» на Алтае, приведшая к большим затруднениям и затратам.

В это время Машанов А. Ж. был молодым специалистом, аспирантом кафедры «Маркшейдерского дела». Его научный руководитель профессор Рыжов П. А. возлагал большие надежды на своего аспиранта Машанова и они вместе изучают факторы, приведшие к деформированию горных выработок. В ходе исследований А.Машанов анализировал структурные особенности массива методом механики и пришел к выводу, что на деформацию ствола влияют тектонические разрывы. Процессе сдвижении горных пород на земной поверхности появляются трещины. С увеличением размеров трещин сооружении на земной поверхности подвергаются деформации.

Как отмечает Машанов А. Ж., трещиноватость – это один из важнейших факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород. В изверженных породах, вмещающих рудные месторождения, трещиноватость, как правило, развита в большей степени, чем в осадочных породах, слагающих угольные месторождения. Этим объясняется большой и всевозрастающий интерес к изучению трещинной тектоники, проявляемый со стороны исследователей сдвижения горных пород на рудных месторождениях.

Машанов А. Ж. впервые в Советском Союзе обратил внимание на важность изучения трещинной тектоники для решения задач геомеханики и выделяет понятие «скально-трещиноватый массив» [9,10].

В [11,12] Карагандинской школы геомехаников, возглавляемой Поповым И. И., рассматриваются способы маркшейдерского контроля за состоянием прибортовых массивов. Отмечается, что приоритетными способами наблюдений на основе анализа показателя значимости являются: определение относительных смещений контрольных пунктов автоматически измерительными приборами с дистанционной передачей информации.

В Восточно-Казахстанском государственном техническом университете геомеханические исследования проводятся профессором Ипалаковым Т. Т.

Шестой (современный) этап в развитии геомеханики, начавшийся в 1980-х годах, в значительной мере подвел итоги научных и практических результатов, достигнутых на предыдущих этапах при разработке месторождений открытым способом, которые сводятся к следующему.

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

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

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

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

Необходимо отметить, что в исследовании проблем геомеханики принимало участие большое число научно-исследовательских, учебных и проектных институтов, включая ВНИМИ и его филиалы, ИПКОН РАН, ИГД им. А. А. Скочинского, ВНИПИгорцветмет, Санкт-Петербургского ГТУ, Московский ГТУ, Уральского ГТУ (Россия), Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Карагандинский государственный технический университет (Казахстан) и многие другие организации.

Усилиями ученых и специалистов создана и утверждена в установленном порядке мощная нормативно-техническая база по геомеханическому обеспечению горных работ. Достижения отечественных ученых в области геомеханики были отмечены Государственными премиями в области науки и техники:

Казахстанские ученые горняки и маркшейдеры были в числе первых, применивших теоретические методы геомеханики для решения конкретных вопросов горных предприятий. И в настоящее время исследования в области геомеханики в нашей стране и за рубежом продолжаются. Для успешного ведения исследований в области горного дела, в том числе для управления геомеханическими процессами, происходящими в недрах земли, Вам – будущим недропользователям необходимо знать полезные ископаемые Казахстана.

1.5. Полезные ископаемые Казахстана

Возможность устойчивого развития для Казахстана во многом определяется уровнем и перспективами развития минерально-сырьевого комплекса республики. От того, как удастся приумножить и эффективно распорядиться богатствами, заключенными в недрах, будет зависеть политическое, экономическое и социальное положение Казахстан в мировом сообществе в XXI веке.

Главным условием успешного функционирования в условиях конкурентной среды топливно-энергетического комплекса, черной и цветной металлургии, золотодобывающей промышленности, являющихся стержнем казахстанской экономики, остается положение соответствующей минерально-сырьевой базы.

На базе разведанных запасов различных видов минерального сырья создан мощный минерально-сырьевой комплекс, в который входят предприятия черной и цветной металлургии, угольной и химической промышленности. Предприятия республики производят более 60 видов продукции – чистые металлы, сплавы, оксиды, концентраты, прокат цветных и черных металлов различного профиля, золото и серебро.

В Казахстане впервые проводится расширенный анализ и прогноз развития минерально-сырьевого комплекса республики до 2030 г. с составлением геолого-экономических моделей по важнейшим видам полезных ископаемых. В настоящее время выполнен анализ и прогноз развития по золоторудной, свинцово-цинковой, алюминиевой, меднорудной и железорудной отраслям промышленности. Данная работа является одной из первых попыток оценить место и роль Республики Казахстан в мировом производстве и потреблении продукции минерально-сырьевого комплекса (рис. 1.2).

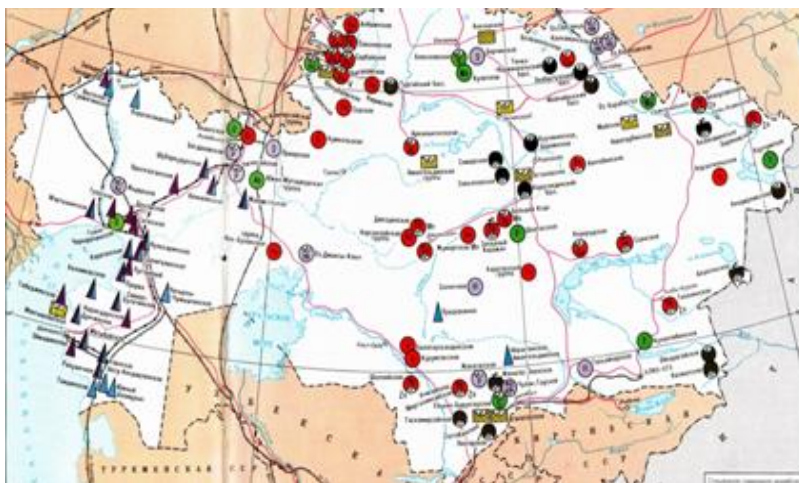


Рис. 1.2. Карта горнопромышленных районов Казахстана

Несмотря на жесткие требования мирового рынка, Казахстан продолжает играть существенную роль в мировом минерально-сырьевом балансе. По запасам свинца, меди, нефти, хрома, марганца, олова, золота, фосфоритов, бора и калийных солей республика входит в десятку ведущих стран мира. Казахстан играет заметную роль на мировом рынке меди, урана, титана, ферросплавов и стали, является монополистом на Евро-Азиатском субконтиненте по хрому, имеет значительное влияние на региональном (страны СНГ) рынке железа, марганца, угля и алюминия [6].

Казахстан представляет собой крупную кладовую полезных ископаемых, включающую все химические элементы таблицы Менделеева. По своим рудным запасам она может сравниться лишь с двумя государствами – Австралией и Южно-Африканской республикой. Наша страна занимает ведущие позиции в мире по наличию большинства важнейших для промышленности металлов, таких как железо, свинец, медь, цинк, золото, уран, марганец, хром и никель.

Казахстан является одной из крупных нефтедобывающих стран мира. На долю Казахстана приходится 1,2 % разведанных мировых запасов нефти. В настоящее время на государственном балансе РК числится 212 месторождений углеводородного сырья со следующими извлекаемыми запасами: на суше нефти – 2,1 млрд. т, конденсата – 300 млн. т, природного газа – более 2 трлн. куб. м (рис. 1.3).

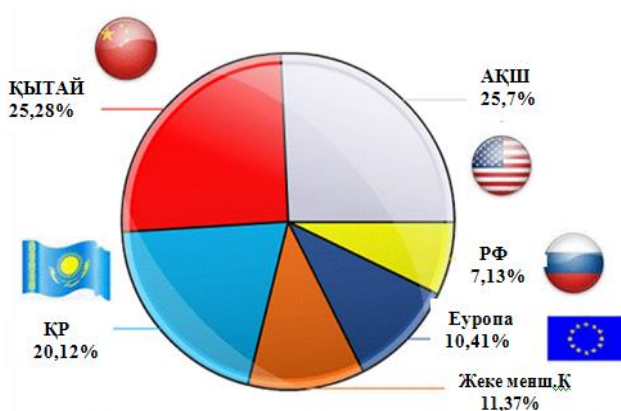


Рис. 1.3. Объем добычи нефти и газконденсата (2012 г.)

Дальнейший рост связан, в первую очередь, с интенсификацией разработки таких уже известных месторождений на суше, как Тенгиз и Карачаганак и ускорением освоения открываемых новых месторождений в акватории Каспийского моря (рис. 1.4).

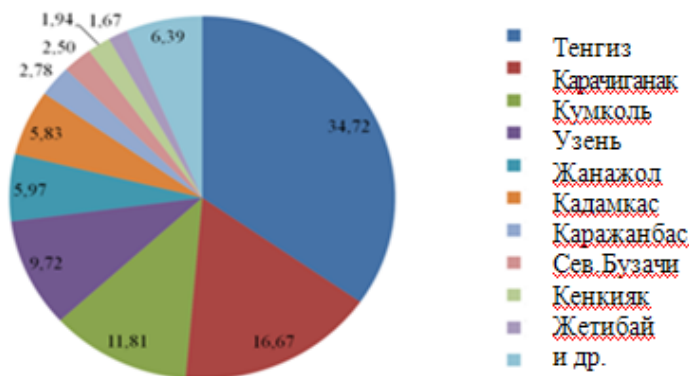


Рис. 1.4. Доля нефтяных месторождений Казахстана (2010 г.)

В соответствии со Стратегическими планами развития Республики Казахстан Правительство РК, опираясь на уже доказанные запасы нефти на суше и ожидаемые прогнозные ресурсы углеводородов на море, определило в качестве приоритетной задачи нефтегазовой отрасли достижение к 2015 г. уровня добычи нефти 150 млн. т (рис. 1.5) и дальнейшее наращивание ее объемов в перспективе.

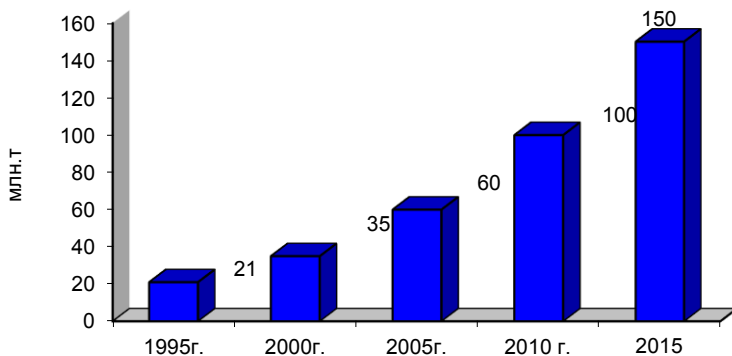


Рис. 1.5. Динамика добычи нефти в Казахстане

За годы независимости в Казахстане были образованы мощные компании, специализирующиеся на добыче и переработке минеральных руд. Применяя в процессе производства современные технологии, они ориентируются как на отечественные проекты и исследовательские организации, так и на технологии своих иностранных партнеров. Предложения отечественных институтов зачастую выглядят достаточно уныло, но на их стороне большой опыт деятельности именно тех предприятий, которые стремятся модернизироваться. Основными горно-металлургическими предприятиями являются: «Казахмыс» – медная компания, «Казцинк» – производитель цинка с сопутствующими медью, свинцом ENRC – производство глинозема, хрома, марганца, никеля, железа, галлия, ферросплавов, ТНК «Казхром» – добыча хрома, «Казфосфат» – производство удобрений, «Казатомпром» – добыча урана, производство редких металлов (рис. 1.6).

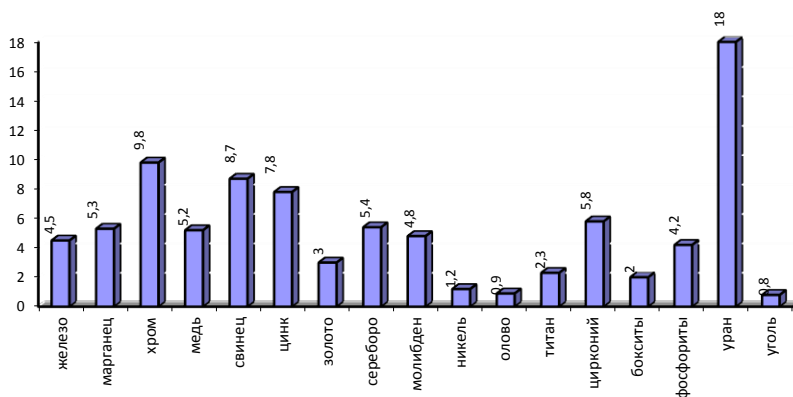


Рис. 1.6. Доля Казахстана в мировом рынке по запасам основных полезных ископаемых

Несомненно, важным фактором подъема ГМК Республики Казахстан послужило богатство ее мощной минерально-сырьевой базы, в развитии которой существенный вклад внесли геологи, горняки и металлурги нашей страны, как К. И. Сатпаев, А. Ж. Машанов, О. А. Байконуров, Е. А. Букетов и др.

Это всемирноизвестный крупнейший геолог, академик Академии наук СССР К.И.Сатпаев, чье имя носит наш КазННТУ.



К.И.Сәтбаев



А.Ж.Машанов



Ө.А.Байқоңұров



Е.А.Бекетов

Это ученый-энциклопедист, горный инженер-геолог, академик НАН РК А. Ж. Машанов, чье имя носит естественно-гуманитарный институт нашего университета.

Это горный инженер, академик НАН РК О. А. Байконуров, чье имя носит наш Горно-металлургический институт.

Это инженер-металлург, академик НАН РК Е. А. Букетов, чье имя носит Карагандинский государственный университет.

Одновременно с этим благодаря строительству медеплавильного завода и реконструкция свинцового производства Усть-Каменогорского металлургического комплекса, строительству золотоизвлекательной фабрики («AltyntauKokshetau», мощностью 15 т золота в год), строительству электролизного завода (мощностью 250 тыс. т первичного алюминия в год) был увеличен выпуск металлов (рис. 1.7).

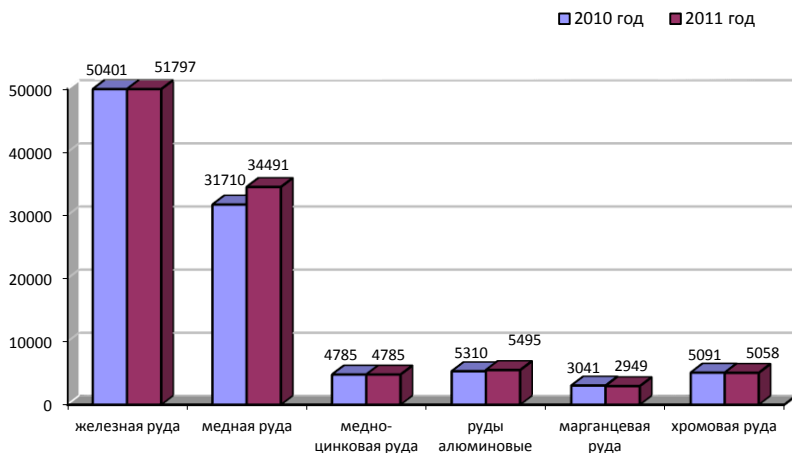


Рис. 1.7. Объем добычи черных и цветных металлов, в 2000 и 2012 гг., тыс. т

В настоящее время по разведанным запасам золота Казахстан занимает 10-е место в мире (3-е в СНГ), а по добыче – 13,4 т – 25-е место (4-е в СНГ). Государственным балансом Республики Казахстан учтены запасы по 237 объектам, из которых 122 коренных и 34 россыпных (рис. 1.8).

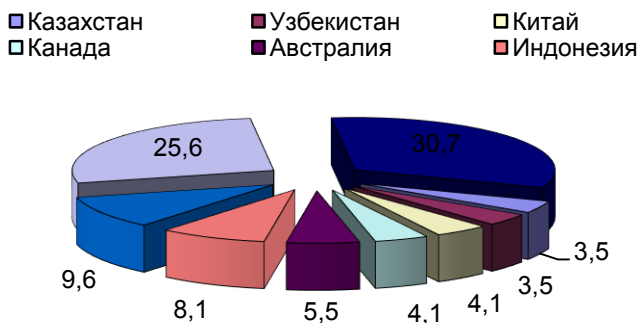


Рис. 1.8. Распределение мировых разведанных запасов золота по странам, %

Месторождения золота выявлены во всех регионах Казахстана, по уровню запасов лидирующее положение занимают Восточный, Северный и Центральный Казахстан. Золоторудные и золотосодержащие месторождения локализованы в 16 горнорудных районах, важнейшими из которых являются: в Восточном Казахстане (месторождения Бакырчик, Большевик, Риддер-Сокольное и др.); в Северном Казахстане (месторождения Васильковское, Жобымбет, Бестобе и др.); в Южном Казахстане (Акбакай, Бескемпир, Архарлы и др.); в Центральном Казахстане (Майкаин, Бошекуль, Саяк IV, Долинное и др.); в Западном Казахстане (Жетыгара, Комаровское, Юбилейное и др.).

В табл. 1.1 представлены наиболее значимые для Казахстана золоторудные месторождения.

Таблица 1.1

Крупные и потенциально крупные месторождения золота Казахстана

Восточный Казахстан	Бакырчик, Большевик, Васильевское, Риддер-Сокольное, Суздальское,
Центральный Казахстан	Аксу, Жолымбет, Бестюбе, Енбекши, Майкаин, Бошекуль, Саяк IV, Долинное
Северный Казахстан	Васильковское, Комаровское, Сымбат, Узбой, Аккаргинское, Варваринское
Западный Казахстан	Юбилейное
Южный Казахстан	Акбакайское, Мынарал, Карамурун, Архарлы, Кумысты

Среди них выделяются два уникальных месторождения (Бакырчик, Васильковское) – одно крупное (Акбакай) – 11 средних месторождений, остальные месторождения мелкие.

Добыча золота в нашей республике имеет перспективы – при мировом спросе может приносить хорошие доходы для государственной казны. Сегодня золотая отрасль развивается в стране планомерно, однако по-прежнему требует больших затрат.

Подземная добыча золота или площадки его кучного выщелачивания – это та производственная инфраструктура, где сегодня в Казахстане добывается самое надежное средство против

экономических неурядиц. Почти непредсказуемая переменчивость мировых фондовых рынков, наблюдавших в последние годы, рост инфляции заставили наше Правительство, банковский сектор и бизнесменов вновь обратить внимание на золото как на один из наиболее стабильных участков для инвестирования.

В этом контексте весьма ценными являются запасы казахстанского золота, сосредоточенных в 237 месторождениях, таких, какие показаны в таблице. Среди инновационных проектов последних лет следует отметить строительство золотоизвлекательной фабрики (ТОО «Altyntau–Kokshetau», мощность – 15 т золота в год). «Altyntau–Kokshetau» является правопреемником АО «Васильковский ГОК».

Акбакайский ГОК, проектная мощность которого составляет 250 тыс. т перерабатываемой руды в год, может производить ежегодно более 600 кг золота и около 100 кг серебра. В Акбакайский ГОК входят подземный рудник «Акбакай», рудник открытых горных работ по добыче золотосодержащей руды, обогатительная фабрика, электрометаллургический цех для переработки упорных сульфидосодержащих мышьяковистых концентратов мощностью 12 тыс. т золота и серебра в год, а также завод «Доре-Дюбек» по переработке золотосодержащих концентратов для получения драгоценного сплава «Доре».

По оценкам экспертов, запасы акбакайского золота оцениваются в 300–350 тонн. По прогнозам эта цифра может быть значительно увеличена за счет освоения слабо изученных районов области.

В настоящее время призрачно все. Кроме золота. Когда падает мировая валюта, разражаются финансовые кризисы, до людей доходит: доллар – зеленая бумажка, а золото остается в цене при любом раскладе. Помня простую истину, пытались вспомнить, насколько богаты закрома Республики Казахстан благородным металлом. Оказалось, что в одном Северном Казахстане открыто 41 (!) месторождение.

Контрольные вопросы:

1. Содержание и задачи предмета геомеханики.
2. Что такое структура горных пород?
3. Что такое геомеханические процессы?

4. Что такое геодинамические процессы?
5. Связь геомеханики с другими науками.
6. Краткая история развития геомеханики.
7. Развитие науки геомеханики в Казахстане.
8. Научные школы геомеханики.
9. Роль ученых Республики Казахстан в развитии горно-металлургического комплекса.
10. Полезные ископаемые Казахстана.

2. ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

2.1. Виды деформаций карьерных откосов

Деформации горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых снижает основные преимущества открытых работ, наносит значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого. В настоящее время в Республике около 80 % всех объемов добычи осуществляется с применением более экономичного и безопасного открытого способа разработки, и эта отрасль развивается за счет использования высокопроизводительной технологии и увеличения глубины карьеров с применением новых технологических решений. Воздействие на окружающую среду современных карьеров и техногенных массивов приобретает масштабный характер.

Увеличение глубины и объемов открытых горных работ, усложнение инженерно-геологических условий разработки определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов глубоких карьеров. От него зависит безопасность работ на карьерах и объемы потерь готовых к выемке запасов полезных ископаемых, объем вскрыши и основные экономические показатели горного производства. В частности, увеличение общего угла наклона борта только на 1° при глубине карьера 300 м приводит к сокращению объема вскрыши почти на 3 млн. м³ на каждый километр протяженности борта. В настоящее время годовой объем пустых пород, перемещаемых в отвалы, в нашей стране составляет несколько миллиардов кубометров. При дальнейшем развитии открытых работ, и особенно при увеличении глубины карьеров, вопрос устойчивости и бортов приобретают все большее значение.

При изучении деформаций карьерных откосов необходимо иметь информацию о деформациях природных склонов и откосов инженерных сооружений, поскольку между ними имеется прямая связь.

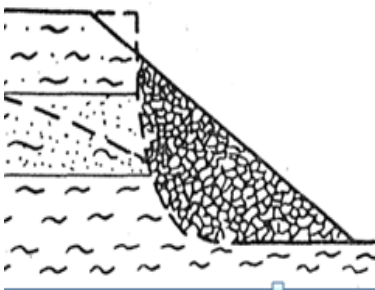
Многие открытые горные работы разработки Казахстана сопровождаются деформациями прибортовых массивов. Деформационные процессы представляют собой продолжительные по времени последовательные события, начиная от их возникновения и кончая результатами. Для решения этой проблемы необ-

ходимо изучить причины деформаций прибортовых массивов и все разнообразие их проявлений.

Деформации карьерных откосов могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся деформации, проявление которых не связано или связано незначительно деятельностью подземных вод. В эту группу входят:

осыпи, обрушения, оползни и просадки.

Осыпи характеризуются тем, что с верхней части откоса в нижнюю часть происходит постепенное скатывание небольшими объемами сыпучих масс. Такое перемещение происходит в том случае, когда угол откоса больше угла внутреннего трения при практическом отсутствии сцепления пород (рис.2.1).



Осыпь поражает приповерхностную часть крутых откосов, развивается в течение длительного времени и приводит к выхолаживанию откосов, разрушению, а иногда к полной сработке предохранительных и транспортных берм между уступами.

Рис. 2.1. Осыпание горных пород

Обрушение – отрыв и быстрое смещение вниз к подошве откоса горных пород (блоков и пачек пород), слагающих откос, сопровождающееся дроблением смещающегося массива, по поверхности, совпадающей с различного рода нарушениями сплошности массива (крупные трещины, слоистость, тектонические нарушения



и пр.). Угол наклона этой поверхности больше угла трения пород, контактирующих по поверхности отрыва. Активная стадия обрушения протекает практически мгновенно, и поэтому они очень опасны для людей и механизмов, работающих на нижележащих уступах (рис. 2.2).

Рис. 2.2. Обрушение горных пород

Оползни характеризуются тем, что движение пород происходит медленно, процесс продолжается в течение длительного времени, и сдвигению подвергаются большие горные массивы, схема которой приведена на рис. 2.3.

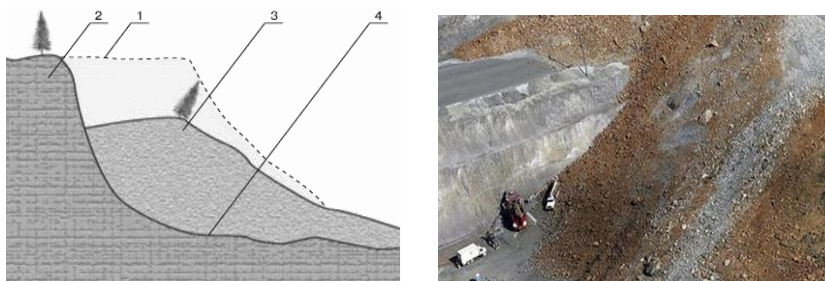


Рис. 2.3: а – Схема оползня; б – Оползни породных масс
1 – первоначальное положение склона;
2 – ненарушенный склон; 3 – оползень;
4 – поверхность скольжения

При оползнях происходят пластические деформации в движущемся массиве. В движении могут принимать участие как коренные породы, так и породы отвалов. Оползень – наиболее крупный тип деформации карьерных откосов. Объемы оползневого тела составляют от нескольких тысяч до десятков и сотен миллионов кубометров. В ряде случаев оползни приводили к полному прекращению работ в карьере.

Просадки – вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения. Причинами их возникновения могут быть уплотнения отвалов рыхлых пород, которые усиливаются при увлажнении, насыщении водой высокопористых отложений, наличии слабых пластических слоев в основании откоса.

Вторая группа деформаций включает фильтрационные деформации и нарушение устойчивости. К ней относятся оплывание, выпор, механическая суффозия

Оплывины (рис. 2.4) происходят в породах, способных насыщаться водой и в результате этого переходить из твердого

в текучее состояние. Чаще всего оплывины наблюдаются при насыщении влагой рыхлых и высокопористых отложений (лѐсов, лѐсовидных суглинков и т. п.) и при выносе песчаных частиц фильтрующимся потоком. Устраняются оплывины путем



устройства дренажа. При разработке рудных месторождений полезных ископаемых Казахстана, практически на каждом карьере можно встретить наличие вышеперечисленных видов деформаций карьерных откосов (табл. 2.1).

Рис. 2.4. Оплывание пород

Таблица 2.1

Виды деформаций карьерных откосов месторождений
Центрального Казахстана

Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обруше- ния	Оползни	Просадки	Оплыв
М е д н о р у д н ы е					
1. Саякское (Саяк)	имеются	локальные	—	—	—
2. Коунрадское (Коунрад)	имеются	локальные	—	—	—
3. Жезказганское (Златоуст-Беловский, Акчий—Спаский)	имеются	локальные	—	оснований отвалов	—
П о л и м е т а л л и ч е с к и е					
4. Карагайлинское (Главный, Дальний)	имеются	локальные	верхних глинистых откосов	оснований отвалов	—
5. Акжалское (Акжалский)	имеются	локальные	—	—	—
6. Жереское (Жерек)	имеются	локальные	локальные	—	—
Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обруше- ния	Оползни	Просадки	Оплыв
7. Родниковское	имеются	локальные	локальные	—	—

Продолжение табл. 2.1

Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обрушения	Оползни	Просадки	Оплыв
Б ок с и т о в ы е					
Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обрушения	Оползни	Просадки	Оплыв
8. Тургайское (Аркалык I–III)	имеются	—	локальные	—	—
Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обрушения	Оползни	Просадки	Оплыв
Н е р у д н ы е					
9. Южно-Топарское известняковое (Топарский)	имеются	локальные	верхних глинистых откосов	оснований отвалов	места подпитки глинистых откосов родниковыми водами
10. Алексеевское доломитовое (Алексеевский)	имеются	локальные	—	—	—

Как было отмечено выше, деформации пород захватывают большие объемы прибортовых массивов. Их зарождение происходит в глубине массива, которые лишь со временем достигают поверхности. Поэтому формирование глубинных разрушающих деформаций в начале развития процесса должно фиксироваться с помощью инструментальных маркшейдерских наблюдений и наблюдений за деформациями внутри прибортового массива.

Для предотвращения обрушений проектирование борта и уступов карьера производят с обязательным учетом особенностей массива или с применением соответствующих искусственных мероприятий, повышающих устойчивость горных пород.

2.2. Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров

Ведение открытых горных работ изменяет природное напряженно-деформированное состояние горных пород, слагающих уступы, борта карьеров и отвалов, в результате чего возникают геомеханические процессы, приводящие к деформациям карьерных откосов.

В общем случае под деформацией принято понимать изменение в результате внешнего воздействия положения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними. Следовательно, деформация горных пород – процесс перемещения некоторой части массива горных пород под влиянием природных и горнотехнических факторов, приводящий к изменению формы инженерного сооружения (борта карьера, уступа, отвала, дорожного основания и др.). Деформации горных пород наносят большой ущерб народному хозяйству, так как нарушают нормальный режим горного предприятия и ведут к дополнительным материальным затратам.

При общей оценке устойчивости уступов, бортов карьеров, отвалов необходимо иметь в виду, что в реальных условиях они находятся под воздействием большого числа факторов, которые можно объединить в две группы: природные и горнотехнические.

В группу природных факторов входят:

– *климатические условия* – это атмосферные осадки, температурный и мерзлотный режим района. Воздействие этой группы факторов влияет на интенсивность процессов выветривания и может при наличии многолетнемерзлых пород предопределить условия деформирования массива. Под влиянием регулярно повторяющихся циклов прогревание – замораживание у поверхности уступа образуется зона пород с пониженными прочностными характеристиками;

– *геологические условия* включают состав, строение и свойства горных пород в образце и в массиве, рельеф поверхности района карьерного поля;

– *гидрогеологические условия* воздействуют как на прочность массива горных пород, так и на условия их деформирования. Эффективность влияния этой группы условий зависит от характеристик подземных и поверхностных вод и условий среды.

К *горнотехническим факторам* относятся: способ вскрытия карьерного поля, система разработки, режим горных работ, способ рыхления горной массы, структура комплексной механизации, отвалообразование, геометрические параметры карьера, наличие подземных горных работ в районе карьерного поля и в непосредственной близости от него.

Совокупность этих факторов определяет прочность массива горных пород и условия его деформирования. Естественно, что степень влияния перечисленных факторов и рекомендаций по их учету и снижению вредного воздействия будут различны. Рассмотрим эти факторы подробно.

Воздействие климатических условий месторождения на устойчивость откосов сказывается главным образом на интенсивности процессов выветривания, т. е. под влиянием регулярно повторяющихся циклов прогревание – замораживание у поверхности уступа образуется зона пород с пониженными прочностными характеристиками. Фактор выветривания пород в основном проявляется на верхних горизонтах и практически не влияет на устойчивость бортов карьеров. Однако связанное с ним интенсивное осыпеобразование без своевременной очистки предохранительных берм может привести к образованию сплошных откосов значительной высоты, что отрицательно сказывается на безопасности работ на нижних горизонтах карьеров.

Климатические факторы должны учитываться при разработке мероприятий по уменьшению сроков стояния уступов и бортов (атмосферные условия), в расчетах устойчивости уступов (температурный режим) и при прогнозировании некоторых видов оползневых деформаций (количество и периодичность атмосферных осадков).

Климатические условия в виде атмосферных осадков, действия температуры, ветра, рельефа местности оказывают влияние в основном на обводненность пород, интенсивность осыпеобразования, эрозию откосов полускальных пород, влияя в общем случае не существенно на устойчивость скального горного массива.

Основными факторами, воздействующими на устойчивость откосов, являются *геологические*. К ним относятся состав, состояние, строение и свойства горных пород. Они определяют условия деформации массива и выбор расчетных схем устойчивости, характер противодеформационных мероприятий и величину показателей, закладываемых в расчеты.

Гидрогеологические факторы воздействуют как на прочность массива горных пород, так и на условия его деформирования. Эффективность их влияния зависит от характеристик поверхностных и подземных вод и условий среды.

Способ вскрытия месторождения определенным образом влияет на устойчивость уступов и бортов карьеров. Положение вскрывающих выработок относительно контура карьера, время их существования (стационарность), наклон выработок могут создавать благоприятные условия для деформационных явлений, развития в массиве реологических процессов и интенсивного выветривания пород. Все это нужно учитывать при выборе способа вскрытия карьерного поля.

Воздействие *системы разработки и режима горных работ* на устойчивость уступов и бортов карьеров проявляется в следующем: неудачно выбранное направление ведения горных работ в плане и по вертикали может в определенных условиях привести к развитию в массиве деформационных процессов (подрезка контактов слоев или нарушений и др.); степень интенсивности горных работ определяет параметры устойчивости рабочих уступов. При коротком фронте работ и высокой скорости в массиве не успевают развиваться деформационные и реологические процессы, что позволяет придавать рабочим уступам более крутые углы наклона; размещение отвалов в выработанном пространстве увеличивает сопротивление борта сдвигающим усилиям и улучшает условия его устойчивости.

Рассмотрев влияние второй группы факторов на устойчивость карьерных откосов, следует указать, что большинство из них изучено еще крайне недостаточно. Необходимость в их детальном исследовании диктуется тем обстоятельством, что этой группой факторов мы можем в какой-то мере управлять и тем самым снижать их вредное воздействие на массив горных пород.

Многие отечественные и зарубежные месторождения отрабатываются комбинированным способом, т. е. открытыми и подземными работами. Если подземные работы по времени опережают открытые, то происходит подработка борта, и над выработанным пространством образуются две зоны; нижняя (сплошного разрушенная) и верхняя (плавного прогиба пород). Породы верхней зоны характеризуются некоторым увеличением интенсивности трещиноватости, и их устойчивость рассчитывается обычным методом; но с повышенным коэффициентом запаса. Породы нижней зоны представлены, как правило, крупными блоками, и их устойчивость приближается к устойчивости отва-

лов. Контур борта в зоне сдвижения имеет вогнутую форму (нижняя часть – пологая, верхняя – более крутая). Для снижения вредного воздействия этого фактора проводят мероприятия, позволяющие локализовать процесс сдвижения горных пород (использование закладок, уменьшение пролета выработанного пространства и др.).

В практике открытой разработки месторождений встречаются карьеры различной конфигурации. При этом форма их бортов в плане может быть вогнутой, выпуклой, прямолинейной и комбинированной (сочетающей прямо- и криволинейные участки). В существующих методах расчета задача определения устойчивости откоса решается как плоская, т. е. предполагается, что откос имеет прямолинейную (в плане) форму и бесконечное простираение. Исследования последних лет показали, что игнорирование формы откоса (в плане) значительно снижает точность инженерных расчетов, так как искривление борта приводит к появлению дополнительных напряжений в массиве. Установлено, что откосы, имеющие в плане вогнутую форму, обладают большим запасом устойчивости, чем аналогичные плоские откосы. Это относится и к бортам комбинированной формы (прямолинейные участки расположены между закруглениями). В отношении устойчивости откосов выпуклой (в плане) формы единой точки зрения нет. По мнению Пушкарева В. И., устойчивость плоских и выпуклых откосов практически равноценна. С другой стороны, А. Лонг рекомендует избегать создания откосов выпуклой формы, так как тангенциальные напряжения в таких откосах, по его мнению, в 3–5 раз превышают напряжения в откосах плоской формы. Для окончательного решения этого вопроса необходимо провести дополнительные исследования.

Влияние буровзрывных работ (БВР) сказывается в образовании в массиве уступа зон пониженной прочности; сейсмическом эффекте, способствующем развитию деформации уступов и бортов карьеров; создании неустойчивой поверхности уступа.

Для снижения вредного воздействия БВР рекомендуется: изменять параметры буровзрывных работ; располагать ряды скважин под углом 60–90° к контуру борта; применять экранирующие врубы; использовать искусственное укрепление уступов; вводить в расчеты повышенный коэффициент запаса.

Как указывалось, одной из задач исследования устойчивости уступов и бортов карьеров является определение коэффициента запаса устойчивости откоса при заданных параметрах: высоте (H), угле наклона (α) и уравнении поверхности [$\alpha = f(H)$].

Потеря устойчивости (сдвижение) бортов и уступов в карьерах связана главным образом с изменением напряженного состояния нетронутого массива горных пород в результате проведения открытых горных выработок. При этом деформация и разрушение горных пород происходят под воздействием касательных напряжений, которые при определенных силах тяжести пород вызывают в массиве необратимые деформации сдвига по поверхностям, называемым поверхностями скольжения.

Изучение характера напряженного состояния бортов в карьерах показывает, что в общем случае в массиве горных пород, ослабленном боковым вырезом (борт карьера), распределение касательных напряжений может быть представлено эпюрами, показанными на рис. 2.5 по линиям: I–I, II–II; III–III.

Точки с максимальными значениями касательных напряжений, расположенные на различной высоте борта, формируют направление наиболее слабой поверхности $abcde$, которая в случае предельных напряжений становится поверхностью скольжения. В реальных условиях при деформациях бортов возникает некоторая зона скольжения, захватывающая определенную область горного массива.

Показанная поверхность скольжения соответствует главным образом однородному (изотропному) массиву горных пород. При наличии плоскостей анизотропии (напластования, трещиноватости, тектонических нарушений и пр.) положение поверхности скольжения изменяется, в ряде случаев совпадая с поверхностями анизотропии.

Таким образом, приведённый анализ факторов, влияющих на устойчивость карьерных откосов, показывает, что к настоящему времени большинство из них изучено недостаточно. Для снижения вредного воздействия природных и горнотехнических факторов на массив горных пород необходимо проведение следующих детальных исследований в этом направлении: выявление природных факторов, изучение форм их проявления, оцен-

ка влияния на технологию горных работ, составление рекомендаций по учёту и снижению вредного воздействия природных и горнотехнических факторов.

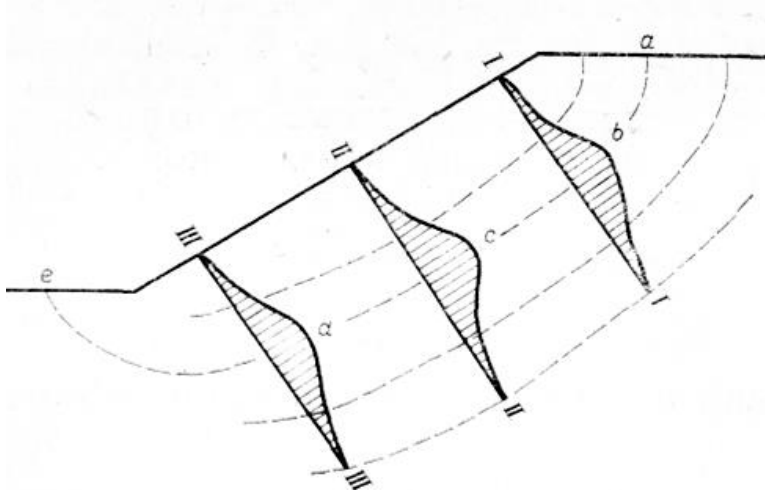


Рис. 2.5. Характер напряженного борта карьера:
I-I; II-II; III-III – распределение касательных напряжений; abcde –
направление слабой поверхности на различной высоте борта

Устойчивость бортов карьеров определяется соотношением сил, удерживающих откос, и сил, стремящихся его сдвинуть. На величину отмеченных сил оказывают влияние многие факторы.

Определение устойчивых углов наклона бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия. Ниже в общем виде рассматривается условие равновесия горных пород прибортовой части карьера. С помощью многочисленных данных, полученных на практике, установлено, что нарушение массива горных пород при оползнях происходит по круглоцилиндрической поверхности ADC (рис. 2.6). Для упрощения предположим, что оползание происходит по плоскости AC под углом β к горизонту.

Рассмотрим условие равновесия оползневого клина ABC.

Сила тяжести этого клина Q_i может быть разложена на нормальную $N = Q \cdot \cos\beta$ и касательную $S = Q \cdot \sin\beta$ составляющие. Составляющая S стремится сдвинуть блок по плоскости СА. Однако сдвигению этого блока препятствует удерживающая сила T , направленная противоположно силе S и состоящая из силы сцепления $k \cdot l$ и силы трения $N \cdot \operatorname{tg} \rho = N \cdot f$, где k – сцепление горных пород; ρ – угол внутреннего трения пород и f_i – коэффициент внутреннего трения

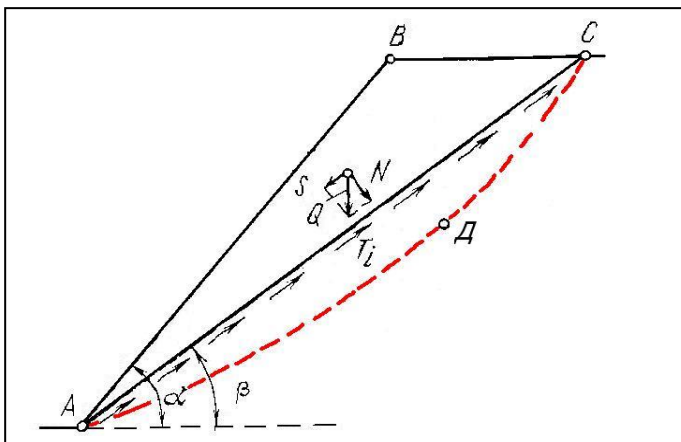


Рис. 2.6. К расчету устойчивости откосов

Следовательно, общая удерживающая сила в плоскости AC, препятствующая сдвигению клина АВ по этой плоскости

$$S_{уд} = k \cdot l + N \cdot f. \quad (2.1)$$

Устойчивость откосов обычно характеризуется **коэффициентом запаса устойчивости откоса n** , являющимся отношением суммы всех сил сопротивления сдвигу ΣT к сумме сдвигающих сил ΣS , действующих вдоль наиболее слабой поверхности

$$n = \frac{\Sigma S_{уд}}{\Sigma T_{сдв}} = \frac{\Sigma F_{тр} + \Sigma F_{сц}}{\Sigma F_{сдв}}, \quad (2.2)$$

где ΣS – сумма удерживающих сил, МПа; ΣT – сумма сдвигающих сил, МПа; Q – вес сдвигающегося клина, МПа; N – вес нормального составляющего, МПа; S – вес касательного составляющего, МПа; ρ – угол внутреннего трения, градус; k – сцепление пород, МПа; l – длина поверхности оползня, м; $\Sigma F_{\text{тр}} = f \cdot \Sigma N$ – сила трения, МПа; $\Sigma F_{\text{сц}} = k \cdot L$ – силы сцепления, МПа.

Слишком большое значение коэффициента запаса n приводит к чрезмерному выполаживанию откоса, т. е. увеличению объема вскрыши на карьере. Проектирование откосов скальных пород производят в основном при значении коэффициента запаса устойчивости $n \geq 1,3$.

2.3. Методы оценки устойчивости прибортовых массивов карьеров

Сложность и разнообразие горногеологических и горнотехнических условий открытых разработок обусловили создание многочисленных способов и методов расчета устойчивости откосов; их насчитывается к настоящему времени около 150.

При проектировании карьеров большое значение имеет правильный выбор методики расчета углов наклона бортов, которая должна обеспечить:

- устойчивость уступов и бортов карьеров;
- размещение на бортах необходимых съездов и берм;
- экономичность работ (целесообразный коэффициент вскрыши).

Следует отметить, что первый и третий факторы влияют на величину углов в противоположных направлениях. Чрезмерно крутые углы из-за возможных обвалов и оползней могут нанести значительный материальный ущерб и даже привести к преждевременному окончанию эксплуатации карьера.

Линия погашения борта может быть:

- конструктивной, когда она соответствует профилю, отстроенному по горнотехническим условиям;
- устойчивой, когда борт карьера имеет минимально достаточный запас устойчивости для данных пород.

Если для карьеров, борта которых сложены необходимыми скальными породами, угол наклона борта определяется конструктивными соображениями, то в остальных случаях конфигурация предельного контура борта рассчитывается, исходя из геологических и гидрологических условий, а также физических свойств пород (т. е. тех параметров, которые определяют устойчивость борта). Борт при этом более пологий, чем отстроенный по горнотехническим условиям.

Важно выделить основные направления, по которым идет исследование проблемы, и критически оценить ту или иную расчетную схему, что в значительной степени облегчит и ускорит работу проектировщика и исследователя. Эти вопросы важны еще и потому, что на практике используют и такие расчетные методы, которые в определенных условиях дают удовлетворительные результаты, но не пригодны для других условий, что затрудняет объективную оценку надежности метода.

Математической основой существующих методов расчета устойчивости откосов является теория предельного равновесия сыпучей среды, включающая две группы задач, для каждой из которых условие предельного равновесия удовлетворяется: в каждой точке какой-то области среды (теория предельного напряженного состояния Соколовского В. В.) [1]; только по внутренней границе области, находящейся в предельном равновесии.

Как показала практика, наиболее приемлемыми для открытых горных выработок являются решения задач второй группы, поскольку они дают удовлетворительные результаты и для неоднородной среды.

Начало развитию науки о предельном равновесии сыпучей среды было положено Кулоном, сформулировавшим в 1773 г. условие прочности грунта

$\tau = c + \sigma \tan \varphi$; исходя из предельного равновесия призмы обрушения им была создана теория давления грунта на подпорную стенку. Первый способ расчета устойчивости откоса, основанный на принципе Кулона, был предложен в 1820 г. Г. Франсе.

К настоящему времени разработано более 150 методов, способов и приемов расчета устойчивости свободных откосов,

многообразие которых вызвало необходимость классифицировать их по тем или иным признакам.

Певзнером М. Е. [2] была предложена такая классификация. Классификация осуществляется по следующей схеме: класс методов – группа методов – основной метод (методы) группы – расчетные способы и схемы, использующие основной метод.

Основным классификационным принципом для выделения классов методов является принцип определения параметров устойчивого откоса. В соответствии с этим выделяются четыре класса методов, каждый из которых предусматривает:

Класс А – построение контура откоса, являющегося внешней границей зоны, во всех точках которой удовлетворяется условие предельного равновесия;

Класс Б – построение контура откоса, вдоль которого удовлетворяется равенство угла наклона касательной углу сопротивления сдвигу;

Класс В – построение в массиве откоса поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие предельного равновесия;

Класс Г – построение в массиве поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие специального предельного равновесия.

Класс Д – методы, предусматривающие вероятностную оценку устойчивости откосов на основе статистических оценок определяющих факторов.

Данная классификация с некоторыми добавлениями и изменениями принята нами за основу при анализе методов и способов расчета устойчивости свободных откосов; при этом в анализ вошли в основном способы, наиболее обоснованные в теоретическом отношении и применяющиеся в расчетной практике.

Наиболее обоснованным с теоретической точки зрения является метод КарПТИ [21–22], излагаемый ниже; в нем центр логарифмической спирали принят в точке пересечения линии откоса и отвесной линии, проходящей через середину призмы возможного обрушения. Данный метод дает возможность аналитически рассчитывать предельную высоту откоса и ширину призмы обрушения и оценивать коэффициент устойчивости откоса.

Наиболее известен и широко применяется в практике метод. Г. Л. Фисенко. В этом методе построение поверхности скольжения осуществляется на основе положений теории сыпучей среды, разложение сил производится по схеме К. Терцаги. Поверхность скольжения состоит из окружности и отрезка вертикальной прямой, начинается на глубине H_{90} под углом $(45^\circ + p/2)$ к горизонту и выходит в откос под углом $(45^\circ - p/2)$. Предельная высота откоса, найденная этим методом, весьма близка к значениям высот, полученным на практике и при моделировании, однако ширина призмы возможного обрушения зачастую оказывается заметно заниженной.

Как показывает анализ, вопрос устойчивости свободных откосов изучен довольно полно. Однако, поскольку причин и условий, способствующих развитию оползней откосов, много, универсального способа расчета не существует.

Выбор способа расчета должен проводиться исходя из его теоретической обоснованности и наиболее полного отражения свойств реального массива при условии минимального объема расчетов и графических построений.

Принципы управления состоянием откосов карьеров изложены в работе академика Ржевского В. В., основные из которых состоят в следующем:

- 1) борта карьера должны обеспечивать безопасное (для людей и оборудования) ведение горных работ;
- 2) откосы карьеров должны обеспечивать экономичность разработки месторождения;
- 3) коэффициент запаса устойчивости откосов карьера, вводимый в расчёты в связи с разнородностью и неопределённостью среды, изменчивостью литологического состава, свойств и структуры массива, должен определяться дифференцированно по стадиям: при проектировании на основании разведочных данных; при вскрытии месторождения по данным горностроительных работ; при подходе горных работ к предельному контуру на основании данных длительной эксплуатации.

Такая оценка устойчивости откосов является совершенно правильной. На стадии проектирования карьера можно и необходимо ориентироваться на большую степень риска, а уже при постановке откосов в стационарное положение их устойчивость

можно повысить, например, изменением развития горных работ, применением специальной технологии, искусственным укреплением неустойчивых участков бортов.

Считается общепризнанным, что конкретные математические схемы имеют смысл разрабатывать только тогда, когда собрано достаточно фактических данных и прослежена основная закономерность изучаемого явления. В противном случае математические гипотезы и решения уходят, не сыграв особой роли в изучении данного явления. При исследовании устойчивости уступов и бортов карьеров задача состоит в том, чтобы, зная пределы применения расчетных схем и их обоснованность в теоретическом отношении, наиболее полно учитывать совокупность природных условий месторождения и технологию горных работ.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные причины и виды деформаций горных пород?
2. Какие факторы влияют на устойчивость бортов карьеров?
3. Состав удерживающих и сдвигающих сил бортов карьера.
4. Что такое сцепление горных пород?
5. Что такое угол внутреннего трения горных пород?
6. Как определяется коэффициент запаса устойчивости?

3. МОНИТОРИНГ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА КАРЬЕРАХ

3.1. Создание системы геомеханического мониторинга

Исходя из задач и функций управления устойчивостью породных массивов, особенно карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризующихся разнообразием и изменчивостью геологического строения, необходимо постоянно проводить исследования, направленные на получение достоверной информации о структурных особенностях прибортового массива, его прочностных свойствах, гидрогеологических условиях и т. д. Такие исследования должны проводиться на всех этапах формирования карьерных откосов (строительство карьера, освоение проектной мощности, начало оформления постоянных бортов карьера на предельном контуре, доработка карьера) в рамках единой системы.

Критерием правильности ранее принятых технологических решений по параметрам карьерных откосов является маркшейдерский инструментальный контроль за состоянием бортов карьеров и отвалов, поэтому его также необходимо включить в единую систему маркшейдерских наблюдений и 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. На основании вышеизложенного данную систему можно охарактеризовать единым названием *«геомеханический мониторинг»*.

Мониторинг, согласно энциклопедическому определению, – это комплексная система регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды с целью выявления негативных изменений и выработки рекомендаций по их устранению или ослаблению.

В соответствии с этим определением, геомеханический мониторинг – это комплексная система, включающая в себя: – периодические маркшейдерские и инженерно-геологические наблюдения за состоянием откосов;

- исследования инженерно-геологических характеристик состава и свойств горных пород; изучение структурных особенностей прибортового массива;

- 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 горных работ.

Главной целью мониторинга является надежное обеспечение устойчивости уступов и бортов карьеров при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, сложенных скальными, полускальными, глинистыми и песчано-глинистыми породами, характеризующихся сильной дизъюнктивной и пликативной нарушенностью и интенсивной трещиноватостью горного массива, структурная схема которого приведена на рис. 3.1.

Геомеханический мониторинг включает оперативное определение инженерно-геологических характеристик, вещественного состава и оценку экологической и геомеханической опасности

1. Состав геомеханического мониторинга:

- 1 – получение комплексных инженерно-геологических характеристик состава и физико-механических свойств пород на карьерах, отвалах и их основаниях для расчета устойчивости и прогнозирования надежности управления состоянием массива;

- 2 – геомеханическое обоснование и исследование структурных и тектонических особенностей разрабатываемых месторождений для расчета устойчивости карьерных откосов и управления состоянием прибортового массива;

- 3 – изучение динамики развития геомеханических процессов в карьерных откосах и отвалах;

- 4 – геомеханическое обоснование и назначение противодеформационных мероприятий прибортового массива, которые базируются на анализе влияния гравитационных, тектонических, фильтрационных, сейсмозрывных и температурных сил и синтезе их суммарного воздействия;

5 – инженерно-геологический и геомеханический комплекс работ по изучению, прогнозу и контролю состояния и свойств карьерных и отвальных массивов, позволяющий управлять параметрами карьерных откосов в период проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации, а также обеспечивающий промышленную и экологическую безопасность горных работ;

6 – разработка принципов построения системы геомеханического мониторинга на месторождениях, разрабатываемых открытым способом, который позволит оценить устойчивость и несущую способность сооружений по результатам наблюдений за деформированием этих сооружений;

7 – обоснование технологических схем отвалообразования для конкретных горно-геологических условий с учетом обеспечения промышленной и экологической безопасности ведения горных работ.

2. Способы и средства мониторинга:

- выполнение маркшейдерских, инженерно-геологических и инженерно-геофизических наблюдений за состоянием техногенных массивов;

- проведение комплексных маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов, обеспечивающих непрерывные наблюдения за параметрами состояния карьерных откосов;

- оценка и прогноз гидрогеологического состояния прибортового массива;

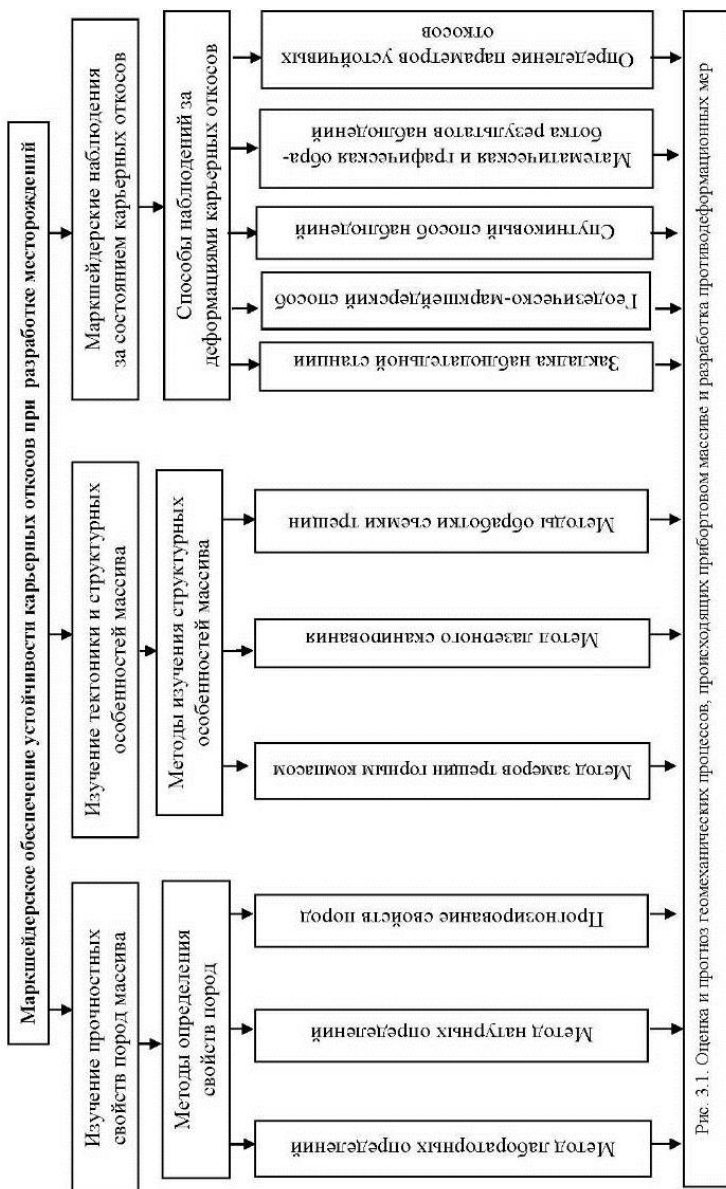
- изучение инженерно-геологических условий карьеров и отвалов;

- изучение особенностей технологии на карьерах и влияние их на геомеханические процессы;

- обоснование параметров карьерных откосов с учетом временного фактора и реологических характеристик пород, слагающих прибортовой массив;

- установление основных факторов, определяющих состав, состояние и свойства пород карьеров и отвалов;

- разработка методики и программного обеспечения для обоснования параметров устойчивых бортов карьеров и отвалов.



3. Разработка методических основ маркшейдерского мониторинга устойчивости откосов на карьерах

В рамках этой проблемы необходимо решить следующие задачи:

- изучение состояния устойчивости откосов на карьерах Казахстана и разработка, исходя из этого, типовых схем месторождений по условиям управления устойчивостью;
- разработка задач и функций геолого-маркшейдерского обеспечения мониторинга управления устойчивостью откосов в зависимости от этапа развития горных работ на карьерах;
- обоснование, контроль и прогноз устойчивости откосов на основе систематического изучения деформаций при развитии горных работ;

4. Разработка методики управления устойчивостью бортов и уступов карьеров, которая должна включать следующие задачи:

1 – оценка устойчивости откосов при проектировании и корректировке устойчивых параметров при развитии горных работ в плане и по глубине;

2 – оценка фактического состояния откосов и прогноз их устойчивости в процессе эксплуатации; охрана объектов, жизненно важных для горного предприятия;

3 – разработка методики систематического контроля и целенаправленного воздействия на условия и факторы, определяющие устойчивость горных пород в откосах;

4 – геомеханическое обоснование мер по ликвидации нарушений устойчивости, контроль за их реализацией и оценка их эффективности;

5 – осуществление оперативного контроля за состоянием уступов и бортов карьеров и прогноз нарушений устойчивости откосов от начала строительства до погашения или консервации карьера;

6 – внедрение рекомендаций по устойчивым параметрам бортов карьеров в производство на этапе проектирования открытых горных работ на базе геолого-маркшейдерской информации.

Реализация данной методики на карьерах позволяет обеспечить безопасные условия труда и бесперебойный режим работы горнодобывающего предприятия.

3.2. Общая методика маркшейдерских наблюдений

В соответствии с Положением о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр, в функции маркшейдерской службы, в частности, входит ведение мониторинга состояния недр, включая процессы сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханических и геодинамических процессов при недропользовании в целях предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости. Наблюдения, анализ и интерпретация результатов наблюдений позволяют:

- 1) определить величины смещений, деформаций, скоростей развития процесса деформирования и границы распространения деформаций;
- 2) установить тип разрушающих деформаций прибортового массива пород;
- 3) установить взаимосвязь между факторами, определяющими устойчивость прибортового массива, и процессом деформирования бортов карьеров и откосов отвалов и определить количественные соотношения между ними;
- 4) осуществить контроль за ведением горных работ на деформирующихся участках бортов и отвалов;
- 5) определить эффективность противодеформационных мероприятий.

Рекомендации по созданию наблюдательных станций и методикам наблюдений изложены в разработанной ВНИМИ «Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости».

В зависимости от целей и задач, а также условий отработки месторождения наблюдения проводят в различном объеме и в различные по продолжительности времени периоды. Наблюдения за оползнями разделяют на два этапа: разведка и выявление оползневых очагов; наблюдение и разработка мероприятий по ликвидации оползневых явлений.

Для проведения наблюдений за сдвижением горных пород на борту карьера закладывают наблюдательные станции, на которых периодически через определенные промежутки времени проводят инструментальные наблюдения. Наблюдательные станции представляют собой систему реперов, закладываемых по линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера (рис. 3.2). Чтобы учесть влияние различных факторов на устойчивость бортов, профильные линии наблюдательной станции обычно закладывают в различных горногеологических условиях.

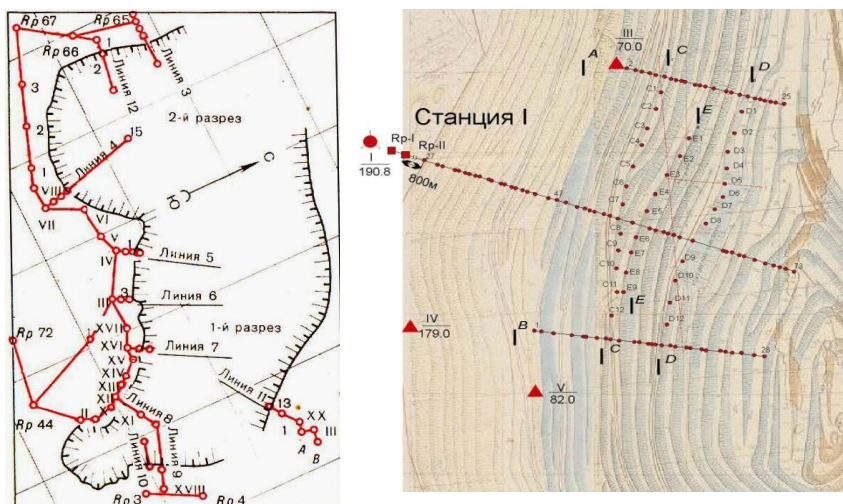


Рис. 3.2. Планы наблюдательных станций:
а – на угольном разрезе; б – на рудном карьере

Длина профильных линий должна быть такой, чтобы оба или один ее конец были вне зоны ожидаемых сдвижений. При небольшой глубине профильные линии могут быть проведены через весь карьер. Расстояние между рабочими реперами зависит от их расположения на профильной линии. На каждой площадке (берме) уступа или яруса отвала заложены не менее двух реперов – один вблизи бровки уступа, другой – у подошвы вышележащего уступа. Реперы закладывались так, чтобы была обеспечена безопасность наблюдателя при работе на этих реперах.

На концах профильных линий имеются опорные реперы. При сооружении наблюдательной станции закладывают не менее трех исходных реперов таким образом, чтобы была гарантия их сохранности. К исходным реперам привязываются опорные реперы всех линий.

Конструкция реперов выбирается в соответствии с Инструкцией ВНИМИ, т. е. она должна быть простой, и способ закладки реперов должен обеспечить прочную связь их с горной породой, чтобы сдвижения репера точно соответствовали сдвижениям пород; сохранность и неизменность положения реперов на весь срок их службы, а также удобство пользования ими.

В соответствии с вышеизложенным, закладку исходных и рабочих реперов осуществляли следующим образом: в пробуренной скважине диаметром 160 мм.

Предотвращение оползней и обрушений откосов на карьерах, разработка мероприятий, снижающих вредное воздействие сдвижения горных пород на устойчивость уступов и бортов карьеров, является необходимым условием бесперебойной работы горнодобывающего предприятия. Непрерывная технологическая подвижность откоса накладывает на организацию наблюдений определенные особенности. Заложенные на откосах точки не могут долго сохраняться (особенно на уступах рабочего борта). Поэтому наблюдения нужно организовать так, чтобы в относительно небольшие сроки они были закончены.

Маркшейдерские наблюдения на станции складываются из: нивелирования всех реперов, включая опорные; измерения всех расстояний между реперами; инструментальной съемки отдельных уступов, навалов пород, элементов залегания пород, трещиноватости, образовавшихся смещений и т. д.

В результате выполнения наблюдений должна быть составлена следующая графическая документация: план наблюдательной станции (рис. 3.3); вертикальные разрезы по каждому профилю; графики векторов сдвижений реперов в вертикальной плоскости и др.

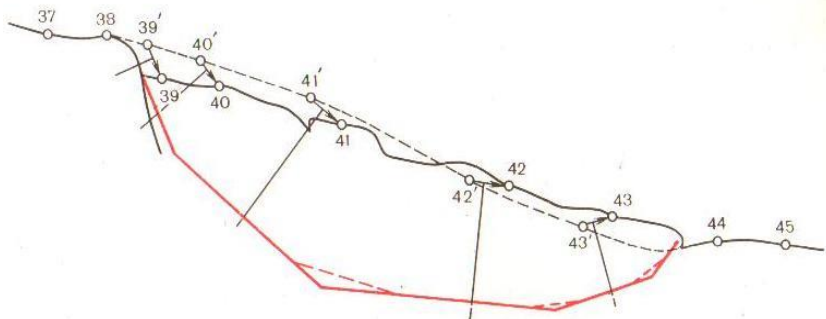


Рис. 3.3. Схема определения положения линии скольжения по данным наблюдений за перемещениями реперов

Информация о скорости угловых деформаций может служить основой для оценки состояния прибортовых массивов и разработке мероприятий по предупреждению возможных деформаций и стабилизации откосов.

Анализ методов инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов показывает необходимость их дальнейшего совершенствования с использованием современных геодезических средств на примере лазерного сканирования, электронной тахеометрии, фотограмметрии, глобальных спутниковых систем, современных информационных технологий и радарной интерферометрии.

В настоящее время выделяют два метода радарной интерферометрии: спутниковая и наземная. В силу различных причин в Казахстане метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Технология применения наземной радар-

ной интерферометрии для определения сдвижения земной коры применяется только несколькими научно-исследовательскими институтами и организациями в мире.

Широкое внедрение в практику маркшейдерско-геодезических работ электронных тахеометров и спутниковых GPS-приборов дает уникальную возможность быстро и точно определить параметры сдвижения массива горных пород и вести регулярные, непрерывные наблюдения за изменением этих параметров во времени. Среднеквадратические погрешности ошибок маркшейдерских наблюдений представлены в табл. 3.1.

Среди современных методов маркшейдерских наблюдений широкое распространение получил метод лазерного сканирования, здесь можно выделить: наземное, воздушное сканирование и лазерную батиметрию.

Лазерное сканирование позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Для наблюдений за деформациями рекомендуется использовать архитектурный сканер типа Leica HDS 3000 с точностью сканирования 6 мм. Для исследования структуры целесообразно использовать горный сканер типа Leica HDS 4400, имеющий высокую производительность и специальное программное обеспечение для изучения элементов залегания. Для повышения эффективности наблюдений можно совместно использовать GPS-системы и 3D-сканер.

Таблица 3.1
Среднеквадратическая погрешность ошибок измерения

Номер	Метод маркшейдерских наблюдений	Расстояние от опорных реперов до рабочих, м	СКО определения положения точек, м	
			в плане $m_{x,y}$	по высоте m_z
1	Тахеометрический	100	0,250	0,020
2	Геодезические наблюдения по профильным линиям и нивелирование III класса	100	0,010	0,002
3	Фототеодолитная с графомеханической обработкой снимков	100	0,030	0,010
4	Метод конвергентной фото-теодолитной съемки с дифференциальным определением смещений точек	100	0,008	0,004
5	Метод воздушной стереофотограмметрической с графомеханической обработкой	100	0,030	0,030
6	Аэрофотогеодезический с аналитической обработкой снимков	100	0,007	0,011
7	Лазерное сканирование	100	0,050	0,050
8	Интерферометрия: спутниковая наземная	1 Пиксель	0.500 0.001	0.500 0.001
9	GPS: статика кинематика	100	0.010 0.020	0.010 0.020

3.3. Мониторинг деформационных процессов

3.3.1. Наблюдение за устойчивости откосов на основе электронных тахеометров

Существующие традиционные способы инструментальных наблюдений имеют ряд серьезных недостатков. Во-первых, они не отражают реальных процессов, происходящих в массиве горных пород и, следовательно, прогнозные оценки, базирующиеся на данных инструментальных наблюдений, недостаточно надежны.

Во-вторых, они очень трудоемки, что не позволяет получать данные о деформациях земной поверхности и прибортовых массивов в необходимых объемах и с требуемой периодичностью.

Применение электронных тахеометров значительно сокращает время на производство полевых работ и камеральную обработку результатов измерений, соответствует требованиям времени по внедрению современных технологий в производство маркшейдерских и геодезических работ. Многолетний опыт маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием прибортовых массивов карьеров на ряде месторождений Казахстана позволил внедрить высокопроизводительную методику наблюдений с использованием современного электронного оборудования (рис. 3.4).

Данные с **тахеометра** могут быть встроены в любую существующую технологическую цепочку обработки геодезических данных. Полевые измерения могут быть легко переданы в различные программы обработки и уравнивания геодезических измерений: Liscad, CREDO-DAT, RGS, AutoDesk Survey. Далее уравненные трехмерные координаты точек передаются в программы CREDO-MIX, CAD-Relief, TOPOCAD, AutoDesk Land Development Desktop для построения трехмерной модели местности, отрисовки горизонталей и нанесения ситуационного плана.

Для исследования состояния прибортового массива на карьерах были применены усовершенствованные методики инструментальных наблюдений с помощью электронных тахеометров, GPS-систем и новые методы изучения структуры горного массива с помощью 3D-сканера «Leica» (Швейцария) и георадара «Mala» (Швеция).



а



б



в

Рис. 3.4. Производство измерений
с помощью электронного тахеометра:

а – общий вид съемки карьера; *б* – отражатель на репере;
в – тахеометр на опорной точке

3.3.2. Использование спутниковых систем в маркшейдерских наблюдениях

В настоящее время существуют две глобальные спутниковые системы: первая глобальная система позиционирования (The Global Positioning System – GPS), созданная и управляемая Департаментом Обороны США и вторая глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС, управление и эксплуатация, которой возложены на Министерство обороны Российской Федерации (Управление космических средств РВСН).

Глобальная система позиционирования GPS. Глобальная система позиционирования (The Global Positioning System – GPS) основана на использовании специальных спутников, которые управляются Департаментом Обороны США. Система обеспечивает возможность определения пространственного положения любой точки на поверхности земного шара. Точность определения координат составляет от десятков метров до миллиметров в зависимости от применяемого оборудования и используемой методики измерений.

Глобальная система позиционирования состоит из трех сегментов: *космического, управляющего и пользовательского.*

Космический сегмент состоит из 24 навигационных спутников NAVSTAR, которые вращаются вокруг Земли на высоте около 2 тыс. км с периодом обращения 12 часов. Параметры спутниковых орбит подобраны таким образом, что в любой точке земного шара обеспечивается возможность одновременного приема радиосигнала как минимум от четырех спутников. Каждый спутник имеет на борту четыре высокоточных атомных часов, и постоянно посылает радиосигналы, используя собственный уникальный идентификационный код.

Управляющий сегмент состоит из большого числа наземных мониторинговых станций, расположенных в разных частях земного шара. Мониторинговые станции принимают радиосигналы от спутников и по ним отстраивают орбитальные модели для каждого спутника. Полученные данные передаются на главную управляющую станцию, которая один раз в сутки передает коэффициенты коррекции часов на спутники.

Пользовательский сегмент состоит из большого числа гражданских и военных GPS-приемников, которые конвертируют спутниковые радиосигналы в пространственные координаты, скорость перемещения приемника и сигналы точного времени. Для расчета четырехмерной координаты местоположения приемника (X, Y, Z, Time) требуется принять радиосигнал как минимум от четырех спутников. GPS-приемники используются для целей навигации, определения пространственных координат, определения точного времени и для других исследований. Обеспечение навигации в трехмерном пространстве является

основной функцией GPS, для этой цели созданы приемники для самолетов, кораблей, автомобилей, индивидуальные ручные приемники. GPS сигналы используются также для определения точных координат (геодезические приемники), для астрономических наблюдений, для измерения параметров атмосферы и др.

Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. Глобальная Навигационная Спутниковая Система ГЛОНАСС – это сумма уникальных технологий, плод многолетнего труда российских конструкторов и ученых.

ГЛОНАСС является государственной системой, которая разрабатывалась как система двойного использования, предназначенная для нужд Министерства обороны и гражданских потребителей. Для определения пространственных координат и точного времени требуется принять и обработать навигационные сигналы не менее чем от 4-х спутников ГЛОНАСС.

Основная идея технологии выполнения GPS съемок состоит в том, что один из приемников (базовый приемник) помещается на точку с заранее известными координатами, так называемую базовую станцию, и ведет непрерывные спутниковые наблюдения весь сеанс GPS съемки. В результате такого наблюдения определяется величина ионосферной поправки, равная разнице заранее известных координат точки и ее координат, полученных в результате сеанса спутниковых наблюдений. Полученная величина ионосферной поправки вводится в результаты спутниковых наблюдений на определяемых точках. При этом главным условием работы в режиме GPS является обеспечение одновременного приема сигнала от общих спутников базовым и полевым приемниками. Так как величина ионосферной поправки является постоянной на довольно обширных территориях, то технологию GPS возможно использовать без снижения точности определения координат для наблюдения базовых линий длиной от 1 м до 100 км. Ионосферная поправка учитывается во время обработки результатов измерений в камеральных условиях.

За последние несколько лет системы GPS вошли в маркшейдерскую практику во всем мире. Применение спутниковой системы в маркшейдерии идет по четырем основным направлениям.

Первое направление связано с построением и реконструкцией опорных маркшейдерских сетей на земной поверхности и участках открытых горных работ. Для спутниковой геодезии эти задачи являются традиционными и основными, вместе с тем в условиях работающих горных предприятиях особое значение приобретает необходимость: а) GPS-определений на поверхности с координатными определениями в подземных горных выработках и б) необходимость приведения результатов G-определений в системе координат, в которой работает данное предприятие (рис. 3.5).

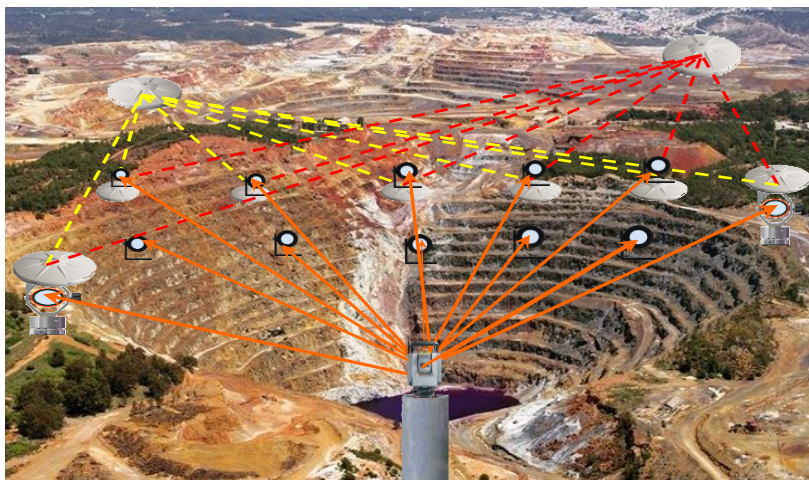


Рис. 3.5. Схема системы GPS на карьере

Второе направление — выполнение маркшейдерско-геодезических съемок поверхности и коммуникаций на месторождениях скважинной добыче углеводородов, открытых горных выработок, отвалов, хвостохранилищ, а также съемокинженерных сооружений.

Отметим, что в труднодоступных, малообжитых, отдаленных районах, а также в районах с пониженной плотностью государственной геодезической сети (ГГС) системы GPS являются подчас единственно возможным средством проведения маркшейдерско-геодезических работ.

Третье направление – выполнение систематических маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности и деформациями элементов зданий и сооружений. Здесь особое значение приобретают высотные определения, которые совмещаются с геометрическими, тригонометрическими и гравиметрическими. В настоящее время GPS-мониторинг успешно ведется на ряде крупных предприятий горнодобывающего комплекса РК, как Соколов-Сарбайский, «Корпорация Казахмыс», «Шубарколь комир», «Корпорация Казахмыс», «Васильковский ГОК» и др.

Четвертое направление связано с созданием автоматизированной системы слежения за состоянием уступов и бортов карьеров и управления грузопотоками горного предприятия.

Таким образом, применение комплекса спутниковой геодезии для наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности на горных предприятиях позволит проводить исследования на качественно более высоком уровне. Измерения позволяют охватить не только ближайшую зону техногенного воздействия добычи полезных ископаемых, наблюдения в которой производились достаточно длительный период с использованием традиционных геодезических методов, но и удаленную зону, в которой ранее измерения либо не проводились совсем, либо проводились в недостаточных объемах по причине высокой трудоемкости подобных работ.

3.3.3. Автоматическая наблюдательная станция на карьере

Карьеры ряда месторождений полезных ископаемых Казахстана достигли глубины разработки более 300 м: Качарский, Акчий-Спасский, Коунрадский, Николаевский, Соколовский, Сарбайский и другие. Разработкой этих карьеров занимаются крупные горнодобывающие предприятия, такие как АО «ССГПО» и ТОО «Корпорация Казахмыс» (рис. 3.6).

В этих условиях остро встает проблема обеспечения и контроля устойчивости откосов уступов и бортов. Ее решение обеспечивается комплексными исследованиями состояния прибортовых массивов карьеров.



Рис. 3.6. Карьер Соколовский

Маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов, откосов уступов на карьерах значительной глубины выполняются с использованием электронных приборов и программных продуктов, что позволяет внедрять полуавтоматическую и автоматическую систему наблюдений.

Автоматическая система – это современная программа системы мониторинга геомеханического состояния массива. Помимо программного обеспечения для эффективного использования автоматизированной системы необходимо выполнить ряд технических условий (рис. 3.7):

- выбор месторасположения и установки измерительной будки;
- конструкция стойки для инструмента;
- правильное расположение наблюдаемых и контрольных точек.

Измерительная будка применяется для защиты инструмента и помогает поднять точность измерений за счет устранения негативного влияния окружающей среды (см. рис. 3.7).

Наблюдательный инструментальный столбик представляет собой металлический или бетонный столб длиной от 2,2 до 2,5 м,

забетонированный на глубину до 1,0 метра. На верху столба устраивается горизонтальная площадка со станovým винтом, для закрепления на нем трегерной подставки прибора и призмного отражателя. Нижняя часть столбика (трубы) в скважине бетонируется, далее скважина заполняется шлаком и вверху бетонируется.



а



б

Рис. 3.7. Карьер Васильковский:

а – наблюдательный пункт;

б – позиционирование стройки, место для стола

На всех рабочих реперах профильных линий карьера, расположенных на каждой площадке (берме) уступа, проектируется установить стационарный призмный отражатель. Конструкция рабочего репера с постоянно установленным отражателем, возвышающимся над уровнем площадки на высоту 0,3–0,5 м, позволяет использовать его при инструментальных наблюдениях, а также при полуавтоматической и автоматической системе наблюдений.

3.3.4. Графический способ определения поверхности скольжения

При проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров большое значение имеет правильный выбор методики расчета углов наклона борта, которая должна обеспечить: устойчивость уступов и бортов карьеров; размещение на бортах съездов и берм; экономичность горных работ.

Линия погашения борта может быть конструктивной, когда она соответствует профилю, отстроенному по горнотехническим условиям. Она может быть устойчивой, когда борт карьера имеет минимально достаточный запас устойчивости для данных особенностей горных пород, и конструктивно устойчивый, когда оба вышеуказанных профиля совпадают или очень близки между собой.

В настоящее время известно большое число расчетных методов устойчивости бортов карьеров, в которых для суждения об устойчивости откосов используют коэффициент устойчивости, понимаемый как отношение суммы всех удерживающих сил к сумме сил, сдвигающих оползневой клин

$$n = \frac{\sum S_{уд}}{\sum T_{сдв}} = \frac{\sum F_{тр} + \sum F_{сц}}{\sum F_{сдв}}, \quad (3.1)$$

где $\sum F_{тр} = f \sum N_i$ (силы трения); $\sum F_{сц} = kL$ (силы сцепления); $\sum F_{сдв} = \sum T_i$ (силы сдвигающие); f – коэффициент внутреннего трения пород; k – коэффициент сцепления, определяемый силой, приходящейся на единицу площади расчетной поверхности; A и B – другие удерживающие и сдвигающие силы. В верхней части откоса в результате действия растягивающих усилий образуются вертикальные трещины разрыва, за счет чего уменьшается длина поверхности, скольжения. Высота этой трещины определяется по формуле

$$H_{тр} = \frac{2k \cdot ctg(45^\circ - \frac{p}{2})}{\gamma}, \quad (3.2)$$

где k и p – соответственно сцепление и угол внутреннего трения пород; γ – средняя плотность пород.

При расчете устойчивого положения бортов разрезов по круглоцилиндрической поверхности скольжения большую сложность представляет отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения. Рассмотрение условия равновесия оползневого клина дает лишь одно уравнение, не позволяющее решать задачу сразу однозначно, и поэтому отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения осуществляют путем подбора, что сопряжено с кропотливыми и утомительными вычислениями.

Фисенко Г. Л. предложил способ определения поверхности скольжения, при котором сразу определяется ее положение с наименьшим запасом устойчивости. Для этого (рис. 3.8):

1) на чертеже откоса проводят линию BD , отстоящую от поверхности откоса на расстоянии H_{90} , и линию AB ;

2) на линии BD выбирают произвольную точку D и через нее проводят линию DC под углом $45^\circ + \rho/2$ к линии BD . Здесь ρ – угол внутреннего трения. Под этим же углом из точки B проводят линию BC .

3) из нижней точки откоса M под углом $45^\circ + \rho/2$ к линии откоса строят линию MC ;

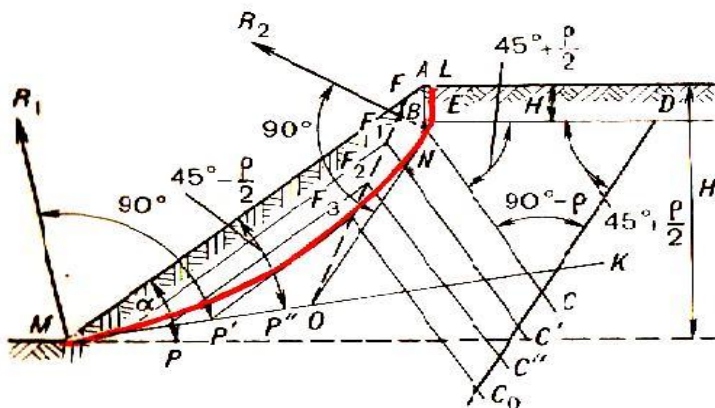


Рис. 3.8. Схема определения положения поверхности скольжения по Г. Л. Фисенко

4) на линии MK от точки M откладывают равные отрезки MP , PP' , PP'' , а на линии DC от точки C вниз отрезки CC' , CC'' и $C''C_0$;

5) из точек P , P' , P'' проводят прямые линии, параллельные линии откоса MA , а из точек C , C'' и C_0 – линии, параллельные BC . Пересечение этих линий даст точки F , F_1 , F_2 , F_3 . Через полученные точки проводится прямая FO до пересечения с линией MK ;

6) из точки O проводят прямую, параллельную DC , до пересечения с линией BD в точке;

7) из точки N восстанавливают перпендикуляр к линии OE , а из точки M перпендикуляр к линии MK . Пересечение перпендикуляров даст положение центра окружности, проходящей через точки M и E .

После проделанных операций проводят проверку устойчивости откоса. Для этого в крупном масштабе строят оползневой клин и вертикальными линиями разбивают его на ряд призм (рис. 3.9).

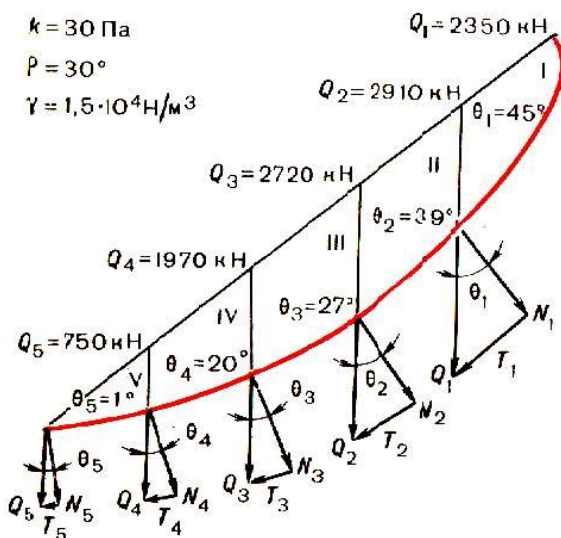


Рис. 3.9. Схема оползневого клина к расчету устойчивости борта карьера

Измеряют площадь каждого блока S_i и определяют массу породы в каждой призме на 1 м фронта карьера по формуле

$$Q_i = S_i \cdot \gamma. \quad (33)$$

Вертикальные линии, являющиеся призмами, продолжают вниз на расстояния, соответствующие в выбранном масштабе массе призм. Из точек пересечения этих линий с поверхностью скольжения восстанавливают перпендикуляры. Определяют N_i и T_i по формулам

$$N_i = Q_i \cos \theta_i \quad \text{и} \quad T_i = Q_i \sin \theta_i. \quad (3.4)$$

Вычисленные значения N_i и T_i приведены в табл. 3.2.

Между Q_i и N_i измеряют угол θ_i , находят длину поверхности скольжения L .

Таблица 3.2

Результаты N_i и T_i , вычисленные по формулам (4.5) и (4.6)

	Q_i , МН	θ_i , град	N_i , МН	T_i , МН
I	2,33	45	1,65	1,65
II	2,91	39	2,26	1,83
III	2,72	27	2,43	1,24
IV	1,97	20	1,85	0,67
V	0,75	7	0,74	0,09
		$\Sigma =$	8,93	5,48

После вычислений определяют коэффициент устойчивости по формуле (3.4) или (3.7)

$$n = \frac{tg \rho \Sigma N_i + kL}{\Sigma T_i} = 8,93 / 5,48 = 1,6, \quad (3.5)$$

где ρ – угол внутреннего трения, градус; k – коэффициент сцепления породы; L – длина поверхности скольжения, м.

Проектирование откосов проводят в основном при значении коэффициента запаса устойчивости $n \geq 1,3$ или согласно табл. 3.4. Если полученный коэффициент устойчивости больше или равен заданному, то построенный борт считается устойчивым, если меньше – неустойчивым. При неустойчивом случае необходимо предусмотреть или выполаживание борта, или проведение искусственных мероприятий по увеличению устойчивости горных пород.

3.3.5. Результаты мониторинга деформаций пород приобортовых массивов на карьерах Казахстана

Наблюдения за абсолютными деформациями бортов на исследуемых объектах проводились на профильных линиях наблюдательной сети. Для проведения наблюдений сначала был составлен проект наблюдательной станции, закладка на карьере наблюдательной станции, затем были проведены систематические маркшейдерские наблюдения, обработка результатов измерений на компьютере и анализ результатов наблюдений.

Составлены по каждой профильной линии ведомости: вертикальных смещений реперов, горизонтальных смещений реперов вдоль профильной линии, горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий), величин сдвигов, скоростей смещения реперов по направлению векторов смещения.

Также составлены и ежегодно пополнены графические материалы на плане наблюдательной станции и вертикальные разрезы по каждой профильной линии с уточнением литологии пород и положения горных работ на момент закладки станций и на момент наблюдения появившихся трещин и заколов, графиков вертикальных и горизонтальных деформаций по каждой профильной линии, графиков скоростей смещения реперов по направлению векторов.

За 2003–2007 гг. было проведено 9 циклов наблюдений на станции карьера «Центральный» и 5 циклов наблюдений на коротких профильных линиях карьера месторождения Акжал, результаты которых приведены в табл. 3.2 и 3.3, а график оседаний – на рис. 3.10 и 3.11.

Для получения оперативной информации в короткие сроки и с минимальными затратами были проведены визуальные наблюдения за относительными деформациями. Визуальные наблюдения проведены на коротких профильных линиях с помощью геофизических приборов и устройств за развитием трещин.

Таблица 3.3
Ведомость оседаний реперов по профильной линии 1–1

	1 – наблю- дение, м (25.04.03)	2-наблюдение, м (20.08.03)	1–2, мм	3 – наблю- дение, м (26.05.04)	1–3 мм	4 – наблю- дение, м (20.09.04)	1–4 мм	5 –наблю- дение, м (14.05.05)	1–5 мм
I	642,745	642,745	0	642,745	0	642,745	0	642,745	0
II	640,115	640,115	0	640,115	0	640,115	0	640,115	0
1	638.608	638.608	0	638.608	0	638.607	1	638.607	1
2	640,113	640,112	1	640,112	1	640,111	2	640,110	3
3	627,261	627,258	3	627,258	3	627,256	5	627,255	6
4	627,786	627,782	4	627,781	5	627,780	6	627,779	7
5	611,001	610,995	6	611,994	7	611,993	8	611,991	10
6	612,557	612,548	9	612,547	10	612,546	11	612,544	23
7	636,797	636,786	11	636,785	12	636,783	14	636,780	25

I	642,745	642,745	0	642,745	0	642,745	0	642,745	0
II	640,115	640,115	0	640,115	0	640,110	0	640,110	0
1	638.608	638.606	2	638.605	3	638.605	3	638.604	4
2	640.113	640.608	5	638.607	6	638.606	7	638.603	10
3	627,261	627,253	8	627,251	10	627,242	19	627,231	30
4	627,786	627,772	14	667,760	26	627,751	35	627,730	56
5	611,001	611,975	26	610,940	51	610,936	75	610,900	101
6	612,557	612,537	48	612,532	75	612,530	100	612,410	147
7	636,797	636,771	60	636,767	9	636,759	150	636,622	175

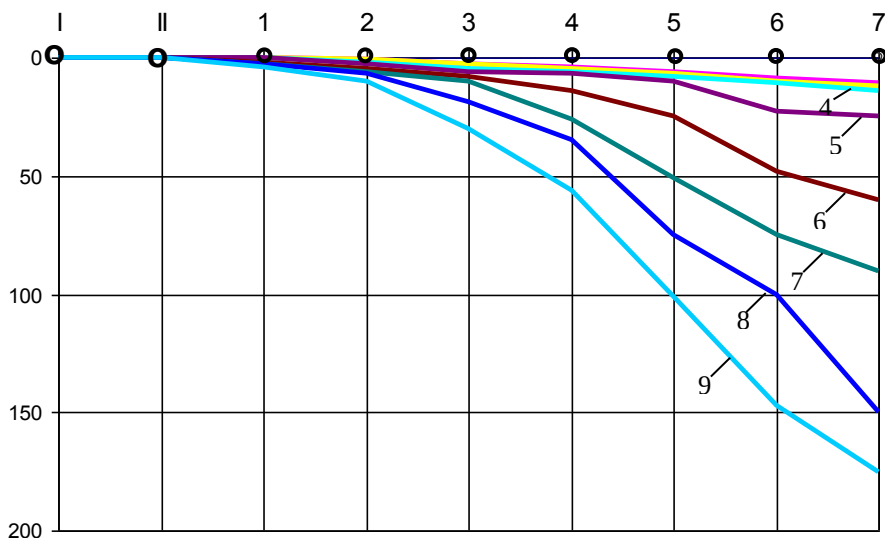


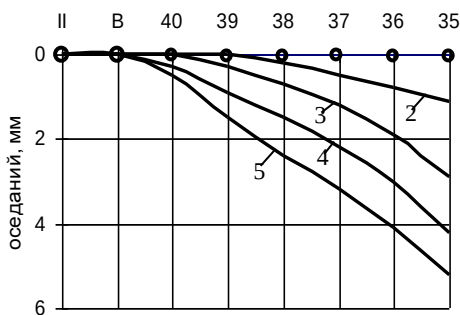
Рис. 3.10. Графики оседаний реперов по профильной линии I-I:

*Наблюдений: 1 – весна 2003 г.; 2 – осень 2003 г.; 3 – весна 2004 г.;
4-е – осень 2004 г.; 5-е весна 2005 г.; 6 – осень 2005 г.;
7 – весна 2006 г.; 8 – осень 2006 г. и 9 – осень 2007 г.*

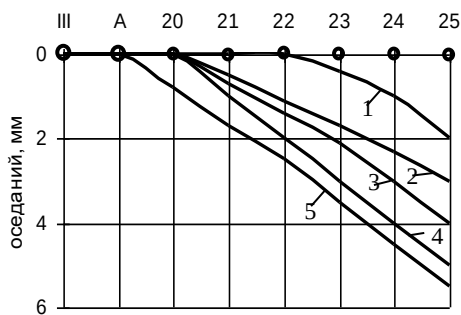
При исследовании процесса сдвижения пород прибортовых массивов их вертикальную составляющую получают по результатам повторных высокоточных измерений электронным тахеометром или цифровым нивелиром. Нивелирование II класса производилось цифровым лазерным нивелиром фирмы LEICA WILD NA 3003 с инварными рейками по методу двойного нивелирования в прямом и обратном направлении. Для нивелира был установлен допуск точности 0,4 мм, что соответствует допускам нивелирования I – класса. Принцип нивелирования и работа электронным тахеометром основаны на обработке закодированного сигнала (полученного с рейки через объектив). Микропроцессор вычисляет показания рейки и соответствующее горизонтальное расстояние между рейкой и прибором.

Таблица 3.4
Ведомость оседаний реперов по профильной линии – II–В
карьера «Центральный»

	1-е наблюдение, м (25.04.03)	2-е наблюдение, м (20.08.03)	1–2, мм	3-е наблюдение, м (26.05.04)	1–3 мм	4-е наблюдение, м (20.09.04)	1–4 мм	5-е наблюдение, м (14.05.05)	1–5 мм
II	637,725	637,725	0	637,725	0	637,725	0	637,725	0
В	640,675	640,675	0	640,675	0	640,675	0	640,675	0
40	630,525	630,525	0	630,525	0	630,525	0,3	630,524	0,5
39	630,233	630,233	0	630,233	0,3	630,232	0,9	630,259	1,5
38	620,261	620,260	0,2	620,260	0,7	620,260	1,5	620,259	2,4
37	619,860	619,859	0,5	619,859	1,2	619,858	2,2	619,857	3,2
36	610,510	610,509	0,8	610,508	1,9	610,507	3	610,506	4,10
35	610,507	610,506	1,1	610,504	2,90	610,503	4,2	610,502	5,2



а



б

Рис. 3.11. Графики оседаний реперов по профильным линиям:
а – профильная линия II–II и б– профильная линия III–III:
1-е наблюдение, весна 2003 г.; 2-е наблюдение, осень 2003 г.;
3-е наблюдение, весна 2004 г.; 4-е наблюдение, осень 2004 г. и 5-е наблюдение, весна 2005 г.

Результаты измерений электронным тахеометром хранятся в РЕК модуля WILD GRM 10 с последующей передачей данных в компьютер и обработкой данных по специальной программе. Преимуществом такой системы является простота вычисления высот во время измерения и регистрации данных [231]. Высокоточные повторные наблюдения проводились в два цикла (осенний и весенний периоды), иногда по производственной необходимости производились дополнительные измерения.

Инструментальные наблюдения за деформациями бортов карьеров, а также визуальные обследования позволили выявить неустойчивые участки бортов и определить их категории по степени экологической опасности, используя в качестве основных критериев величину и скорости смещения деформирующего массива.

Контрольные вопросы:

1. Создание геомеханического мониторинга за состоянием прибортовых массивов.
2. Что входит в состав геомеханического мониторинга?
3. Методы и средства ведения мониторинга.
4. Использование электронных тахеометров при мониторинге.
5. Использование лазерных сканеров при мониторинге.
6. Преимущество спутниковых систем наблюдений.
7. Обработка результатов наблюдений за состоянием массива.
8. Графический способ определения поверхности скольжения. Метод Г. Л. Фисенко.
9. Методы управления геомеханическими процессами.

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОДЫ МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

4.1. Состав и строение горных пород

Горные породы считаются изученными, если определены их состав, строение, свойства и состояние, а также зависимости, связывающие эти характеристики между собой с учетом фактора времени.

При исследовании состава горных пород в зависимости от поставленных задач определяют: *гранулометрический, микроагрегатный, минеральный и химический составы.*

Под *гранулометрическим* составом понимают содержание в породе частиц различной крупности (фракций), выраженное в процентах к массе абсолютно сухой породы. Классификация горных пород по гранулометрическому составу приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1
Классификация горных пород по
гранулометрическому составу

Горные породы	Содержание частиц, %		
	глинистые	пылеватых	песчаных
Глина тяжелая	Более 60	—	
Глина	60–30	—	
Глина пылеватая	Менее 30	Более чем в каждой из двух остальных групп порознь	Менее чем пылеватых
Суглинок: тяжелый, пылеватый тяжелыйсредний пылеватый средний пылеватый легкий	30–20 30–20 20–15 15–10 15–10	более чем песчаных	Менее чем пылеватых
Супесь:тяжелая пылеватая тяжелая легкаяпылевая легкая	10–6 10–6 6–3 6–3	более чем песчаных	Менее чем пылеватых
Песокпесок пылеватыйпыль	менее 3 менее 3 менее 3	менее 20 20–30 более 50	— — —

Микроагрегатный состав породы – содержание в ней микроагрегатов (сочетание органических и минеральных частиц) различной крупности, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой породы.

Микроагрегатный состав дает представление о природной дисперсности горной породы, т. е. степени дисперсности. В зависимости от степени дисперсности выделяют [13] следующие системы: грубые дисперсии с размером частиц менее 0,002 мм; тонкие дисперсии – 0,002–0,0001 мм; коллоиды – 0,00010, 000001 мм; молекулярные системы – менее 0,000001 мм. Чем больше дисперсность тела, тем более активно оно может взаимодействовать при определенных условиях с дисперсионной средой на границе раздела фаз.

Сопоставление данных гранулометрического и микроагрегатного анализов позволяет определить характер преобладающих структурных связей в горной породе.

Под *минеральным* составом горной породы понимается содержание в ней различных минералов, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой породы. По минеральному составу твердые горные породы разделяют [14] на мономинеральные (мрамор, гипс и др.) и полиминеральные (большинство горных пород). При изучении минерального состава горных пород определяют содержание в породе тех или иных минералов, характер взаимоотношений минералов с другими компонентами, тип кристаллов и вид продуктов разложения. Для осадочных сцементированных пород особую важность приобретает состав, степень и характер выветрелости их обломочной части (обломочный материал + цемент). При исследовании связных горных пород необходимо изучить минеральный состав их глинистой фракции.

Как известно, глины слагаются преимущественно чрезвычайно мелкими кристаллическими частицами (0,002 мм) небольшой группы минералов, получивших название глинистых.

Это главным образом водные алюмосиликаты, причем в некоторых из них алюминий полностью или частично замещен магнием или железом, а в других в больших или меньших количествах присутствуют щелочи или щелочные земли. Иногда глины состоят из одного глинистого минерала, а иногда это

смесь глинистых минералов. Основными глинистыми минералами являются: монтмориллонит, каолинит и гидрослюда. Кроме глинистых минералов, глины нередко содержат различные количества так называемых неглинистых минералов – кварца, кальцита, полевого шпата и др. Во многих глинах присутствуют органическое вещество и растворимые в воде соли.

Химический состав горной породы – содержание химических элементов и соединений в породе, выраженное в процентах по отношению к массе абсолютно сухой породы. Химический состав горной породы изучается главным образом для определения ее вещественного состава, геохимических условий образования, степени развития процессов выветривания и выбора химического способа укрепления породного массива.

Принято считать, что в составе горной породы обычно присутствуют (в тех или иных количествах) и должны быть определены такие компоненты, как SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , H_2O , P_2O_5 , SO_4 , CO_2 , $\text{C}_{\text{ор}}$.

Строение горной породы определяется ее структурой, текстурой и пористостью. Под структурой подразумевают те особенности строения горной породы, которые обуславливаются размерами, формой и взаимными отношениями составных частей породы (минералов, а также стекла).

Структура зависит:

- от степени кристалличности, т. е. индивидуализации кристаллических элементов, и относительного количества стекла;
- от абсолютной и относительной величин составных частей;
- от формы составных частей (их кристаллографического облика; степени идиоморфизма и других особенностей, обусловленных взаимным отношением, зависящим от последовательности образования, одновременной кристаллизации, распада твердых растворов; изменения формы до окончания застывания).

Для осадочных сцементированных пород в зависимости от размера зерен выделяют следующие типы структур: псефитовая (грубообломочная) > 2 мм; псаммитовая (песчаная) $2-0,05$ мм; алевроитовая $0,05-0,001$ мм, пелитовая (глинистая) $< 0,001$ мм; смешанная, для которой размер обломков изменяется в большом диапазоне.

Для метаморфических пород выделены следующие типы структур и их отличительные признаки: гранобластовая – изометрические зерна различной формы; роговиковая – мелкие кристаллы с простыми полигональными очертаниями плотно уложены друг к другу; сутурная, или зубчатая – кристаллы зубчатых очертаний; милонитовая – сочетание обломков кристаллов первоначальной исходной породы с тонкоперетертым поляризующим материалом; лепидобластовая – ориентированные в одном направлении чешуи и пластины преобладающих материалов; волокнистая – тонкие волокна одного или нескольких минералов.

Текстура горной породы определяется распространением и расположением ее составных частей в пространстве. Текстура зависит:

- от расположения и распределения частей вследствие особенностей кристаллизации и внешних воздействий;
- от способа заполнения пространства массой породы вследствие процессов, происходящих в расплаве до застывания или во время кристаллизации;
- от формы отдельности, возникающей вследствие охлаждения застывшего расплава или под влияние, внешних воздействий во время кристаллизации и после ее окончания.

Основные типы текстур магматических пород: массивная, флюидальная, сланцеватая (ленточная) и пузыристая.

Основные типы текстур метаморфических пород: сланцеватая, гнейсовая, очковая и плейчатая.

В зависимости от взаимной ориентировки частиц различают в инженерно-геологической практике три основных типа текстур осадочных пород: беспорядочную, микрослоистую (включая плейчатую) и флюидальную.

Под *пористостью* горной породы подразумевается совокупность отдельных пустот, заключенных между твердыми минералами и различающихся по происхождению, форме и размерам.

Различают открытую, закрытую, эффективную и общую пористость.

Открытая пористость определяется суммарным объемом пор V_a , сообщающихся между собой и атмосферой, и оценивается коэффициентом открытой пористости $K_{п.о}$:

$$K_{п.о} = V_o/V, \quad (4.1)$$

где V – общий объем породы.

Закрытая пористость определяется суммарным объемом закрытых пустот V_3 и оценивается коэффициентом закрытой пористости $K_{п.з}$:

$$K_{п.з} = V_3/V_o. \quad (4.2)$$

Эффективная пористость V_3 – пористость, при которой возможно течение жидкостей и газов под воздействием обычных в природе градиентов давления.

Коэффициент эффективной пористости:

$$K_{п.з} = V_3/V. \quad (4.3)$$

Общая пористость V_a определяется суммарным объемом закрытых и открытых пустот и оценивается коэффициентом общей пористости $K_{a.n}$:

$$K_{п.з} = (V_o + V_3)/V, \quad (4.4)$$

$$K_{п.п} = (V_o + V_3)/[V - (V_j + V_3)]. \quad (4.5)$$

4.2. Свойства горных пород

Особую роль при изучении геомеханических процессов в массиве горных пород играют их свойства, поскольку они во многом определяют способ вскрытия месторождения, систему разработки, средства механизации, параметры взрывных работ и непосредственно влияют на устойчивость подземных выработок и откосов на карьерах.

Свойство горной породы характеризует какую-либо ее качественную сторону и проявляется при воздействии на горную породу внешних полей, обусловленных природными явлениями или технологическими процессами. Свойства горной породы объективно отражают ее состояние, состав, строение и геологическую историю. Для количественной характеристики свойств горных пород (в зависимости от задач, выдвигаемых практикой) используются те или иные показатели.

4.2.1. Классификация свойства горных пород

Количественные характеристики свойств горных пород изучаются на основе их классификации, позволяющей систематизировать данную область знаний и выявить внутренние закономерные связи между классифицируемыми подразделениями.

Как известно, классификация непосредственно связана с двумя логическими операциями: делением объема понятия и классифицированием, т. е. упорядочением объектов по классам. Сложность создания классификации свойств горных пород обусловлена рядом обстоятельств:

- во-первых, природа свойств горных пород чрезвычайно сложна, а любая классификация в той или иной мере имеет формальный подход;

- во-вторых, в реальных условиях горная порода может находиться (и часто находится) под одновременным воздействием нескольких полей, а это, в свою очередь, может изменить те свойства пород, которые проявлялись при раздельном воздействии полей, и открыть качественно новые свойства;

- в третьих, совершенствование аппаратуры и методов изучения горных пород позволит получить дополнительные количественные характеристики их свойств, не учтенные в классификации.

В современной научно-технической литературе известен ряд классификаций свойств горных пород.

Ржевский В. В. и Новик Г. Я. делят физические свойства горных пород на плотностные, механические, акустические, гидравлические и газодинамические, термические, электромагнитные (в том числе, радиационные), технологические.

Турчанинов И. А. выделяет 5 классов свойств: плотностные (гравитационные, структурные), механические (прочностные, акустические, реологические, горнотехнические), тепловые (свойства состояния, константы фазового перехода), электромагнитные (электрические, магнитные), радиоактивные.

В инженерной геологии свойства пород разделяют на три класса: физико-химические (дисперсность, электропроводность пород и величина электрического заряда частиц, емкость обменного поглощения и состав обменных катионов), физические (удель-

ный и объемный веса, пористость, теплофизические свойства, водоудержание, влагоемкость, набухание и усадка, пластичность и липкость, проницаемость, плавунность и тиксотропия) и механические (деформационные и прочностные характеристики).

Протоdjаконов М. М. выделяет следующие классы свойств горных пород: механические, гидравлические, пневматические, тепловые, электрические и магнитные, химические, ядерные, технологические.

Ломтадзе В. Д. классифицирует физико-механические свойства горных пород на физические (удельный и объемный веса, пористость, влажность), водные (водоустойчивость, влагоемкость, капиллярность, водопроницаемость), механические (прочность, реологические и компрессионные свойства).

Сравнительный анализ этих классификаций позволил выявить следующие характерные недостатки:

- отсутствие ясно выраженного классификационного принципа для отнесения свойств пород в ту или иную группу;
- нечеткость в терминологии, заключающуюся главным образом в том, что свойство горной породы отождествляется в классификации с показателем, характеризующим данное свойство в количественном отношении.

В данном учебнике изложена классификация, разработанная Певзнером М. Е., позволяющая избежать недостатков, присущих ранее проанализированным классификациям. Построение этой классификации осуществлено по следующей схеме: тип свойств – класс свойств – свойство – показатель, характеризующий свойство в количественном отношении.

Основным классификационным признаком, на основании которого могут быть разделены свойства горных пород, является тип материального поля, воздействующего на горную породу. Термин «поле» обычно употребляется в физике для обозначения части пространства или всего пространства, в котором рассматривается некоторое физическое явление. Во всех случаях, когда речь идет о процессе, характеризующемся скалярной величиной (температура, давление и т. п.), поле называется скалярным. Если же изучаемый процесс характеризуется векторной величиной, то поле называется векторным. Вектор всегда можно рассматривать как силу, и потому векторное поле еще называется силовым.

Рассматривая реальные условия существования горных пород, под термином «*поле*» следует понимать часть пространства, внутри которого имеют место характерные изменения горной породы.

Выделяются поля двух типов и соответственно два типа свойств горных пород:

- химические, т. е. такие поля, при взаимодействии с которыми происходит химическое превращение горной породы. Свойства, которые у нее при этом проявляются, называются *химическими*;

- физические, т. е. такие поля, взаимодействуя с которыми, горная порода не претерпевает химического превращения. Свойства, которые при этом проявляются у горной породы, называются *физическими*.

Под химическим превращением горной породы понимается такое превращение, при котором в соответствии с особыми химическими закономерностями происходит изменение ее состава. Химическое превращение происходит на атомном (в нижнем пределе) уровне и осуществляется в процессе особых взаимодействий определенных структурных частиц вещества (атомы, молекулы, ионы, радикалы); химическое превращение сопровождается возникновением или перераспределением специфической химической связи.

К числу химических свойств горных пород относятся: способность к окислительно-восстановительным реакциям, растворимость, хемосорбция и др. Подробный анализ и классификация химических свойств горных пород не являются предметом настоящего учебника.

Физические свойства горных пород, проявляющиеся во взаимодействии с определенными физическими полями, могут быть разделены на 8 классов: *гравитационные*; *гидравлические*; *механические*; *акустические*; *тепловые*; *электрические*; *магнитные*; *радиационные*.

В свою очередь в каждом классе выделяются свойства, характеризующие различные аспекты взаимодействия горной породы с данным физическим полем.

В данном пособии кратко рассмотрены 7 вышеперечисленных классов физических свойств и более подробно проанализирован класс механических свойств.

К классу *гравитационных* свойств горных пород, проявляющихся при взаимодействии с гравитационным полем сил Земли, относятся вес и плотность.

Под *гидравлическими* свойствами горных пород понимается класс свойств, которые проявляются у горной породы при взаимодействии с движущимися или находящимися в состоянии относительного покоя жидкостями, парами и газами. К гидравлическим свойствам горных пород относятся: влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость, водоустойчивость, капиллярность, набухание, усадка, просадочность, липкость, смачиваемость, адсорбция и абсорбция.

Акустические свойства – свойства, которые проявляются у горной породы при прохождении через нее звуковых волн. В число акустических входят: акустическая проводимость и акустическое поглощение.

Тепловые свойства проявляются в горной породе при взаимодействии с тепловым полем. К числу тепловых свойств относятся теплопроводность, теплоемкость, тепловое расширение (сжатие), способность к фазовым превращениям.

Электрические свойства проявляются у горных пород при взаимодействии с электрическим полем. В число электрических свойств входят: электропроводность, электрическая прочность и поляризация.

Магнитные свойства проявляются у горной породы при взаимодействии с магнитным полем. К магнитным свойствам горных пород относятся магнитная восприимчивость и остаточная намагниченность.

В класс *радиационных* свойств входят свойства горных пород, проявляющиеся при взаимодействии с полем радиации: естественная радиоактивность и поглощающая способность.

4.2.2. Классификация механических свойств горных пород

Для изучения напряженно-деформированного состояния и происходящих в нем геомеханических процессов, а также для разработки эффективных методов управления ими важно знать механические свойства горных пород и особенно их прочность (табл. 4.2).

Упругость – способность горной породы восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры.

Пластичность – способность горной породы изменять форму без разрыва сплошности при силовом воздействии и сохранять эту форму при устранении действующих сил.

Компрессионная способность – способность горной породы к уменьшению объема при вертикальной нагрузке в условиях невозможности бокового расширения.

Хрупкость – способность горной породы к накоплению упругих деформаций и внезапному разрушению без заметной пластической деформации.

Ползучесть – способность горной породы длительно деформироваться во времени при постоянной нагрузке.

Прочность – способность горной породы сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

Твердость – способность горной породы оказывать сопротивление локальному воздействию.

Абразивность – способность горной породы к истиранию поверхности трущихся об нее предметов при механическом воздействии.

Тиксотропность – способность горных пород, содержащих коллоидные фракции, к обратимым переходам из твердого состояния в жидкое под воздействием динамической нагрузки при неизменной влажности и температуре.

Вязкость разрушения – свойство горной породы сопротивляться продвижению (развитию) в ней трещины.

Таблица 4.2

Классификация механических свойств горных пород

Механические свойства	Показатели, характеризующие механические свойства горных пород
Упругость	Модуль упругости Коэффициент Пуассона Модуль сдвига Коэффициент всестороннего сжатия
Пластичность	Коэффициент пластичности Степень пластичности Верхний предел пластичности Нижний предел пластичности
Компрессионная способность	Коэффициент уплотнения Модуль осадки Модуль полной деформации Коэффициент консолидации
Хрупкость	Коэффициент хрупкости
Ползучесть	Реологическое уравнение
Прочность	Предел прочности при одноосном сжатии Предел прочности при одноосном растяжении Угол внутреннего трения, сцепление Предел прочности при изгибе Коэффициент крепости Несущая способность
Твердость	Показатель статической твердости Показатель динамической твердости
Абразивность	Величина абразивности Относительная износостойкость породы Показатель абразивности Коэффициент абразивности
Тиксотропность	Величина чувствительности Предел структурной прочности
Вязкость разрушения	Коэффициент интенсивности напряжений Энергия деформации

4.3. Определение прочностных свойств горных пород

4.3.1. Определение прочности пород в лабораторных условиях

Отечественными и зарубежными учеными разработано большое число методик и приборов для изучения прочности горных пород в лабораторных и натурных условиях.

Комплексное определение пределов прочности при многократном раскалывании и сжатии. Это испытание проводится методом раздавливания и раскалывания. В настоящее время этот метод нашел широкое применение при испытании различных типов горных пород. Обоснование применения данного метода и оценка достоверности получаемых при этом результатов подробно изложены в работе Е. И. Ильницкой и др. [19].

Подготовка образцов осуществляется путем выпиливания пластин любой формы толщиной 2–3 см с двумя параллельными шлифованными поверхностями. Испытание образцов сводится к раскалыванию пластин соосными клиньями или цилиндрическими стержнями небольшого диаметра, оси которых перпендикулярны к направлению действующих усилий. Прикладываемая к образцу с двух сторон линейно сосредоточенная нагрузка приводит к его разрыву по поверхности контакта породы с клиньями или стержнями.

Предел прочности образца горной породы при раскалывании

$$\sigma_p = P_{max}/(2l), \quad (4.6)$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка при раскалывании, кгс; l – длина линии раскола, см.

Для обозначения физических величин и их единиц в учебнике использованы системы СГС и СИ ($1 \text{ кг} \approx 10 \text{ Н}$; $1 \text{ кгс/м}^2 = 10 \text{ Па}$; $1 \text{ кгс/см}^2 = 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа}$).

Предел прочности образца горной породы при сжатии:

$$\sigma_{сж} = P_{max}/F, \quad (4.7)$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка при сжатии, кгс; F – средняя площадь поперечного сечения образца породы, см^2 .

Метод испытаний образцов в косых матрицах. Сущность метода заключается в том, что отобранные и приготовленные из кернов образцы цилиндрической формы ($d = h$) взвешивают и измеряют. Затем образцы делят на две группы. Первую группу срезают под углом 60° , вторую – под углом 45° .

Нормальные и касательные напряжения при срезе вычисляются по формулам

$$\sigma_m = \frac{P}{S} \cdot \cos \alpha ; \quad \tau = \frac{P}{S} \cdot \sin \alpha , \quad (4.8)$$

где P – усилие при срезе, создаваемое прессом: кг; S – площадь среза, см^2 ; α – угол между направлением усилия и нормалью к плоскости среза, градус.

Дальнейшая обработка результатов заключается в следующем: по формулам (4.8) определяют среднеарифметические значения τ , σ для первой и второй групп образцов каждой изучаемой литологической разности. В системе координат τ , σ строят зависимость $\tau = f(\sigma)$, имеющую вид прямой и рассматриваемую как огибающую к предельным кругам напряжений на участке между радиус-векторами, наклоненными к оси абсцисс под углами 45° и 60° .

4.3.2. Определение прочности пород на сдвиг в натурных условиях помощью гидродомкрата

Прочность и устойчивость массива горных пород зависят от слоистости, сланцеватости, трещиноватости, тектонических нарушений и других ослаблений, связанных с образованием и условиями залегания этих отложений. Поэтому необходимо проводить испытания на сдвиг больших призм непосредственно в массиве горных пород, т. е. в условиях их естественного залегания.

Для натурных испытаний прочности горных пород применяют следующий комплект оборудования: гидродомкрат конструкции ВНИМИ, рабочая площадь поршня которого $F = 606 \text{ см}^2$ (рис. 4.1), пластины размером $40 \times 50 \text{ см}$ с упорами для фиксации гидродомкрата, ручной поршневой насос ГН–60.

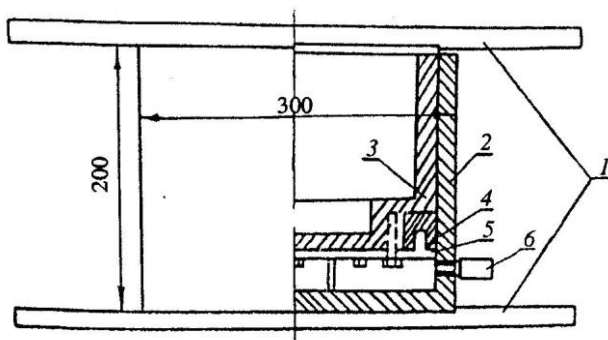


Рис. 4.1. Гидравлический домкрат ВНИМИ:
1 – плиты; 2 – внешний цилиндр; 3 – поршень; 4 – манжета;
5 – кольцо; 6 – штуцер

Гидродомкрат предварительно тарируется на прессе для определения коэффициента передачи давления t . Гидродомкрат с накладными плитами в сжатом виде вставляется в заранее подготовленную щель в массиве уступа, а пустоты между плитами и поверхностями щели забутовываются сухим мелким песком и кусками глины. При этом проводится замер всех элементов породной призмы (размеры граней, углы их наклона).

Затем в гидродомкрат с помощью насоса подается рабочая жидкость (веретенное масло). Увеличение давления на призму прослеживается по манометру, установленному на насосе. Опыт считается законченным, когда давление перестает возрастать или начинает падать. При этом обычно наблюдаются внешние признаки разрушения призмы. Далее гидродомкрат извлекается из щели и производится разборка срезанной призмы до обнажения поверхности среза. После разрушения призмы проводятся замеры ее элементов, структуры массива и отбираются пробы на влажность.

Натурные исследования следует проводить по двум схемам.

Схема А – схема косого среза, когда нормальные и касательные напряжения создаются одновременно одной нагрузкой, направленной под углом к плоскости сдвига (рис. 4.2).

Схема Б – схема плоского среза, когда касательные напряжения создаются нагрузкой, направленной параллельно плоскости среза (рис. 4.3).

По схеме А испытания проводятся непосредственно в уступе и на рабочей площадке, по схеме Б – только на площадке.

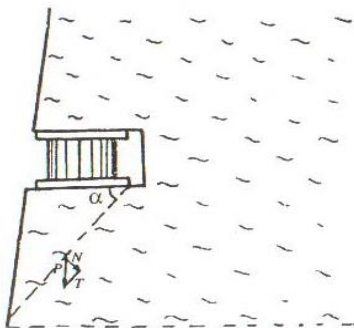


Рис. 4.2. Натурные испытания прочности пород по схеме А

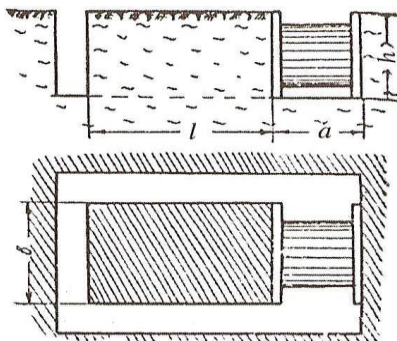


Рис. 4.3. Натурные испытания прочности пород по схеме Б

При проведении испытаний по схеме А рекомендуется определять усилие, передающееся на плоскость среза, по выражению

$$P = D \cdot F \cdot t + \Delta P, \quad (4.9)$$

где D – удельное давление жидкости в гидродомкрате, кг/см^2 ; F – площадь цилиндра гидродомкрата, см^2 ; t – коэффициент передачи давления (по результатам тарировки гидродомкрата); ΔP – поправка за счет веса призмы и гидродомкрата.

При определении сцепления k и угла внутреннего трения ρ по поверхности ослабления исходят из условия прочности

$$\tau = k + \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho. \quad (4.10)$$

4.3.3. Результаты определения прочностных свойств пород

Многочисленными исследованиями [7, 12, 18, 20, 21] установлено, что угол внутреннего трения ρ' по шероховатым поверхностям лишь на $1-3^\circ$ меньше, чем угол трения по плоским поверхностям породных контактов, полученный по лабораторным испытаниям, поэтому показатели лабораторных испытаний угла трения ρ' могут использоваться для расчета устойчивости массива, когда поверхность массива не совпадает со сплошными трещинами массива. Плотность пород γ с достаточной точностью определяется по кернам геологических скважин, поэтому в расчетах на устойчивость значения плотности для всех разновидностей горных пород принимались на основе лабораторных испытаний.

Однако многолетний опыт работы ВНИМИ по изучению сцепления в горном массиве и куске для крепких пород по поверхностям, не совпадающим с поверхностями ослабления, позволил установить эмпирическую зависимость между сцеплением в массиве, сохранившем сцепление по трещинам, и сцеплением в куске следующего вида:

$$k_M = k' + (k_0 - k') \cdot \lambda_0, \quad (4.11)$$

где k_0 – сцепление в образце, МПа; k' – сцепление по трещинам, МПа.

Так как сцепление по трещинам k' часто оказывается неисследованной величиной, его принимают равным нулю и выражение (4.11) запишется в виде

$$k_M = k_0 \cdot \lambda. \quad (4.12)$$

Коэффициент λ для различных литологических типов пород в зависимости от глубины залегания величины сцепления в монолите определяется по Г. Л. Фисенко.

На величину сцепления в массиве влияет интенсивность трещиноватости пород, размер и форма деформирующихся блоков. Величина сцепления в образцах отдельных разновидностей пород в несколько раз превышает сцепление в массиве, поэтому в полученные в лабораторных условиях значения сцепления твердых пород необходимо вводить так называемый коэффициент структурного ослабления λ , который определяется из выражения [7]:

$$\lambda = \frac{1}{1 + a \cdot 1n \frac{H}{l}}, \quad (4.13)$$

где H – глубина залегания пород, м; l – средний размер элементарного структурного блока, м; a – коэффициент, зависящий от прочности пород в монолитном образце и характера трещиноватости (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Значения коэффициента (a)
для скальных и полускальных пород

Наименование пород и характер трещиноватости	Величина сцепления в образце C , кг/см ²	Величина коэффициента a
Средней крепости слоистые, преимущественно нормально секущей трещиноватости.	100–150	3 4
	150–170	5
	170–200	
Крепкие, преимущественно нормальносекущие трещино- ватости	200–300	6
	300	7
Крепкие изверженные с развитой кососекущей трещиновато- стью	200	10

Сотрудниками ВНИМИ [7, 22, 23] разработана классификация горных пород по устойчивости в бортах карьеров, основанная на учете прочности пород в образце, характеристики и степени трещиноватости, выветриваемости (стойкости) и растворимости, склонность к разуплотнению и набуханию, а также к пластическим деформациям (ползучести). В этой классификации в зависимости от прочностных свойств все горные породы разделены на пять групп. При этом границей между крепкими и средней крепости породами принято $\sigma_{сжс}$ в образце, равном 80 МПа. Это объясняется тем, что если у пород $\sigma_{сжс} > 80$ МПа, то углы наклона бортов при их средней глубине 200–300 м зависят только от залегания элементов поверхностей ослабления и не зависят от прочности пород в образце. Границей между породами полускальными (средней прочности) и связанными глинистыми (слабыми) принято $\sigma_{сжс} = 8$ МПа из тех соображений в них напряжений и наличии подтока воды, и подвергаются пластическим деформациям при глубине карьеров более 200 м.

В табл. 4.4 приведены величины сцепления по поверхностям ослабления по Л. Г. Фисенко.

Таблица 4.4

Величины сцепления
по поверхностям ослабления

Поверхности ослабления	Величины сцепления k МПа
Поверхности скольжения по контактам слоев	0,02–0,05
Контакты слоев слаборассланцеванная	0,10–0,18
Сплошные трещины и тектонические нарушения	0,05–0,10

В табл. 4.5 приведены значения прочностных свойств горных пород ряда месторождений с учетом коэффициента структурного ослабления, установленного Л. Г. Фисенко.

Таблица 4.5

Прочностные свойства горных пород

№ п/п	Основные типы горных пород	Плот- ность, т/м ³	Прочност- ные харак- теристики в образцах		Прочност- ные харак- теристики в массиве		Кoeffиц. структурного ослабления по Г. Л. Фисенко
			K _о , МПа	ρ _о , град.	K _м , МПа	ρ _м , град	
Месторождение Коунрад							
1	Вторичный кварцит.	2,6	3,7	34	0,62	25	0,017
2	Гранодиорит- порф.	2,53	3,0	35	0,52	26	0,017
Месторождение Акжал							
1	Массивные известн.	2,68	2,8	31	0,51	23	0,017
2	Известняки скарнир.	2,66	3,0	31	0,51	23	0,017
3	Диорит- порфириты	2,7	3,6	30	0,62	22	0,017
4	Порфириты	2,7	4,0	30	0,68	22	0,017
5	Известняк	2,7	4,4	30	0,76	22	0,017
6	Известняк	2,7	5,3	30	0,90	22	0,017
Месторождение Саяк							
1	Туфоалевро- литы	2,7	6,6	31	0,66	23	0,01
2	Песчаники	2,7	3,4	33	0,34	26	0,01
3	Мрамор	2,7	4,11	31	0,41	23	0,01
4	Гранатовые скарны	2,9	6,3	32	0,63	24	0,01
5	Диориты кварцитов.	2,9	7,6	28	0,76	21	0,01
Месторождение Родниковое							
1	Риод. порфириты	2,7	6,82	34	0,68	27	0,01
2	Диоритовые порфи.	2,7	6,27	33	0,63	26	0,01
3	Андезит- порфир.	2,7	5,46	32	0,55	24	0,01

Механические свойства горных пород и руды месторождений бассейна Каратау (Чулактау, Аксай и Жанатас) изучались совместно с сотрудниками Государственного института горно-химического сырья (ГИГХСа). Результаты этих исследований сведены в табл. 4.6–4.8.

Таблица 4.6

Прочностные свойства
пород месторождения Чулактау

Показатели	Кремни	Фосфориты	Доломиты	Глинисто-крем. сланцы
Твердость по Шору	96,7	81	54	84
Коэффициент крепости f	10	10	8,7	6
Твердость по штампу кг/см ²	–	–		–
Условный предел текучести, кг/см ²	40	12,5	15,0	–
Коэффициент пластичности	1,5	4,1	2,8	1,5
Коэффициент Пуассона	0,20	0,25	0,18	0,15
Коэффициент уплотнения, %	11,8	28,5	20,6	10,1
Удельная работа разрушения, кг/см ²				

Таблица 4.7
Прочностные свойства пород месторождения Аксай

Показатели	Кремни	Фосфориты	Доломитизирон. известняк	Глинисто-кремнист. сланцы
Твердость по Шору	98	74	56	83,8
Коэффициент крепости f	7,8	7,5	9,8	7,5
Твердость по штампу кг/см ²	425	395	258	—
Условный предел текучести, кг/см ²	30,0	—	—	—
Коэффициент Пуассона	0,20	0,20	0,17	0,17
Коэффициент пластичности	1,6	5,2	2,6	1,0
Коэффициент уплотнения, %	11,7	31,8	21,3	10,1
Удельная работа разрушения, кг/ см ²	3,7	13,9	3,1	2,1

Таблица 4.8
Прочностные свойства пород месторождения Жанатас

Показатели	Кремни	Глинисто-кремнистые сланцы	Фосфориты	Доломиты	Кремн. фосфориты
Твердость по Шору	104	88	44	56	70
Коэффициент крепости f	6,9	7,8	6,1	6,4	5,4
Твердость по штампу, кг/см ²	485	1040	—	275	420
Условный предел текучести, кг/см ²	410	—	—	140	110
Коэффициент пластичности	1,3	1,8	—	2,0	2,4
Коэффициент Пуассона	0,24	0,13	0,17	0,20	0,16
Коэффициент уплотнения, %	9,1	8,2	21	20,1	20,0
Удельная работа разрушения, кг/ см ²	3,0	16,4	—	7,1	35,0

4.4. Взаимосвязь между свойствами пород и глубиной их залегания

Лабораторный способ определения свойств горных пород, а тем более натурные испытания в производственных условиях весьма трудоемки. Многолетними исследованиями установлено, что для приближенной оценки некоторых свойств горных пород можно воспользоваться величиной $\sigma_{сж.}$, которая в сравнении с другими параметрами определяется более просто.

Используя методику ранее проводимых исследований по месторождениям Центрального Казахстана, проведены исследования по месторождениям бассейна Каратау и сравнения результатов с Акбаксайским месторождением. Анализ изучения физико-механических свойств пород исследуемых месторождений показывает, что прочностные свойства пород с глубиной горных работ заметно меняются (табл. 4.9) Получены графоаналитические зависимости структурных особенностей и прочностных свойств пород от глубины их залегания.

Таблица 4.9
Физико-механические свойства горных пород в образце
месторождения Акжал

Глубина отбора проб, м	Наименование породы	Прочность при одноосном сжатии $\sigma_{сж.}$ МПа	Прочность при одноосном растяжении $\sigma_{р.}$ МПа	Плотность γ , 10^3 кг/м^3	Сцепление в куске Q МПа	Угол внутреннего трения ρ град.	Крепость пород f
1	2	3	4	5	6	7	8
50,1–51,8	Известняк	110	13,0	2,66	25	32	8,0
52,6–53,0	Известняк	112	13,6	2,66	27	31	8,1

Продолжение табл. 4.9

Глубина отбора проб, м	Наименование породы	Прочность при одноосном сжатии $\sigma_{\text{ж}}$, МПа	Прочность при одноосном растяжен. $\sigma_{\text{р}}$, МПа	Плотность γ , 103 кг/м ³	Сцепление в куске К, МПа	Угол внутреннего трения ρ , град.	Крепость пород f
83,5–84,0	Известняк	125	14,0	2,67	28	32	8,3
112,0–113,0	Известняк	126	14,3	2,68	32	31	8,6
152,6–153,0	Известняк	139	14,5	2,71	34	31	9,2
170,0–170,8	Известняк	140	14,8	2,72	34	29	9,5
218,1–218,6	Известняк	140	14,8	2,73	35	31	9,6
53,1–54,0	Диорит	137	16,0	2,62	36	31	7,6
53,6–54,0	Диорит	138	16,0	2,62	36	30	7,6
115,0–115,6	Диорит	160	16,8	2,65	42	30	8,2
155,0–156,0	Диорит	170	16,0	2,67	46	30	8,8
200,0–201,5	Диорит	171	16,2	2,69	48	30	9,0

Анализ данных показывает, что две разновидности пород месторождения имеют средние сопротивления одноосному сжатию от 100 до 170 МПа, а при растяжении от 13 до 16 МПа. Причем прочность их с глубиной заметно меняется.

Плотность пород определена на 90 образцах, крепость на 50, сопротивление пород на одноосное сжатие и разрыв – на 170, сцепление – на 30 и т. д. Модель упругости с глубиной изменяется в 2,7 раза, а коэффициент Пуассона с 0,21 до 0,31.

С целью отыскания общих закономерностей изменчивости прочностных свойств пород в массиве методом математической статистики и корреляционного анализа обобщены данные свойств пород по месторождениям бассейна Каратау (табл. 4.10). Исследованиями установлено, что существует устойчивая связь между средней плотностью, крепостью, сцеплением, сопротивлением и глубиной их залегания, т. е. γ , f , c , $\sigma_{\text{сж}} = f(H)$.

Взаимосвязи физико-механических свойств пород друг с другом, а также с глубиной их залегания приведены на рис. 4.4.

Кривые изменения свойств пород проведены по усредненным групповым показателям по интервалам глубины через 50 м. Их средние значения найдены по опытным данным, в отдельных случаях из 25–30 испытаний по интервалу.

Таблица 4.10

Уравнение связей свойств доломитов месторождения
Чулактау с глубиной их залегания

Свойство пород	Уравнение связей	Коэффициент корреляции	Пределы Н
Сцепление, К, МПа	$K=28,1+1,8H-0,05H^2$	$r=0,82$	$225>H>25$
Крепость пород	$f=85,0+0,04H-0,01H^2$	$r=0,67$	$175>H>25$
Плотность г/см ³	$\gamma=2,35+0,06H-0,002H^2$	$r=0,69$	$175>H>25$
Сопротивление на сжатие	$\sigma_{сж.}=80,93+7,95H-0,18H^2$	$r=0,68$	$225>H>25$

Оценка и надежность определения зависимостей произведены по формулам математической статистики:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (4.14)$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad \%, \quad (4.15)$$

$$m_v = \frac{V \cdot \sqrt{0,5 + \left(\frac{V}{100}\right)}}{\sqrt{n}}, \quad (4.16)$$

где σ – стандарт; x_i – значение признака; $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение признака; n – число наблюдений; V – коэффициента вариации; m_v – надежность вычисления коэффициента вариации.

Если соблюдается условие $3m_v < V$, то результаты можно считать надежными, и число исходных данных для определения статистических средних достаточным.

Полученные графоаналитические зависимости позволяют дать качественную и количественную оценку изменения свойств горных пород. Между показателями существует устойчивая связь. При известных одних показателях представляется возможным, используя графики, определить другие, тем самым открываются пути прогнозирования свойств горных пород по месторождениям. Исходными данными для этого являются наименования пород, глубина их залегания и отдельные характеристики, как например, плотность пород и другие, для определения которых не требуется трудоемких лабораторных исследований.

Полученные эмпирические кривые свойств пород описываются уравнением общего вида

$$y = \pm a \pm bx \pm cx^2. \quad (4.17)$$

Такое обобщающее уравнение позволяет получить приближенные эмпирические формулы парных связей. Отклонение расчетных кривых от эмпирических колеблется в пределах 5–8%, а в большинстве своем кривые совпадают друг с другом.

Обобщающая единая формула свойств пород по месторождениям с коэффициентами уравнений a , b , g и т. д. позволяет частные уравнения представить в виде отдельных таблиц. Ниже приводятся формулы общего вида, коэффициенты частных уравнений, их знаки и пределы пользования формулами для определения физико-механических характеристик по Акжалскому карьере.

Изменение средней плотности пород γ с глубиной их залегания H характеризуется уравнением

$$y = \pm a \pm H \pm H, (4.18)$$

где H – глубина залегания пород, десятки м.

Значения входящих в формулу коэффициентов, их знаки и пределы пользования указанной зависимостью приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Коэффициенты уравнений связи плотности $\gamma = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$g10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+2,35	+0,06	- 0,002	$200 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,56	+0,02	-0,0004	$250 \geq H \geq 25$
По месторождению Аксай				
Доломиты	2,62	+0,02	-0,0005	22525
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,5	+0,038	-0,001	$200 \geq H \geq 25$
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+2,5	+0,05	-0,002	$175 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,75	+0,006	-0,0001	$250 \geq H \geq 25$

Изменение сцепления K с глубиной залегания пород H характеризуется уравнением

$$K = \pm a \pm bH + gH^2. \quad (4.19)$$

Численные значения входящих в формулу коэффициентов, их знаки и пределы приведены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Коэффициенты уравнений связи сцепления $K = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$g10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+28,1	+9,5	- 0,05	$225 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+23,7	+2,6	-0,06	$225 \geq H \geq 25$
По месторождению Аксай				
Доломиты	10,5	3,0	-0,068	$175 \geq H \geq 25$

Продолжение табл. 4.12

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$g10^3$	
По месторождению Чулактау				
Кремнисто-глинистые сланцы	21,2	1,9	-0,057	$20 \geq Н \geq 25$
По месторождению Жанатас				
Доломиты	23,5	1,2	-0,007	$250 \geq Н \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	30,0	2,0	-0,05	$250 \geq Н \geq 25$

Изменение сопротивления пород на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$. В зависимости от глубины их залегания Н характеризуется уравнением

$$\sigma_{сж} = \pm a \pm bH \pm gH^2. \quad (4.20)$$

Численное значение входящих в формулу коэффициентов, их знаки приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.13
Коэффициенты уравнений связи $\sigma_{сж.} = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$c10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+85,93	+7,95	- 0,18	$200 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+87,32	+9,62	-0,28	$250 \geq H \geq 25$
По месторождению Аксай				
Доломиты	+85,0	+10,0	-0,24	$250 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+90,0	+6,78	-0,20	$200 \geq H \geq 25$
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+73,43	+3,75	-0,02	$250 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+20,28	+5,88	-0,15	$225 \geq H \geq 25$

Связь крепости пород f с глубиной их залегания характеризуется уравнением

$$f = \pm a \pm bH \pm cH^2. \quad (4.21)$$

Численное значение входящих в формулу (1.21) коэффициентов, их знаки и пределы приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Коэффициенты уравнений связи плотности $f = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$c10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+85,03	+0,4	- 0,01	$175 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	9,32	+0,28	- 0,02	$200 \geq H \geq 25$
По месторождению Аксай				
Доломиты	+5,2	+0,42	- 0,008	$200 \geq H \geq 50$
Кремнисто-глинистые сланцы	+3,8	+0,2	-0,002	$175 \geq H \geq 25$
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+6,3	+0,25	0	$175 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+5,0	+0,32	-0,009	$200 \geq H \geq 25$

Результаты исследований показали, что углы внутреннего трения с глубиной не меняются.

Между сцеплением и сопротивлением пород на одноосное сжатие stanovлена следующая связь

$$K = a \cdot \sigma_{сж}. \quad (4.22)$$

Средние значения коэффициента a для различных пород приведены в табл. 4.15.

Связь между плотностью и коэффициентом крепости выражается следующей формулой:

$$\gamma = \pm 2,52 + 0,04 f, \quad (4.23)$$

Лабораторный способ определения свойств горных пород, а тем более натурные испытания в производственных условиях весьма трудоемки. Нашими исследованиями установлено, что приближенной оценки некоторых свойств горных пород можно воспользоваться величиной $\sigma_{сж}$ или γ , которые в сравнении с другими параметрами определяются более просто.

Таблица 4.15

Коэффициенты связи k и $\sigma_{сж}$

Месторождения	Горные породы	Ср. значения коэффициентов
Чулактау	Доломиты	0,32
	Кремнисто-глинистые	0,28
	Сланцы Кремни	0,29
Акса́й	Доломиты	0,30
	Кремнисто-глинистые	0,29
	сланцы Кремни	0,25
	Известняки	0,27
Жанатас	Доломиты	0,32
	Кремнисто-глинистые	0,30
	сланцы Кремни	0,30

Коэффициенты структурного ослабления пород для практического использования определялись по формуле, значения которых приведены в табл. 4.16.

$$\lambda = \frac{k_M}{k_{обр}}. \quad (4.24)$$

Таблица 4.16

Коэффициенты структурного ослабления породного массива бассейна Каратау

Породы	Ср. значения коэффициентов	Условия определения
Доломиты	0,026	Массовая съемка трещин
Кремнисто-глинистые сланцы	0,019	Съемка обрушенных площадок
Мраморизованные известняки	0,060	Проведение испытаний пород перпендикулярно напластованию
Кремни	0,020	Съемка структурных особенностей породного массива

Кроме месторождений бассейна Каратау, также исследования были проведены на руднике Акбакай и получены устойчивые взаимосвязи между свойствами пород и их глубиной залегания. Для сравнения результатов, полученных на исследуемом объекте с данными других рудников, составлен совмещенный график взаимосвязи свойств пород (рис. 4.4).

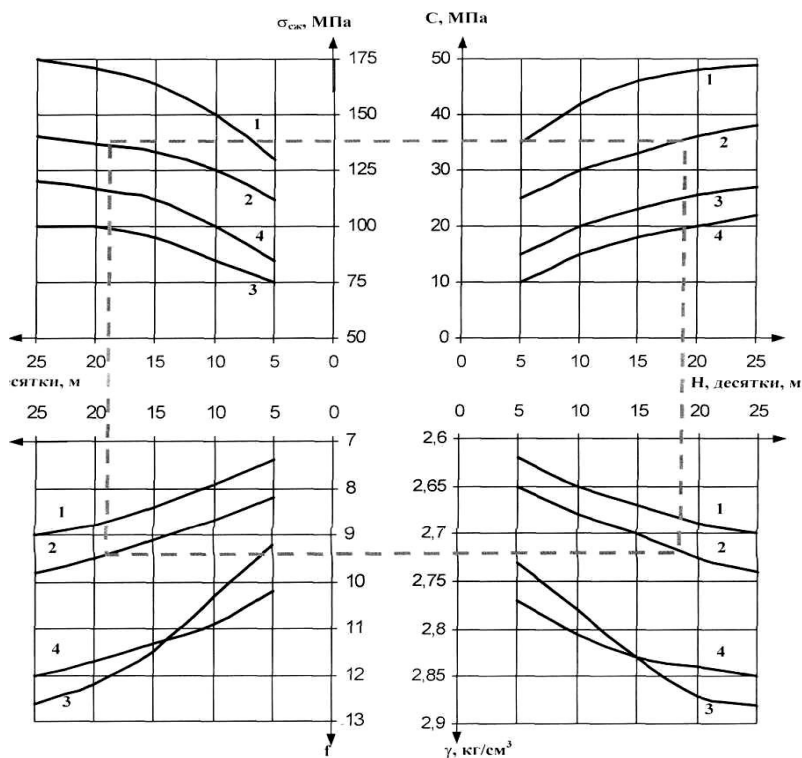


Рис. 4.4. Взаимосвязи между свойствами пород и глубиной их залегания:

- 1 – Чулактауское месторождение (доломиты);
- 2 – Аксайское месторождение (сланцы);
- 3 – Аксайское месторождение (доломитизированные известняки);
- 4 – Акбакайское месторождение (диориты)

Таким образом, методы математической статистики и корреляционного анализа дали возможность обобщить данные физико-механических свойств пород по некоторым месторождениям бассейна Каратау.

Разработана единая математическая система, получены обобщающие графоаналитические зависимости между свойствами горных пород и глубиной их залегания в недрах. Обоснована возможность прогнозирования свойств горных пород на исследуемых месторождениях, т. е. можно определить: предел прочности $\sigma_{сж}$; сцепление C ; плотность γ и крепость пород по шкале М. М. Протоdjяконова.

Эти характеристики будут использованы при решении ряда технических задач на карьерах и подземных рудниках: при оценке устойчивости уступов и бортов карьеров: расчетных целиков и предельных потолочин, для обобщения результатов инструментальных наблюдений и уяснения физической стороны процесса сдвижения.

4.5. Паспорт прочности горной породы

Определение устойчивых углов наклона бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия, согласно которой прочность горной породы характеризуется некоторой кривой (рис. 4.5, а), построенной координатах τ , $\sigma_{нор}$ (касательное и нормальное напряжения).

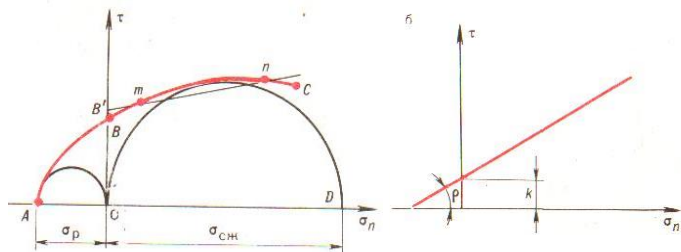


Рис. 4.5а – кривлинейные и б – прямолинейные огибающие

Кривая ABC определяет собой предельное состояние горной породы в образце. Отрезок OB', отсекаемый кривой на оси τ , определяет величину сцепления, угол наклона к оси – $\sigma_{\text{нор}}$ отрезка прямой mn , заменяющий на некотором интервале кривую ABC, называется *углом внутреннего трения*, а тангенс этого угла – *коэффициент внутреннего трения*. Здесь OA = σ_p выражает временное сопротивление породы растяжению, а отрезок OD = $\sigma_{\text{сж}}$ численно равен временному сопротивлению породы сжатию.

Общий вид уравнения кривой предельного равновесия $\tau = f(\sigma_{\text{нор}})$, однако в зависимости от типа горных пород (рис. 4.5, б).

Уравнение Кулона – это линейное уравнение

$$\tau = k + \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho, \quad (4.25)$$

где τ – касательное напряжение по площадке сдвига, МПа;
 σ – нормальное напряжение по площадке сдвига, МПа;
 k – коэффициент сцепления пород, МПа; ρ – угол внутреннего трения, градус.

Эту формулу можно представить в следующем виде:

$$\tau = \tau_1 + k; \quad \tau_1 = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho. \quad (4.26)$$

Далее сцепление можно рассматривать как одну из двух систем скольжения, которые по направлению совпадают с направлением вертикальной оси, на которую проектируется другая система. Таким образом, выражение Кулона представляет собой уравнение линий двух сопряженных систем трещин скольжения.

Огибающие кривые предельных кругов Мора обычно рассматривают в виде кривых особого вида или второго порядка: гиперболы, параболы, эллипса, циклоиды. При описании же прочности горных пород нельзя ограничиться каким-либо одним типом огибающей. Это объясняется, во-первых, разнообразием показателей прочности горных пород, а во-вторых, большим числом геомеханических задач, которые приходится решать в современном недропользовании. В одних задачах может потребоваться более точное описание механических свойств в области, близкой к растяжению, а в других – поведения пород

при их сжатии. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо подбирать уравнение огибающей, которое бы наиболее точно описывало поведение породы в условиях данной конкретной геомеханической задачи.

Построение паспорта прочности горной породы.

Паспорт прочности горной породы – совокупность показателей, характеризующих прочность горной породы, рассматриваемых в качестве критерия ее поведения под воздействием механических нагрузок. Паспорт прочности составляется по результатам испытаний образцов и позволяет оценить условия разрушения пород как в одноосном, так и в плоском и объемном напряженных состояниях.

Для изучения грунтов и горных пород используются теории прочности Мора, Губера-Мизеса, Сен-Венана и др.

Например, в соответствии с теорией прочности Губера-Мизеса потеря прочности горной породы наступает тогда, когда в ней накопится необходимое для данного материала количество удельной энергии формоизменения. Но наибольшее распространение в практических расчетах получила теория Мора. По этой теории нарушение прочности материала происходит, когда касательное напряжение τ в плоскости скольжения увеличится до определенной величины, зависящей, вообще говоря, от величины действующего по тем же плоскостям нормального напряжения σ .

Иными словами, напряжение τ должно быть функцией от σ , т. е. $\tau = f(\sigma)$, допускающей в плоскости τ, σ представление в виде кривой – геометрического места точек $P(\tau, \sigma)$, фиксирующих предельные значения обеих составляющих напряжения в плоскостях скольжения для различных напряженных состояний σ_1, σ_2 и σ_3 материала.

Функция $\tau = f(\sigma)$, являясь монотонной кривой, может быть выражена уравнениями циклоиды, параболы, гиперболы, комбинацией циклоиды с прямой. Таким образом, паспорт прочности представляет собой график, на котором отражена функциональная зависимость между касательным и нормальным напряжениями. Построение паспорта прочности может быть осуществлено различными способами в зависимости от вида испытаний горных пород на прочность.

Наиболее простой из них заключается в следующем. На горизонтальной оси откладывают от 0 влево значение предела прочности на одноосное растяжение σ_p , а вправо – значение предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$. Для одноосного растяжения круг напряжений пройдет через начало координат, так как в этом случае σ_2 равно пределу прочности при растяжении, а $\sigma_1 = 0$, так как нормальное и касательное напряжения отсутствуют по площадкам, параллельным оси x (рис. 4.6). При одноосном сжатии получим круг 2 в силу того, что в этом случае σ_1 равно пределу прочности на сжатие, а $\sigma_2 = 0$, так как нагрузка по боковым граням отсутствует.

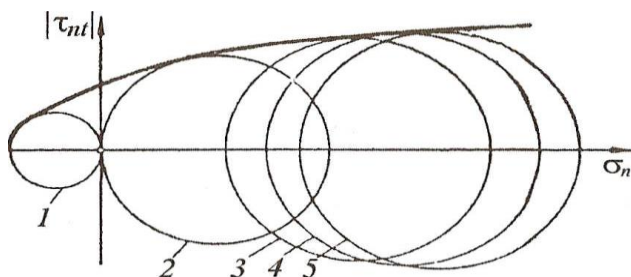


Рис. 4.6. Предельные круги напряжений:
 1 – при одноосном растяжении; 2 – при одноосном сжатии;
 3, 4, 5 – при двухосном сжатии

Из экспериментов по двухосному нагружению можно получить серию сколь угодно близких один к другому кругов, расположенных в очень большом диапазоне. Центр каждого такого круга будет лежать на расстоянии $1/2 (\sigma_1 + \sigma_2)$, а его радиус будет $1/2 (\sigma_1 + \sigma_2)$.

Постепенно меняя абсолютные значения σ_1 и σ_2 и их отношение, в принципе возможно построить большое количество близких друг к другу кругов (круги 3, 4, 5 на рис. 4.6). Эти круги принято называть *предельными кругами напряжения*. Можно считать доказанным, что данная система предельных кругов напряжения имеет некоторую огибающую, т. е. линию, которой каждый из таких кругов касается, но не пересекает ее. Эту огибающую называют предельной кривой разрушения. Изложен-

ный выше способ описания прочностных характеристик горных пород принадлежит Отто Мору.

В определенных границах напряжений зависимость $\tau = f(\sigma)$ может быть аппроксимирована прямой $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + k$ (рис. 4.7).

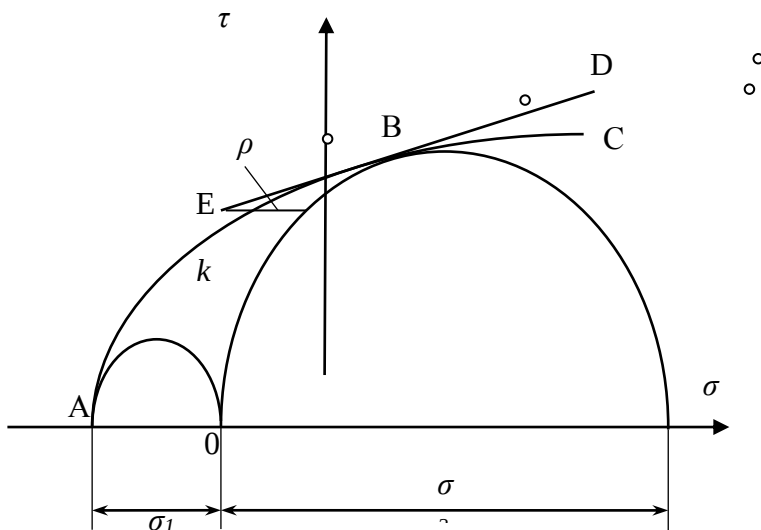


Рис. 4.7. Паспорт прочности горной породы

Величины сцепления и угла внутреннего трения породы на паспорте прочности определяются следующим образом. Из центра круга сжатия про водится радиус в точку касания круга и его огибающей. Угол между этим радиусом и перпендикуляром, восстановленным из центра круга к оси абсцисс, будет равен углу внутреннего трения пород ρ .

Различают три пары прочностных характеристик ρ и k :

1. Угол внутреннего трения ρ и сцепление пород в образце k .
2. Угол внутреннего трения ρ' и сцепление пород по поверхности ослабления k' .

3. Угол внутреннего трения ρ'' и сцепление пород в массиве k'' , когда поверхность обрушения откоса не совпадает с поверхностью ослабления.

Все эти случаи могут иметь место как в одной, так и в разных геомеханических задачах.

Контрольные вопросы:

1. Что такое напряженно-деформационное состояние горных пород?
2. Что такое нормальное напряжение?
3. Что такое касательное напряжение?
4. Виды деформации.
5. Теории прочности, применяемые в геомеханике.
6. Что такое предельное равновесие горных пород?
7. Что такое паспорт прочности и как он строится?
8. Что такое сцепление горных пород?
9. Что такое угол внутреннего трения?
10. Что такое коэффициент трения?

5. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

5.1. Структурно-тектонические особенности массива горных пород

5.1.1. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений

В настоящее время для специалистов горнорудной промышленности становится все более ясным, что решение таких вопросов, как давление и сдвигение горных пород под влиянием подземных разработок, устойчивость бортов карьеров, немыслимо без учета структурных особенностей массива. Структурные особенности массива – один из важнейших факторов, определяющих геомеханический процесс.

В настоящее время большой и все возрастающий интерес проявляют исследователи сдвигения горных пород рудных месторождений к изучению трещинной тектоники. Группа ученых, возглавляемая проф. Рыжовым П. А. и членом-корр. НАН РК Машановым А. Ж., впервые обратила внимание на важность изучения трещиноватости для сдвигения горных пород и внесла существенный вклад в этом направлении. Большую работу в этой области провели Казахстанские ученые: Машанов А. Ж., Ержанов Ж. С., Попов И. И., Окатов Р. П. и др.

Наряду с казахстанскими учеными большую работу, связанную с трещинной тектоникой, проделали и московские ученые на рудниках Казахстана: Рыжов П. А., Борщ-Компонице В. Д., Певзнер М. Е., Попов В. Н. и др. Основным достоинством упомянутых работ является то, что в них очень остро и весьма своевременно был поставлен вопрос об учете трещиноватости при деформации горных пород.

Изучение геомеханических процессов, происходящих в недрах земли, выходит за географические пределы одного месторождения и требует соответствующих обобщений, выявления закономерностей и параметров процесса сдвигения породных массивов аналогичных по геологической и тектонической структуре месторождений бассейна или региона. Поэтому на начальном этапе важнейшей задачей явилось установление для

пород массива основных геомеханических закономерностей и их связи со структурами месторождений и крупными тектоническими разрывами, в пределах которых размещены изучаемые месторождения.

Структура и тектоника месторождения являются важнейшими показателями залежи и вмещающих ее пород. Они характеризуют форму залежей и условия их залегания. Массив горных пород характеризуется разнообразными видами структурных элементов, среди которых выделяют *трещинную тектонику* (первичные структуры осадочных пород, складчатые структуры, структуры смещения и трещиноватость).

Первичная структура осадочных пород характеризуется сложностью. Плоскости напластования слоев послужили тем ослабляющим элементом, по которому происходили различные смещения при тектонических процессах.

К образованию *складчатых структур* приводят как глубинные, так и поверхностные процессы. Возникающие при пластических деформациях формы и размеры изгибов горных пород зависят от многих условий, среди которых основное влияние оказывают механические свойства пород, характер напряжений в породах, возникающих под влиянием действующих нагрузок.

В зависимости от характера направления действующих нагрузок могут образоваться складки трех типов: продольного изгиба, поперечного изгиба и течения. В зависимости от геологической обстановки, в которой действуют силы, складчатость делится на эндогенную и экзогенную.

Широко распространенной формой залегания горных пород являются *разрывные структуры*. Смещение представляет собой деформацию разрывов. Разрывы проявляются в форме дизъюнктивов и трещиноватости. Разрывы в горных породах делятся на две большие группы. К первой относятся трещины, представляющие собой разрывы, перемещения по которым имеют очень незначительную величину. Ко второй группе относятся разрывы с заметными перемещениями пород, разъединяемых разрывами. Разрывы без перемещения (трещины) присущи всем видам структур, и распространены они повсеместно. Совокупность таких разрывов, разбивающих массив горных пород, носит название *трещиноватости*.

Далее будут изложены тектонические особенности горных пород на примере месторождений фосфоритоносного бассейна Каратау [18, 20].

В бассейне Каратау насчитывается более 40 отдельных месторождений. Они отличаются небольшой мощностью, имеют форму узкой полосы длиной 5–40 км, со скально-трещиноватыми вмещающими породами (рис. 5.1).

Из рисунка видно, что месторождения бассейна Каратау разделены между собой крупными разломами, имеющую длительную историю развития и влиявшими на осадконакопление. Формирование тектонических элементов, прослеживаемых в пределах рудных полей и месторождений, находится в тесной связи с указанными разрывными нарушениями и складчатыми формами. Как во времени, так и в пространстве размещение рудных полей непосредственно связано с геомеханическими процессами, которые испытал регион под действием тектонических сил. Именно на участках, где имело место максимальная разрядка напряжений, появились явно выраженные тектонические деформации, приведшие к возникновению разного рода разрывных нарушений.

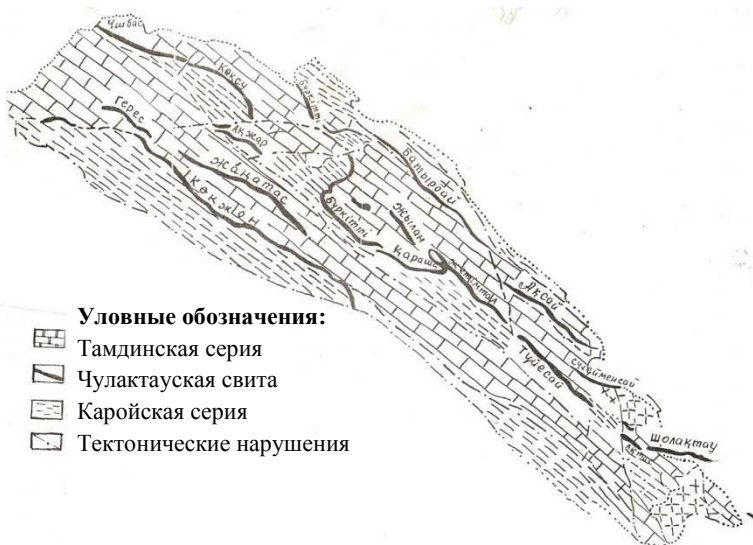


Рис. 5.1. Геологическая схематическая карта фосфоритовых месторождений бассейна Каратау

Таким образом, формирование структуры рудных месторождений и полей непосредственно связано с тектоническими процессами, которые испытала та или иная горноскладчатая область. Естественно, что эти процессы отразились не только на характере тектонической структуры месторождений, но и на их напряженно-деформированном состоянии геомеханической структуре в целом.

Под геомеханической структурой месторождения мы понимаем совокупность природных геомеханических факторов, оказывающих существенное влияние на проявление сдвижения и горного давления при отработке рудных тел. Элементами геомеханической структурой являются:

1. Глубина залегания месторождения.
2. Угол падения рудного тела.
3. Мощность рудного тела.
4. Морфология рудного тела.
5. Механические свойства руды и вмещающих пород.
6. Тектоническая нарушенность.
7. Трещиноватость пород и руд.
8. Естественное напряженное состояние массива горных пород.

Исследуемые месторождений бассейна Каратау и Акжалское месторождение представлены достаточно крепкими породами и в результате процессов складкообразования оказались разбитыми большим количеством нарушений различной ориентации. Среди этих нарушений выделены следующие три тектонических элемента: 1. Трещины кливажа.

II. Продольно-диагональные внутрипластовые перемещения.

III. Сбросы меридионального направления (крутопадающий разрыв).

Теперь рассмотрим подробнее каждый из этих элементов.

1. **Мелкая трещиноватость (кливаж)** проявляется довольно интенсивно во всех горизонтах продуктивной толщи, а также породах каройской и тамдинской серий, т.е. в кремнистых сланцах висячего бока и известняках лежачего бока (рис. 5.2). Отличительной чертой трещин кливажа является отсутствие по ним перемещений.

Формы структурных блоков для различных пород отличаются между собой, размеры которых изменяются от 2х3 см до 15–20 см и имеют форму небольших плиточек или параллелепипед.



Рис. 5.2. Мелкая трещиноватость

II. *Продольные нарушения* (рис.5.3) срезают фосфоритовую пачку, и в результате чего в некоторых блоках мощность пачки уменьшается 0,5 м. На некоторых участках рудное тело сдвинуто, и в результате чего мощность достигает до 20–25 м. Вследствие этого на рудниках «Молодежный» и «Акса́й» часто встречаются безрудные участки.



Рис. 5.3. Продольно-диагональные внутрипластовые нарушения

Азимут простираения близок к напластованию пород, $A = 270\text{--}290^\circ$. Этот вид нарушения представляет особый интерес. Вследствие крутого падения ($\delta = 60\text{--}85^\circ$), они будут способствовать сдвигению массива по плоскостям напластования.

III. Сбросы меридионального направления (крутопадающие поперечные разрывы) ориентированы вкрест простираения пород (рис. 5.4). Азимут простираения сбросов СЗ: $330\text{--}350^\circ$ и СВ: $15\text{--}25^\circ$ под углами падения пород $70\text{--}85^\circ$. Расстояния между поперечными нарушениями изменяется от 40 до 140 м, причем эти нарушения, как правило, служат границами очистных блоков. Длина очистных блоков соответствует расстоянию между нарушениями, обычно составляют 60, 90, 130 м.



Рис. 5.4. Сбросы меридионального направления

Из-за указанных тектонических нарушений рудное тело имеет весьма сложное строение, что отрицательно сказывается на потерях и разубоживании руды и усложняют отработку месторождений.

Анализ накопленных материалов по изучению форм и характера тектонических нарушений породного массива позволило выделить основные типы нарушений и сделать предварительные выводы о роли влияния каждого из них на геомеханические процессы (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Сводная таблица характеристик структуры
месторождений бассейна Каратау

Группы	Тип нарушений	Породы, в которых проявляются нарушения	Элементы залегания		Структурные блоки		Влияние на процесс сдвижения
			Азимуты простирания	Углы падения	Линейные размеры	Формы	
	Характеристика продуктивного пласта	Состоит из 3-х пачек: фосфоритовая, фосфато-кремневая, верхняя фосфоритовая	270–285° 88° 115–120°	77–90° 7° 0–90°	–	–	–
I	Трещины кливажа	1. Основной фосфоритовый пласт 2. Сланцы 3. Нижние доломиты 4. Кремнистые сланцы 5. Известняки	160–190° 185–188° 160–190° 165–185° 175–188°	55–85° 80–85° 60–80° 60–80° 70–80°	15x20; 20x30; 30x50 см 20x50, 50x70 от 4x5 до 15x20 от 2x3 до 15x20 1x5 м	Мелко-плитчатые, параллель-эпициальные блоки Тонко-плитчатые Крупноплитчатые	Будет способствовать дроблению массивов в процессе сдвижения и обусловит большую усадку подработанных пород
II	Продольно-диагональные внутрипластовые перемещения	Вся толща пород от кремнистых сланцев до известняков бока, лежащего включая рудный пласт	Азимут простирания близок к Пластован.	60–85°	Протяженность плоскостей перемещений от 1 м до 15 м	Крупные блоки	Вследствие крутого падения будут способствовать сдвижению массива по плоскости напластования
III	Сбросы меридионального направления	Вся толща нарушается от тамлинских известняков до нижних доломитов	330–350° 15–25°	70–89°	Расстояния между сбросами изменяется от 4 до 140 м		Нарушения этого типа окажут влияние, если попадут в зону сдвижения

Так как к важнейшей геомеханической характеристике скальных массивов относится степень трещиноватости, то особое внимание было уделено изучению тектонических элементов первой группы – мелкой трещиноватости.

5.1.2. Структурные особенности горного массива

К важнейшей геомеханической характеристике скальных массивов относится степень их трещиноватости. Сведения об условиях трещиноватости пород являются необходимыми исходными данными для определения коэффициентов структурного ослабления массива, входящих в расчетные формулы для оценки устойчивости уступов и бортов карьеров.

Трещиноватость оценивается количественно и качественно. Количественная оценка трещин в горных породах – ширина, длина, ориентировка, интенсивность трещин. Качественная характеристика трещинам дается по виду заполнителя, форме поверхностей стенок, составу пород, вмещающую трещину.

По степени проявления трещины делятся на скрытые, закрытые и открытые.

Скрытые трещины не видны невооруженным глазом и проявляются лишь при раскалывании образцов горных пород или их окрашивании. Закрытые трещины легко обнаруживаются в массиве невооруженным глазом, а для открытых трещин характерна хорошая видимая полость. Трещины также подразделяются: по протяженности, по элементам залегания, по форме и т. д.

За последние 40 лет опубликованы монографии и множество статей, посвященных геологическому изучению трещиноватости и техническим приложениям. За это время оформились научные школы и направления в изучении трещиноватости горных пород.

На основе многолетних исследований по изучению трещиноватости горных пород на рудных месторождениях Казахстана, для того чтобы описывать и называть трещиноватость в процессе их изучения, возникла необходимость их систематизации или классификации. Очевидно, в основу такой классификации необходимо положить какой-нибудь характерный признак или принцип, позволяющий расположить рассматриваемые формы

трещин в определенном порядке. Классификацию трещин, развитых в горных породах, проводят либо по условиям их образования, либо по ряду геометрических признаков.

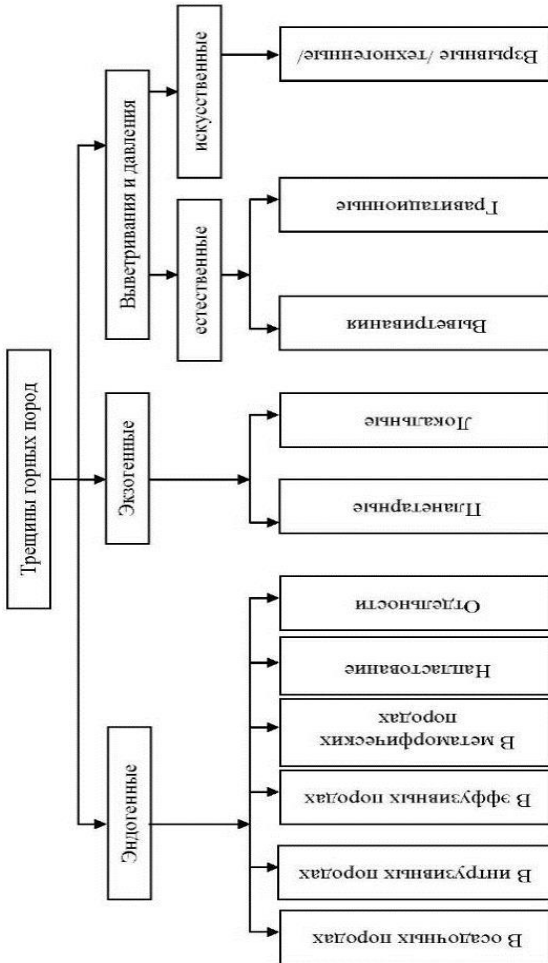


Рис. 5.5. Генетический вид трещин

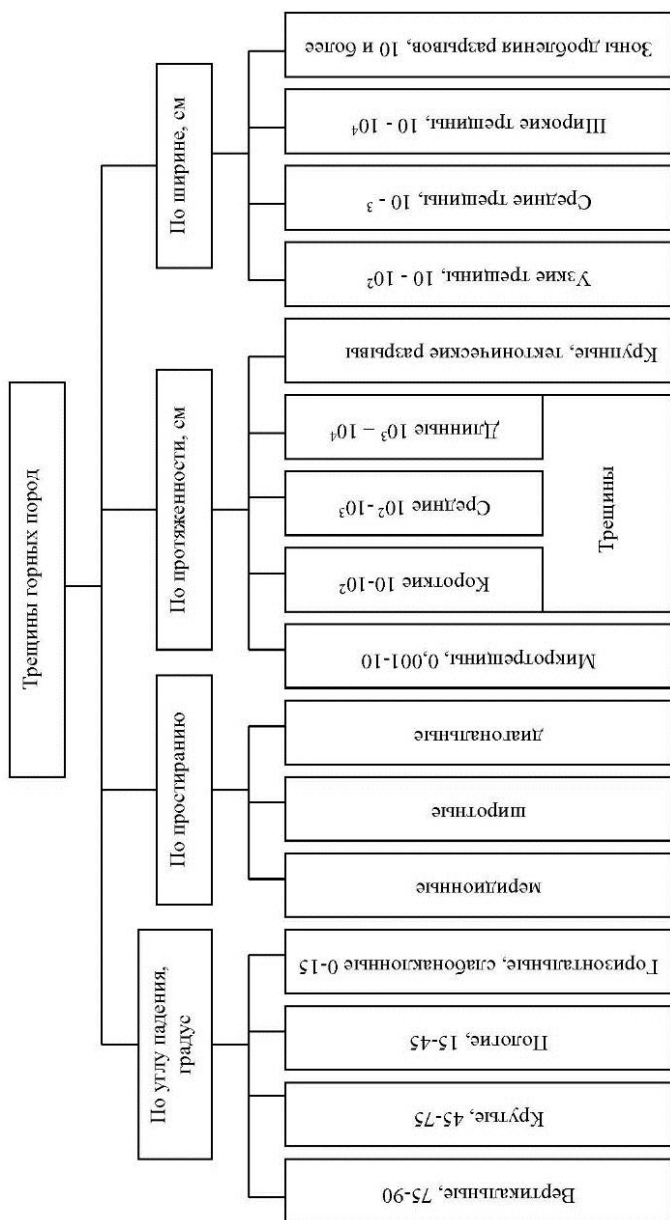


Рис. 5.6. Геометрический вид трещин

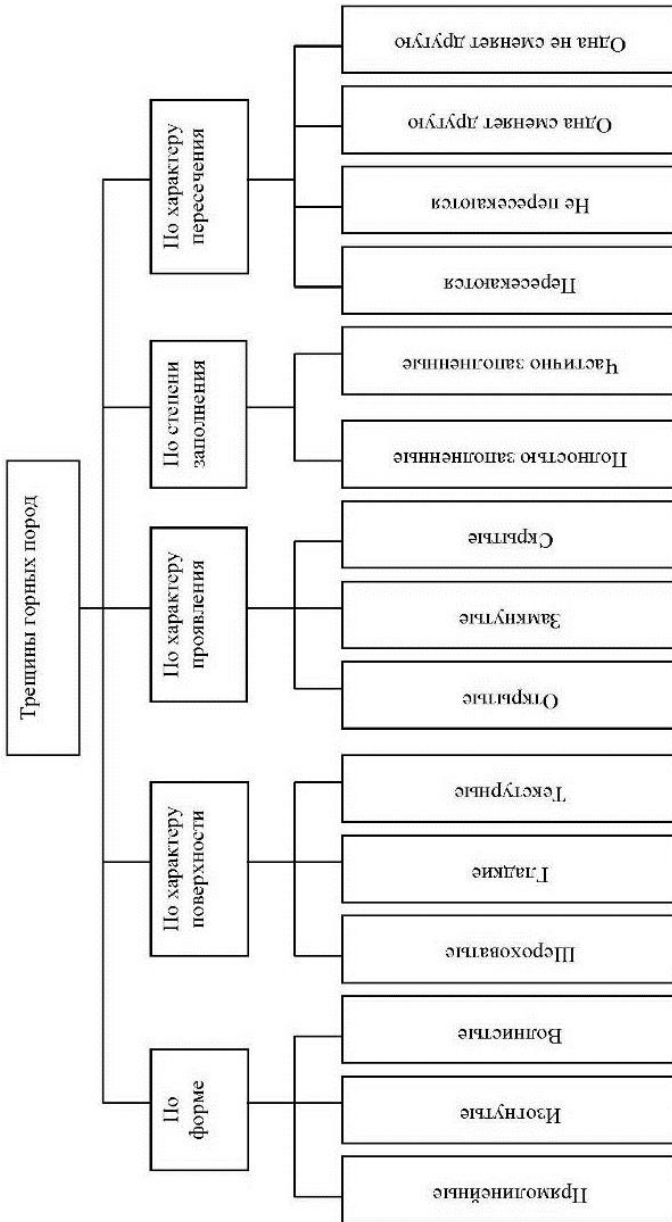


Рис. 5. 7. Морфологический вид трещин

Трещины нами классифицированы по следующим признакам: генетический (рис. 5.5), геометрический (рис. 5.6) и морфологический (рис. 5.7). В геометрическую заложено пространственное положение и размер трещин, во вторую – происхождение, а в третью – форма и строение трещин.

Таким образом, горные породы земной коры разбиты густой сетью трещин разнообразного генезиса, различных размеров, ширины, возраста и т. д.

Оценка устойчивости бортов карьеров должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, трещиноватости и структурных особенностей прибортового массива. Применение компьютерной технологии при обработке результатов массовых замеров трещиноватости прибортовых массивов позволит повысить точность оценки характера их распределения за счет более полного и многовариантного анализа исходных материалов и увеличить производительность при камеральной обработке.

5.2. Методы изучения структурных особенностей массива

В геомеханике массив рассматривается как единое целое, сложенное структурными блоками горных пород, ограниченных системами трещин. Если на массив горных пород будем смотреть издалека, скажем с птичьего полета, то никакой трещиноватости, никакой блоковой отдельности было бы не видно. Все системы трещин в массиве, независимо от генезиса, играют роль систем поверхностей ослабления и подлежат учету при решении вопросов сдвижения горных пород и устойчивости откосов. Именно такие позиции изложены в работе горно-графической методики изучения и прогнозирования трещиноватости скальных массивов.

Структурные особенности массива горных пород определенным образом влияют на его устойчивость.

Во-первых, трещины снижают прочность массива горных пород; оценка их влияния в этом случае сводится к определению прочностных характеристик как по поверхностям ослабления, так и самого трещиноватого массива горных пород.

Во-вторых, трещины создают условия для формирования массива как анизотропной или квазиизотропной среды.

Авершин С. Г. отмечает, что трещиноватость – это один из важных факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород [27]. В последнее время проводится интенсивное исследование трещиноватости пород на разных уровнях применительно к решению самых разнообразных задач геологического, гидрогеологического и горнотехнического плана. Одним из таких направлений является изучение связи трещиноватости с прочностными и деформационными свойствами горных массивов и устойчивостью выработок.

Изучение структурных особенностей массива горных пород имеет целью установить направление и характер основных поверхностей ослабления; определить протяженность и ориентировку в пространстве основных систем трещин; выделить участки карьера или подземного рудника с характерными структурными особенностями; установить закономерности развития интенсивности трещин в горных породах. Следовательно, изучение геомеханических проявлений должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, структурных особенностей породного массива.

Результаты изучения трещиноватости горных пород подробно описаны в трудах Борщ-Компонице В. И., Милетенко И. В., Машанова А. Ж., Нурпеисовой М. Б., Певзнера М. Е., Раца М. В., Низаметдинова Ф. К. и других исследователей.

При изучении трещиноватости рекомендуются два различных метода съемки, а именно:

1) метод точечных массовых замеров элементов залегания поверхностей ослабления;

2) метод площадной структурной съемки.

Выбор того иного метода из этих методов определялось сложностью структуры породного массива изучаемого участка месторождения. Так, структура пород месторождения Чулактау и северного борта карьера Аксай, которая отличается более выдержанным характером, изучалась методом массовых точечных замеров элементов залегания трещин.

Точечный метод массовых замеров трещиноватости может дать положительные результаты в породах, имеющих простую структуру, характеризующуюся исключительной выдержанностью элементов залегания поверхностей ослабления как по площади, так и на глубину карьера, с количеством систем, не превышающим 3–4.

Метод площадной структурной съемки применяется на месторождениях с невыдержанной и сложной структурой пород при наличии тектонической нарушенности пород. Основная цель съемки – установить закономерность распределения и выдержанности основных систем или групп поверхностей ослабления, границ выветренных пород, дизъюнктивных нарушений и т. д.

Методика площадной структурной съемки основана на поинтервальной съемке структурных элементов в обнажении уступов по каждому горизонту карьера. Длина интервала, в зависимости от характера изменчивости структуры бывает различной. Съемка ведется с помощью рулетки и компаса. Для каждого интервала устанавливают основные системы трещин на основании точечного замера элементов залегания, размеры и формы структурных блоков, степень шероховатости поверхностей ослабления, протяженность трещин, материал заполнения поверхностей ослабления.

Методы измерения трещиноватости горных пород сводятся в основном к непосредственным измерениям в обнажениях на поверхности, на откосах в карьерах, по стенкам шурфов и горных выработках, наблюдениям по кернам геологических скважин. На открытых разработках при достаточно большой площади обнажений горных пород наиболее эффективен метод непосредственных измерений (массовых или по профильным линиям) с помощью горного компаса.

Размеры структурных блоков (расстояния между трещинами) замерялись обычной рулеткой, углы падения трещин и азимуты их простираения – горным компасом (рис. 5.8).

Число необходимых замеров при съёмке связано со степенью изменчивости трещиноватости пород, наличием тектонических нарушений, количеством систем трещин, и в производственных условиях вопрос о количестве необходимых замеров на станции, как и о линейных размерах самой станции, где будет произведена съёмка, решается по обстановке и интуитивно..



Рис. 5.8. Съёмка трещиноватости горного массива на карьерах

В табл. 5.2 приведен полевой журнал съёмки элементов трещин в подземных выработках рудника «Молодежный».

Таблица 5.2

Журнал съёмки трещин

Точки	Места съёмки	Горные породы	Элементы залегания трещин		Интенсивность трещин 1 п. м
			А	δ	
1	Маркшейдерская точка № 28	Порфириты	260 ⁰	70 ⁰	8–10
2	5 м от маркшейдерской точки № 28	Порфириты	200 ⁰	75 ⁰	15
3	Место пересечения квершлага со штерком	Сланцы	240 ⁰	76 ⁰	10

Хотя эта методика изучения структуры горных пород успешно апробирована на многих отечественных карьерах и рудниках, для нее характерен весьма существенный недостаток, а именно: замеры трещиноватости и других структурных элементов массива проводятся в нижней части откоса (как правило, не выше 3 м от нижней бровки уступа), что не позволяет объективно учесть все структурные особенности горных пород. Поэтому в разное время использовались различные способы (масштабное фотографирование; тахеометра и лазерной рулетки; наземной фотограмметрии; электронной тахеометрии с функцией безотражательной дальнометрии; GPS-съемок; цифровой фотограмметрии и др.) съемки структуры горных пород.

В настоящее время появились новые методы изучения горного массива, которые могут быть с успехом применены для исследования структуры горных пород. К ним следует отнести методы лазерного сканирования и геотомографии.

Изучение систем трещин с помощью лазерного сканера [33]. Определение элементов залегания трещин и размеров структурных блоков возможно при отстоянии прибора от приборного массива не более 300 м. Эффективная съемка возможна с помощью приборов дистанционного типа, в частности, с использованием систем лазерного сканирования специально разработанных для условий открытых горных работ швейцарской фирмой «Leica», хорошо зарекомендовавших себя, пригодных для использования в суровых климатических условиях.

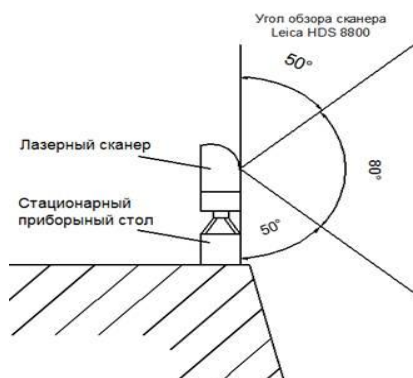


Рис. 5.9. Угол обзора сканера

Это в полной мере относится к системе HDS 8800, которая отличается высокой скоростью сканирования, простой в управлении, удобной в использовании. Система кроме высокоскоростного сканера с углом обзора в 80° (рис. 5.9) также включает: цифровую панорамную фотокамеру с разрешением 70 мПкс, позволяющей получать снимки с высококачественным изоб-

ражением; планшетный полевой компьютер (ППК), хорошо защищенный от внешних негативных воздействий; оптический треггер, обеспечивающий стабильную устойчивость прибора во время работ.

Одним важнейших достоинств этого метода съемки является возможность получения информации о положении элементов залегания трещин без непосредственного контакта с массивом исполнителя работ.

Другим важным достоинством предлагаемой методики изучения трещиноватости горных пород является высокая информативность, то, что невозможно было снять горным компасом из-за невозможности доступа, лазерным сканером успешно решается. В десятки–сотни раз повышается производительность работ и объемы съемки.

Следует отметить, что на железорудных карьерах горным компасом невозможно произвести съёмку, тогда как лазерный сканер с этим справляется успешно (рис. 5.10–5.12).

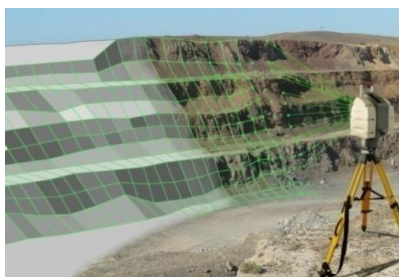
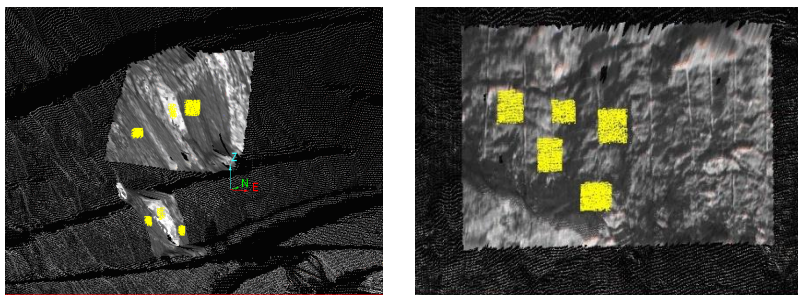


Рис. 5. 10. Лазерный сканер
Leica HDS 3000



Рис. 5.11. Лазерный сканер
Leica HDS 4400

Большие объёмы электронной информации, полученной лазерным сканированием карьерных откосов, позволяют в камеральных условиях установить все существующие на карьере структурные элементы: трещины, нарушения, границы раздела литологических разностей, деформации и т. д., получить их модели в цифровом виде и вставить их в расчетные схемы геомеханических моделей прибортовых массивов.



а

б

Рис. 5.12. Определение элементов структуры
горного массива по 3D-модели:

а) определение элементов залегания трещин;

б) определение элементов залегания заоткошенного уступа

При помощи технологии лазерного сканирования решается широкий круг задач горного дела: составление пространственных моделей горных выработок в системе координат шахты; определение их геометрических параметров и объёмов; учёт на основе этих данных потерь, разубоживания, состояния и движения запасов полезного ископаемого; подготовка в электронном виде трёхмерных моделей для последующего их использования. Необходимо отметить, что все измерения, производимые при помощи лазерных сканеров, позволяют получить модели в той системе координат, в которой ведётся горно-графическая документация, и проводятся все маркшейдерские работы.

5.3. Обработка результатов съемки трещиноватости массива

5.3.1. Выделение активных систем трещин на диаграммах

При изучении трещиноватости горного массива накапливается большое количество данных полевых замеров, в результате их обработки будут определены основные системы трещин, их ориентировка и максимумы концентрации трещин каждой системы. Обработку и обобщение массовых замеров элементов залегания трещин производят различными методами. Эволюция методов обработки съемки трещин приведена на рис. 5.13.

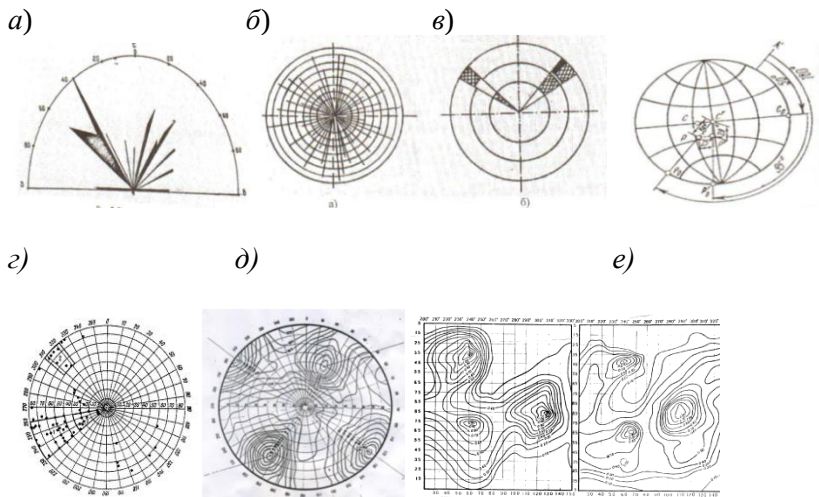


Рис. 5.13. Эволюция методики обработки материалов замеров трещин:

- а) розывые диаграммы Ефимова;
- б) лучевые диаграммы Соколова и Смирнова;
- в) экваториальная сетка Вульфа и Каврайского;
- г) точечные круговые диаграммы Хабакова;
- д) полярная ортографическая диаграмма Сухоручкина;
- е) прямоугольная сетка Борщ-Копониеца

Розы диаграммы. При этом на графике показываються клас-сы трещин определенного простирания, затем для каждого ос-новного направления простирания строится роза падения. Если мы строим розы трещин по углам наклона, то не отражаем ази-муты падения и наоборот.

Лучевые диаграммы Ефимова А. Е. На диаграмму наносят-ся азимуты простирания трещин по ходу часовой стрелки, а уг-лы падения изображаются длиной радиусов кругов, пост роен-ных с делением через 10° .

Диаграмма Соколова Д. С. и Смирнова А. А. Здесь трещины делятся на три подгруппы по крутизне падения. Подсчитывается количество трещин определенного направления, вычисляют их процентное содержание к общему числу, и результаты наносят в виде трапеции на круговую диаграмму.

Точечные круговые диаграммы. Чертится круг произвольного радиуса. Радиус круга делится на девять равных частей, через которые проводятся концентрические окружности. Через 10° проводятся радиусы, представляющие собой проекции меридианов, и предназначенные для нанесения азимутов.

Экваториальная сетка Вульфа. Этой сеткой пользуются как прибором, и все построения осуществляют на кальке.

Экваториальная сетка Каврайского В. В. В отличие от сетки Вульфа она дает одинаковую точность по всей сетке. Сетка Каврайского позволяет определять элементы залегания рудного тела и углы между плоскостными элементами.

Сетка Вальтера-Шмидта. Для построения диаграммы по этому методу (1953) необходимо изготовить из картона трафарет. При отсутствии готовой сетки можно обойтись упрощенной, на которой пока лишь окружность и верхний радиус. Радиус окружности при изготовлении трафаретов рекомендуется брать равным 10 см. Окружность делится на градусные интервалы, располагаемые против часовой стрелки, начиная от верхнего радиуса, принимаемого за нулевой.

Полярная ортографическая сетка Сухоручкина В. В. При ее построении замеры трещин наносят в виде точек. Полученную точечную диаграмму подвергают статистической обработке методом скользящего окна. Результаты подсчета записывают на кальке и проводят изолинии средних значений концентрации трещин.

Круговые и прямоугольные диаграммы позволяют определить количество систем трещин, как на замерной станции, так и по карьеру в целом, преобладание тех или иных систем трещин, их элементы залегания. Стереографические сетки Вульфа, Каврайского и другие позволяют определять угловые соотношения между трещинами, выявлять положение трещин по отношению к откосу. Полевые наблюдения сводятся к точечным замерам элементов залегания трещин, изучению интенсивности трещиноватости массива и структурным съемкам вкрест простирания бортов карьера. Интенсивность трещиноватости характеризует форму и размеры элементарных структурных блоков породы и оценивается тремя коэффициентами: линейным, площадным и объемным. Линейный коэффициент равен отношению единицы длины к среднему расстоянию между трещинами; площадный –

отношению единицы площади к площади, заключенной между двумя парами трещин двух систем; объемный – отношению единицы объема к объему усредненного структурного блока.

Другими словами, при формировании геологической структуры массива, отмеченные выше структурные блоки как кирпичики в массивах, не деформируются. Деформация массива осуществляется взаимными перемещениями указанных блоков относительно друг друга. Всю эту структурную иерархию в геомеханике называют гармонией недр. Понятие принадлежит Вернадскому В. И. и Соболевскому П. К., которые всегда утверждали, что в недрах строгий порядок и полная гармония.

В трудах Машанова А. Ж. предлагается и теоретически обосновывается метод изучения структуры по трещинной тектонике на основе метода геометрии недр Соболевского П. К. и Рыжова П. А. Методика изучения структуры при решении вопросов геомеханики выдержала испытания на следующих объектах Казахстана: Миргалымсай, Зыряновск, Лениногорск, Текели, Коунрад, на месторождениях ПО Каратау и Акбакай.

Аналогичные работы были проведены на других объектах московской школой геомехаников: Рыжов П. А., Борщ-Компониц В. И., Иофис М. А. и др.

Все стереографические сетки неудобны тем, что очень трудно расшифровывать системы трещин, сосредоточенные в центре сеток. Кроме того, на стереографических сетках из-за разновеликости площадей трапеций затруднено проведение сглаживания. Эти недостатки не присущи прямоугольной сетке.

Прямоугольная сетка (Борщ-Компониц В. И. и др.). Замеры трещин в виде точек наносятся на прямоугольную сетку. По оси абсцисс откладывают азимуты падения, а по оси ординат – углы наклона. В пределах окна подсчитывают количество замеров, результаты записывают в его центре и проводят изолинии плотности трещин. Опыт работ показал большое преимущество прямоугольных сеток по сравнению с другими сетками в смысле простоты обработки и наглядности изображения.

В настоящее время, благодаря широкому внедрению в практику компьютерной техники, решен вопрос обработки результатов массовых замеров элементов залегания трещин.

5.3.2. Метод построения диаграмм трещиноватости с помощью компьютерной техники

В настоящее время в связи с появлением компьютеров с большим объемом оперативной памяти и быстродействием существует ряд компьютерных реализаций по обработке результатов массовых замеров трещиноватости. Одним из них является предлагаемая методика построения диаграмм трещиноватости.

Разработанная методика автоматизированного построения «Диаграммы трещиноватости» является компьютерной технологией моделирования структурных особенностей. Речь идет не только о простом так называемом «машинном счете», а о таких программных модулях, которые позволяли бы проводить адекватный анализ исходных данных.

При этом методе отношение между объектами анализируемого множества (точек наблюдений) Z определяется прямоугольной диаграммой трещиноватости (XOY). По оси OX откладываются значения азимута простирания (A), по OY – угол наклона (δ), а положение точки наблюдения может быть однозначно представлено регулярной дискретной функцией следующего вида:

$$Z = f \cdot (x, y, n), \quad (5.1)$$

где x, y – текущие значения азимута простирания и угла наклона точки наблюдения Z ; n – количество трещин, зафиксированных в данной точке наблюдения, т. е. коэффициент значимости (плотности).

Путем интерполяции между узловыми точками сетки строят ломаные линии, которые сглаживаются с помощью сплайнов (кривых, проходящих через все заданные точки плотности).

Комплект реализован с помощью программы Golden Software Surfer 8.0. Программа Golden Software Surfer 8.0 предназначена для работы с геологическими, топографическими картами, а мы использовали ее для моделирования структурных особенностей массива горных пород.

Таким образом, программа «Диаграмма трещиноватости» предназначена для ввода первичной информации замеров трещиноватости, их статистической обработки, построения и вывода на принтер диаграмм трещиноватости об объекте изучения

для последующей их интерпретации и использования для расчета устойчивых параметров бортов карьеров.

В табл. 5.3 приведены данные полевых замеров по месторождению Акжал, которые были введены в программу для автоматизированного построения диаграмм трещиноватости.

Таблица 5.3

Исходные данные

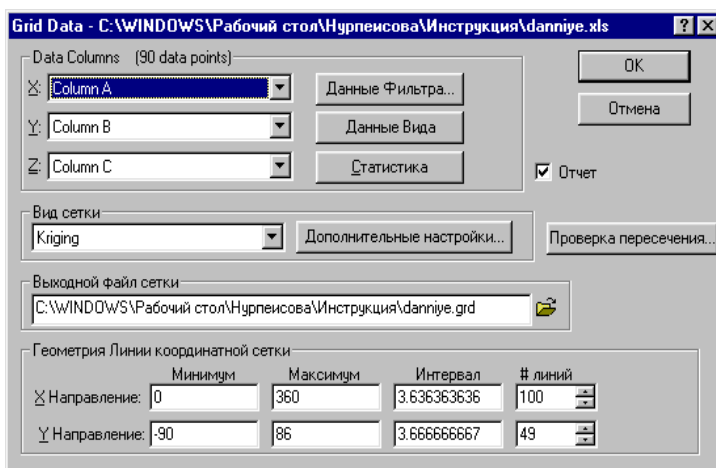
№ точки	X, град	Y, град	Z высота	№ точки	X,град д	Y, град	Z высота
1	180	50	1	46	240	80	2
2	190	30	1	47	24	50	11
3	190	30	3	48	50	65	4
4	200	60	6	49	118	85	10
5	200	70	7	50	145	70	5
6	195	90	5	51	310	60	5
7	215	65	12	52	315	90	10
8	217	75	11	53	90	30	2
9	220	80	10	54	130	30	2
10	218	85	8	55	185	85	2
11	230	80	5	56	50	20	2
12	70	50	4	57	50	86	3
13	230	50	5	58	110	80	8
14	250	50	2	59	130	80	10
15	255	35	1	60	65	70	2
16	260	50	1	61	320	65	5
17	250	90	1	62	305	85	12
18	258	86	1	63	225	20	1
19	265	75	1	64	8	55	7
20	270	65	1	65	139	85	8
21	280	45	1	66	20	72	8
22	315	28	1	67	42	60	7
23	340	22	1	68	330	86	5

№ точки	X, град	Y, град	Z высота	№ точки	X,град д	Y, град	Z высота
24	360	20	1	69	0	32	5
25	205	86	6	70	345	28	2
26	305	80	10	71	0	65	5
27	265	90	2	72	330	35	3
28	0	25	2	73	350	35	4
29	25	40	7	74	355	40	5
30	125	83	12	75	348	50	5
31	80	80	2	76	356	62	5
32	70	85	1	77	358	70	4
33	65	81	1	78	340	65	4
34	348	45	5	79	335	86	4
35	282	90	5	80	345	85	2
36	295	86	10	81	20	15	1
37	25	82	7	82	90	20	1
38	82	48	3	83	120	12	1
39	65	60	3	84	160	38	1
40	110	60	5	85	180	60	1
41	60	40	4	86	140	52	3
42	325	53	5	87	150	75	4
43	110	50	3	88	80	60	3
44	220	86	6	89	135	68	7
45	160	85	2	90	96	65	3

Результаты обработки могут быть распечатаны непосредственно из программы или сохранены на диске в предлагаемом формате для дальнейшего использования.

Сохранить файл нужно в формате Microsoft Excel или в собственном формате Surfer DAT файле. Файл данных содержит три столбца. Первые два столбца являются координатами X и Y, а третий столбец t – коэффициент значимости или плотности трещин. Программа отыскивает координаты X, Y, t в столбцах A, B, C соответственно. Этот файл можно создать не только в Microsoft Excel, но и в самом Surfer.

Для создания диаграммы нужно запустить файл создания (рис. 5.14).



	A	B	C
1	180	50	1
2	190	30	1
3	190	30	3
4	200	60	6
5	200	70	7
6	195	90	5
7	215	65	12
8	217	75	11
9	220	80	10
10	218	85	8

Рис. 5.14. Внешний вид редактора журнала обработки

Полученное изображение (диаграмма) в виде изолинии сохраняется вместе с задачей и обновляется всякий раз, при новых данных структурных особенностей массива. Результаты представляются в двух видах в изолиниях (рис. 5.15, а) и в трехмерном изображении (рис. 5.15, б, в).

Полученное изображение (диаграмма) в виде изолинии сохраняется вместе с задачей и обновляется всякий раз при новых данных структурных особенностей массива.

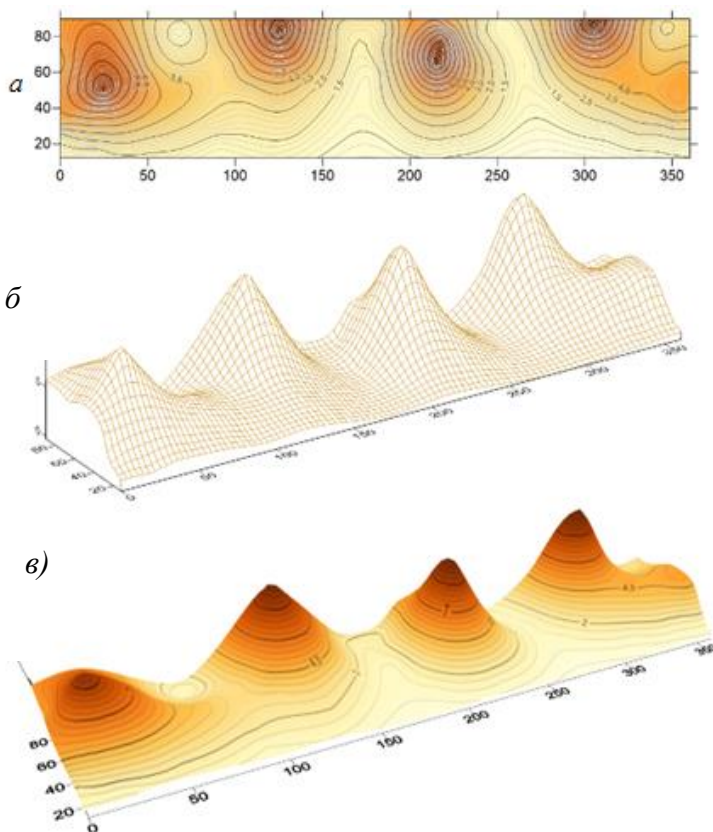


Рис. 5.15. Форма результата

Таким образом, в результате автоматизированного построения диаграмм трещиноватости установлено, что для месторождения Акжал характерно наличие 4-х основных систем трещин со средними значениями элементов залегания (азимут, угол падения): I ($30^\circ 55^\circ$), II ($125^\circ, 81^\circ$), III ($220^\circ, 75^\circ$) и IV ($310^\circ, 89^\circ$).

Оценка достоверности результатов. Оценка достоверности выделения активных систем трещин проводилась путем сравнения двух методов обработки результатов массовых съемок элементов трещин. Результаты сопоставления двух методик выделения систем трещин (в круговых диаграммах и на компьютере) сведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты сравнения систем трещин

Выделенные на компьютере, град.		Выделенные на круговых диаграммах, град.		Отклонение параметров систем трещин, град.	
А	δ	А	δ	А	δ
30	55	30	55	0,	0
125	81	125	85	0	+4
220	75	215	74	-5	-1
310	89	305	88	-5	-1

Обработка замеров съемки на круговых и прямоугольных сетках очень проста и относительно не трудоемка.

5.4. Влияние структурных особенностей массива на процесс сдвижения.

Изучение процесса сдвижения горных пород позволило установить, что на этот процесс существенное влияние оказывают механические свойства массива, в особенности трещинная тектоника. Как в свое время отметил Авершин С. Г., трещиноватость – это один из важнейших факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород. Поэтому исследование структурных особенностей и трещиноватости входит основным пунктом почти в каждую научно-исследовательскую работу по сдвижению горных пород.

Безусловно, что системы трещин оказывают влияние на параметры сдвижения. Во-первых, все они значительно снижают прочность породного массива, а во-вторых, часть из них при определенных условиях могут реализоваться в площадки скольжения, при деформации прибортового массива. Эти условия реализуются только при согласном залегании трещины и поверхности откоса.

Например, при закладке вертикального ствола шахты, ведении подземных выработок, выборе ВВ трещиноватость может оказать существенное влияние на желаемые результаты.

Нередки случаи, когда ствол шахты, пересекавший тектоническую трещину через некоторое время, стал деформироваться, когда для взрывания пород с большей трещиноватостью применялись дорогостоящие ВВ, закладывались выработки в неустойчивом направлении горных пород и т. п.

Сопоставление замеров поверхностей отдельности массива горных пород с замерах трещин отдельности в выработках показывает, что при сдвигении и деформации пород, возникающих вследствие горных работ, новых поверхностей отдельности в породах, как правило, не возникает. Сдвигение пород происходит по уже имеющимся поверхностям ослабления. По вновь образующимся трещинам сдвигение пород наблюдается весьма редко и зависит от соотношения прочности пород в массиве, сил трения и сцепления, действующих на поверхностях ослабления массива пород. При этом сдвигение элементарных блоков по поверхности ослабления носит избирательный характер.

Исследования процесса сдвигения горных пород в подземных выработках показали, что частота активных поверхностей ослабления увеличивается в направлении от очага сдвигения. Это означает, что дискретными в массиве горных пород при деформациях вне зоны беспорядочного обрушения являются элементарные структурные блоки породы, оконтуренные поверхностями ослабления (поверхностями отдельности) массива пород. В зоне беспорядочного обрушения углы сдвигения вначале более крутые (иногда вертикальные), чем в вышележащих зонах прогиба пород, и совпадают с соответствующими плоскостями ослаблений пород. Особенно часто это наблюдается при системах разработки с обрушением. В дальнейшем здесь наступает замедленная стадия процесса сдвигения, и углы сдвигения выполаживаются.

Отдельные сдвиги элементарных блоков отдельности по поверхностям ослабления относительно друг друга создают общую картину сдвигения горных пород от подземных выработок до земной поверхности. Результирующая этих сдвигов на границе части пород, затронутых сдвижением, представляет собой поверхность, ограничивающую смещенную часть массива пород по нетронутой его части.

Значения углов сдвигения могут быть определены теоретически на основе изученности строения массива горных пород и учета физической сущности процесса их сдвигения.

Многолетний опыт изучения влияния трещиноватости на деформацию приоткосных массивов показывает, что наиболее опасными являются продольные согласно падающие трещины и практически не опасны крутопадающие трещины. Анализ зависимости угла откоса от угла падения трещин показывает, что падение трещин в сторону карьера в значительной степени влияет на угол откоса уступа, причем, эта зависимость линейная, прямая, т.е. крутое падение трещин обуславливает и крутой угол, а пологое падение – пологий угол откоса уступа (рис. 5.16).

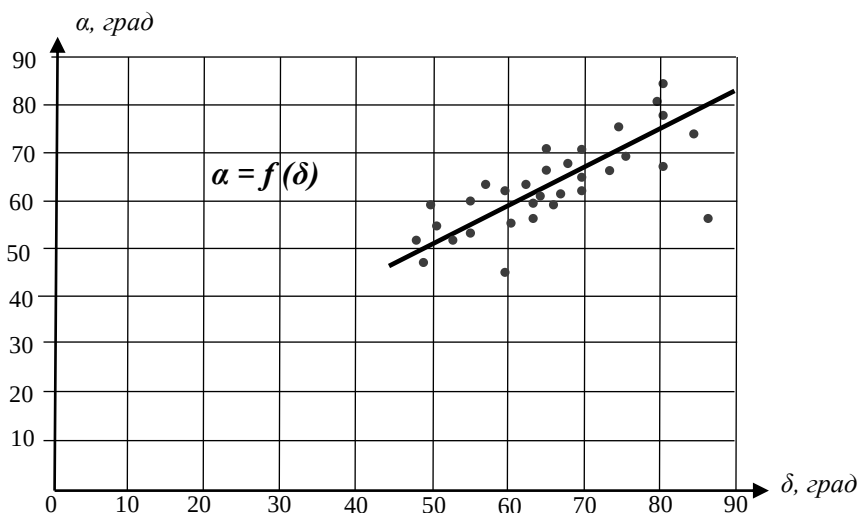


Рис. 5.16. Зависимость угла откоса уступа от угла падения трещин

Такая зависимость наблюдается при падении трещин в сторону карьера в диапазоне 40–80°.

На рис. 5.17 приведены диаграммы трещиноватости пород по горизонтам рудника «Молодежный». Из диаграммы трещиноватости по горизонтам видно, что с увеличением глубины отработки интенсивность трещин горных пород уменьшается, следовательно, на процесс сдвижения будут оказывать влияние те системы трещин, которые прослеживаются с поверхности до интересующей глубины, а также то, что с углублением горных работ углы падения систем трещин выполаживаются.

Установлено, что на руднике «Молодежный» углы сдвигов горных пород равны углам падения систем трещин, т.е. при образовании провалов и воронок на дне карьера углы разрыва были равны к величине 90^0 , а при образовании трещин на земной поверхности – близки к величине $45 + \rho/2$.

И это видно из диаграммы трещиноватости, где углы падения систем трещин на карьере крутые, а нижележащих горизонтах – пологие. Следовательно, по мере углубления горных работ сдвигения произойдет под более пологим углом.

Висячем боку рудного тела довольно четко выделяется система трещин (II) с углом падения $75-80^\circ$ и азимутом простирания 275° . Принимая во внимание северное падение этой трещины и отсутствие других систем, падающих к рудному телу, можно полагать, что именно поэтому углы разрыва в висячем боку имеют большую величину ($\beta'' = 75-80^\circ$).

Системы трещин, выявленные с помощью круговых диаграмм на различных горизонтах рудника «Молодежный» приведены также на рис. 5.17.

Для установления характера влияния трещиноватости пород на параметры (углы разрыва) сдвигения необходимо сравнить эти параметры, т. е. сравнить углы разрыва с углами падения систем трещин. Если будет установлено равенство углов разрывов с углами падения систем трещин, это даст основание полагать, что сдвигение происходит в форме сдвига по плоскостям ослабления.

В качестве примера влияния трещиноватости на параметры сдвигения можно называть работу Акимова А. Г., Ержанова Ж. С., Кузнецова М. А., где установлена связь между углами разрыва и ориентировкой систем трещин для рудников РФ и Казахстана.

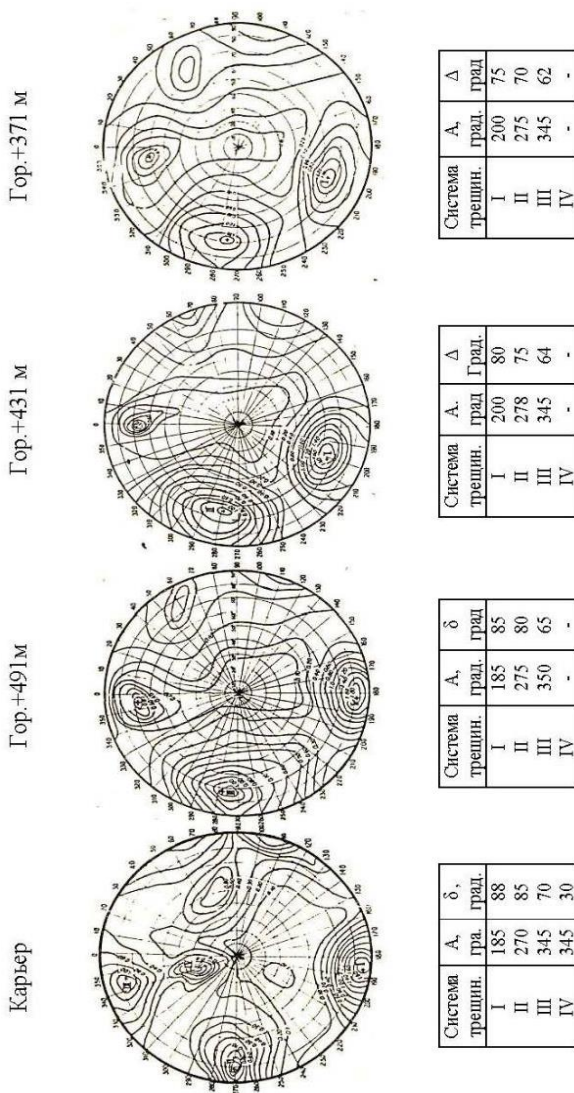


Рис. 5.17. Диаграммы трещиноватости горных пород месторождения «Чулактау» по горизонтам

Совпадения углов разрыва с углами падения систем трещин получено на Туимском, Успенском, Чорух-Дайронском, Текелийском, Каратауских и Акбакайском рудниках (табл. 5.5), где углы разрывов по углам падения господствующих систем трещин отличаются от фактических не более чем на $\pm (2-5^\circ)$, т. е. точность их определения примерно та же, что и углов, полученных в результате инструментальных маркшейдерских наблюдений.

Таблица 5.5
Углы разрывов рудных месторождений

Рудники, профильные линии	Исходные параметры			Характеристики пород		Углы падения трещин, град.		Углы разрывов β''		
	H, м	α , град	γ , т/м	ρ , град.	κ , т/м ³	δ_1	δ_2	По трещи- нам	Фак- тиче- ский	
Салаир, Профиль 1-1	240	70	2,5	25	40	75	63	63	65	+2 °
Салаир, профиль II	300	70	2,5	25	40	75	63	75	80	+5 °
Таштоголь, Профиль Д	320	90	2,5	25	40	60	50	50	48	-2 °
Чорух- Дайрон 1-1	210	850	2,8	305	40	80	70	75	75	0
Успенский, профиль III	250	90	2,7	30	40	85	50	80	84	+4 °
Золотушинск профиль 2	192	78	2,5	25	40	60	45	60	64	+4 °
Текли, Профиль 2-2	300	70	2,8	32	37	60	55	55	60	+5 °
Молодежн. профиль II-II	340	82	2,8	33	46	75	60	75	75	0
Молодежн. проф. IV-IV	340	82	2,8	33	46	75	60	75	72	-3 °
Аксай, Профиль 3-3	180	70	2,7	30	40	70	60	70	72	+2 °
Акбакай, профиль II-II	300	82	2,7	34	50	85	80	85	85	0

В породном массиве месторождений бассейна Каратау в большой степени развиты только крутопадающие трещины (см. рис. 5.17), поэтому с большой степенью вероятности следует ожидать, что углы разрывов и углы сдвижения также будут крутыми.

Таким образом, сдвижение происходит в форме сдвига, что следует из характера деформирования прибортового массива и из совпадения направлений векторов сдвижения реперов с направлением трещиноватости.

Контрольные вопросы:

1. Что такое трещинная нарушенность массива?
2. Что такое структурна массива горных пород?
3. Классификация трещиноватости.
4. Для какой цели изучают структурные особенности массива?
5. Методы изучения трещиноватости.
6. Что снимают горным компасом?
7. Съёмка трещин лазерным сканером.
8. Методы обработки результатов массовых замеров съёмки трещин.
9. Что такое система трещин?
10. Влияние систем трещин на процесс сдвижения.

6. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА КАРЬЕРАХ

6.1. Степень воздействия открытого способа разработки месторождения на окружающую среду

Ни один вид деятельности человека не оказывает такого комплексного воздействия на окружающую среду, как добыча и переработка полезных ископаемых. Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к нарушению земной поверхности, истощению запасов подземных вод, загрязнению атмосферы выбрасываемыми из рудников различными газами и вредной пылью, загрязнению водоемов шахтными водами и др. Большой вред природе наносят также отходы дробильных, обогатительных и агломерационных фабрик.

Проблемы взаимодействия общества с природной средой в последние два десятилетия превратилась в одну из основных, стоящих перед человечеством. Высокие темпы научно-технического прогресса и экономического развития общества сопровождаются усилением воздействия на биосферу. Это проявляется прежде всего в резком ускорении и интенсификации кругооборота общества и энергии, вовлекаемых в сферу жизнедеятельности человека.

Академик Вернадский В. И. назвал это новое состояние биосферы, преобразованной разумной деятельностью человека, – ноосферой, т. е. *сферой разума*. В работе указывается, что ноосфера – новое геологическое явление на нашей планете и в ней человек становится крупнейшей геологической силой.

На современном этапе развития науки и техники месторождения твердых полезных ископаемых разрабатываются в основном тремя способами: открытым, подземным и геотехнологическим.

Рудные месторождения, разрабатываемые подземным способом, чрезвычайно разнообразны по своим горно-геологическим и инженерно-геологическим условиям, причем эти условия (мощность залежи, угол падения, свойства пород и руд, структура массива, содержание полезных компонентов и др.) могут существенно изменяться даже в пределах одного участка месторождения.

При добыче полезных ископаемых открытым способом под горные отвалы отчуждаются значительные площади земель сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения. В результате ведения открытых горных работ не только нарушается земная поверхность с образованием земель, непригодных для повторного народнохозяйственного применения без приведения определенного комплекса восстановительных мероприятий, но и изменяются технологические и микроклиматические условия местности. Схемы воздействия карьера с окружающей средой приведена на рис. 6.1.

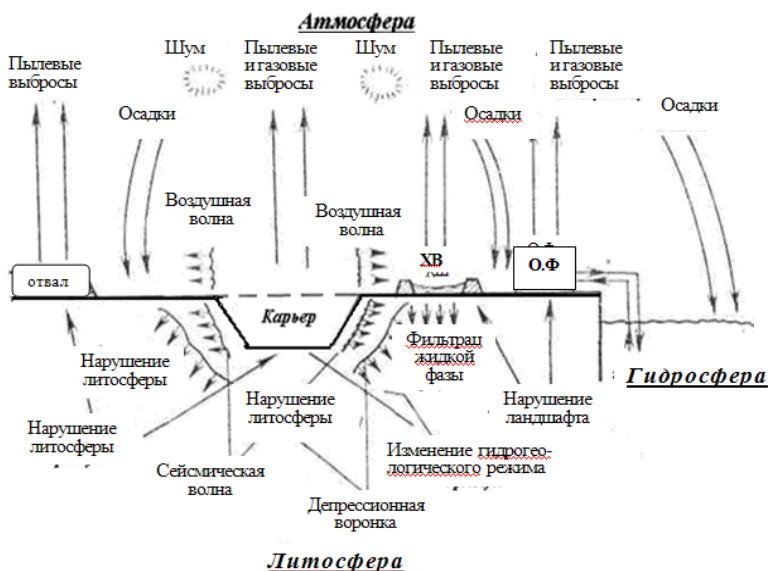


Рис. 6.1. Схема взаимодействия карьера с окружающей средой

Относительная оценка воздействия различных способов добычи полезных ископаемых на окружающую среду приведена в табл. 6.1.

Как следует из этой таблицы, наиболее сильное воздействие на окружающую среду оказывают открытые горные работы, наименьшее – геотехнический метод добычи.

Таблица 6.1

Оценка воздействия способов добычи полезных ископаемых на окружающую среду

Способ добычи полезных ископаемых	Уровень воздействия горного производства на элементы биосферы				
	Водный бассейн	Воздушный бассейн	Земля, почва	Недра	Живой мир
Открытый	Си	Си	Си	Си	Си
Подземный	Ср	О	Ср	Си	Н
Геотехнический	Ср	Н	Н	Си	О

Примечание: О – отсутствие воздействия; Н – незначительное воздействие; Ср – воздействие средней силы; Си – сильное воздействие

Для всех способов разработки месторождений характерно воздействие на окружающую среду, затрагивающее практически все её элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир.

Всему миру известно, что наши недра богаты минералами, большим запасом нефти, природного газа, подземными водами, черных и цветных металлов и нерудными полезными ископаемыми. Такое богатство полезных ископаемых представляет собой хорошую возможность для расширения общего богатства и объема производства казахстанской экономики, однако, само по себе это не является устойчивым источником роста и развития. Причина этого проста: эти ресурсы, несмотря на то, что запас их огромен, не возобновляемые.

Нерациональное использование минерально-сырьевых ресурсов приводит к их преждевременному истощению и загрязнению окружающей природной среды. За счет терриконов, отвалов, карьеров, буровых скважин, хранилищ отчуждаются огромные территории земель, существенно превышающие площади горных выработок. При разработке месторождений полезных ископаемых используется только 1–2 преобладающих компонента, извлечение которых при дальнейшей переработке составляет 60–90 %. На предприятиях цветной металлургии накоплено свыше 5,2 млрд. т отходов обогащения и металлургического передела.

В республике практически отсутствует система управления отходами производства и потребления, в том числе опасных и радиоактивных. Несовершенство системы сбора, хранения, утилизации и переработки бытовых отходов приводит к загрязнению природной среды. Более 97 % образующихся твердых бытовых отходов, в объеме 15 млн. м куб. в год, складывается на неусовершенствованных открытых свалках, занимающих огромные территории и загрязняющих грунтовые и поверхностные воды, атмосферу и почву.

При разведке, разработке и эксплуатации месторождений углеводородного сырья значительное воздействие испытывают прилегающие территории. Вокруг каждой буровой установки в радиусе 500–800 м уничтожается растительность на 70–80 %. Из-за неудовлетворительного решения вопросов экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений (более 20), а также применения устаревших технологий при их эксплуатации на площади более 1,3 млн. га в Атырауской области допущено техногенное загрязнение в виде разливов нефти, объемом более десятков тысяч тонн. Замазученность почвы на некоторых нефтепромыслах достигает толщины до 10 метров.

В настоящее время наиболее сложная экологическая обстановка сложилась в регионах разработки крупных месторождений полезных ископаемых. Для подтверждения сказанного, рассмотрим состояние природной среды в различных регионах. Основные объемы загрязняющих атмосферу вредных веществ были сформированы на территории Павлодарской, Карагандинской, Жезказганской областей.

Экологическая обстановка в регионе Экибастузского топливно-энергетического комплекса (ЭТЭК) остается очень неблагоприятной. Угольными разрезами, породными отвалами и объектами энергетики также нарушено около 10 тыс. га, в том числе горными разработками – 8 тыс. га.

Крупным промышленным центром республики является Карагандинская область, где сосредоточено несколько сотен предприятий многих отраслей промышленности, которые не только производят различную продукцию, но и интенсивно загрязняют окружающую среду. Самыми мощными загрязнителями остаются АО «Испат-Кармет» и предприятия топливно-энергетики, дающие 75 % выбросов предприятий области.

Горно-геологические условия залегания фосфоритовых пластов Бассейна Каратау и принятая технология ведения вскрышных работ не позволяют проводить рекультивацию нарушенных земель и поверхности отвалов практически до полной отработки запасов руд. В Каратау-Жамбылском регионе серьезную тревогу вызывает состояние водных ресурсов. Многие районы (Сарыуский, Таласский, Моинкумский) уже сейчас испытывают дефицит воды. Как раз в такой напряженном в экологическом отношении Моинкумском районе расположен Акбакайский горно-обогатительный комбинат и горняцкий поселок Акбакай, где в жилые дома воду подают по жестким графикам.

Перечисление подобных примеров можно было бы продолжить. Анализ многостороннего воздействия горного производства на природную среду показывает, что в настоящее время освоение недр проводится в очень сложных горно-геологических условиях (интенсивное сдвигание горных пород и земной поверхности, усиление горного давления и ударов) и все это приводит к значительным экологическим изменениям в естественной природной среде. Поэтому в последние годы в практике горнорудных предприятий все чаще возникают сложные вопросы, связанные с охраной горных выработок, наземных сооружений и самих полезных ископаемых от подработки.

Кроме того, на сегодня в повестке дня стоит проблема вхождения в состав 35 конкурентноспособных стран мира. В Послании главы Государства Н. А. Назарбаева отмечено, что для этого с наряду с выходом наших полезных ископаемых на мировой рынок, обеспечением горно-металлургических комплексов современными оборудованиями и инженерными программами, необходима охрана окружающей среды в соответствии с мировыми стандартами. Следовательно, оценка и прогноз состояния природной среды путем использования современных приборов и разработка инновационных способов снижения техногенной нагрузки на сегодняшний день являются весьма актуальными.

Применение для оценки природоохранной деятельности горных предприятий инновационных способов позволит получить экологический, социально-экономический и экономический результаты.

Экологический результат, заключающийся в снижении (или предотвращении) отрицательного воздействия на окружающую природную среду и улучшение ее состояния, увеличение количества и качества пригодных к использованию природных ресурсов.

Социально-экономический результат заключается в повышении уровня жизни населения, эффективности производства и увеличении национального богатства региона.

Экономический результат заключается в экономии или предотвращении потерь природных ресурсов, т.е. обеспечение полноты извлечения: полезного ископаемого из недр при добыче; полезных компонентов из минерального сырья при обогащении и металлургическом пределе и использования отходов производства для различных нужд народного хозяйства (изготовление стройматериалов, засыпка карьеров и забутовка горных выработок и т.д., а также получение экономического стимулирования от внедрения ресурсосберегающих технологий.

6.2. Технологические методы управления геомеханическим состоянием массива горных пород на карьере

6.2.1. Общие сведения о методах управления

Установленные в последние годы закономерности развития геомеханических процессов в массиве горных пород при комбинированной отработке позволили создать научные основы управления этими процессами.

Под технологическими методами управления геомеханическими процессами понимают совокупность научно обоснованных приемов или операций, позволяющих в процессе освоения ресурсов недр целенаправленно изменять состав, строение, свойства и состояние массива горных пород и обеспечить развитие процессов его деформирования, разрушения и фильтрации подземных вод в заданных направлениях, объемах и в установленных пределах.

При решении задач управления геомеханическими процессами обычно пользуются математическими моделями, представляющими собой совокупность математических зависимостей,

отражающих те черты (особенности) объекта, которые наиболее существенны для управления им.

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

Неуправляемые воздействия и параметры – природные условия или горнотехнические факторы, оказывающие значительное влияние на напряженно-деформированное состояние массива, но не поддающиеся управлению на данном уровне развития науки и техники. Неуправляемые воздействия входят в состав модели в форме переменных величин, а параметры рассматриваются как постоянные.

К управляемым воздействиям отнесены: состав и свойства пород; гидрогеологические характеристики; способ вскрытия; система разработки; режим горных работ; структура комплексной механизации; к неуправляемым – климатические факторы; к параметрам – структура массива горных пород.

Рекомендуемый для практического использования метод управления должен удовлетворять следующим основным условиям: технической надежности; безопасности; технологичности; универсальности; экономической целесообразности.

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

Безопасность – обеспечение безопасного ведения горных работ и эксплуатации объектов, расположенных в зоне влияния горных работ.

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

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

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

Основной целью управления геомеханическими процессами при открытом способе разработки месторождений является укрепление горных пород. Существует несколько классификаций методов укрепления горных пород, основанных на различных принципах. Наиболее полная классификация методов укрепления пород, в основу которой положен принцип изменения состава, строения и свойств пород, разработана проф. Певзнером М. Е. и приведена в [19].

В соответствии с этой классификацией методы разделены на три группы.

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

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

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

6.2.2. Способы укрепления, не вызывающие изменения состава, строения и свойств пород

Штанговая крепь. Сущность способа укрепления штангами заключается в бурении скважин в массиве горных пород и установке в них металлических штанг, которые скрепляют отдельные блоки пород между собой. Пространство между штангами и стенками скважин затем цементируется.

Анкерная крепь – система закрепления в шпурах металлических (распорных, клино-щелевых, винтовых, с закреплением химическими растворами и быстротвердеющими смесями на цементной основе), железобетонных, деревянных или полимерных анкеров, расположенных определенным образом в кровле и

боках выработки и предназначенных с поддерживающими элементами (опорными шайбами или подхватами) для упрочнения массива пород и повышения устойчивости обнажений благодаря скреплению слоев и структурных блоков (рис. 6.5, а).

Укрепление откосов гибкими тросами (рис. 6.5, б) можно рассматривать как разновидность анкерного крепления.

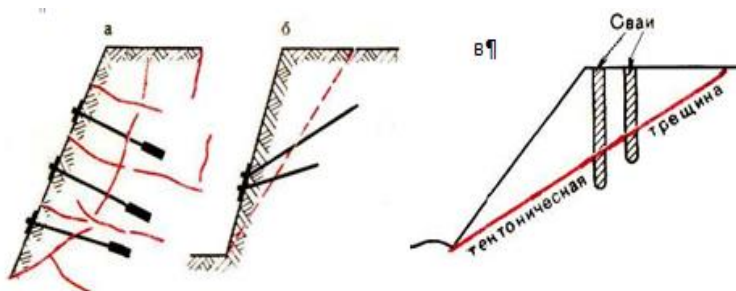


Рис.6.2. Схемы укрепления откосов:

а – анкерной крепью;

б – гибкими тросами; в – железобетонными сваями

Железобетонные сваи (рис. 6.5, в). Сущность способа заключается в бурении скважин в массиве горных пород, установке в них металлической арматуры (гибкой, жесткой, стальных канатов и др.) и последующем бетонировании или цементации скважины. Образованные в породном массиве сваи увеличивают его сопротивление сдвигу и несущую способность.

Синтетический фильтрующий материал. Метод укрепления горных пород с использованием синтетического фильтрующего материала заключается в вводе в породную или грунтовую конструкцию материала, обладающего необходимыми прочностью, водопроницаемостью и непроницаемостью для породных частиц определенного размера. Этот материал получил название «*геотекстильное полотно*», а метод, основанный на его применении, – «*геотекстильный метод*».

6.2.3. Способы укрепления, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород

К способам укрепления этой группы отнесены:

- бетонные покрытия;
- покрытия из химических материалов;
- биологический способ.

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

Покрытия из химических материалов. Этот способ основан на управлении свойствами и структурой грунта в укрепляемом поверхностном слое с помощью введения в него различных вяжущих веществ.

В процессе укрепления участвуют две физико-химические системы: грунт и структурообразователь (вяжущее). Процесс протекает на границе этих двух систем.

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

6.2.4. Способы укрепления, вызывающие существенное изменение состава, строения и свойств пород

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

Силикатизация применяется для повышения несущей способности пород в основаниях сооружений и для повышения устойчивости откосов при устройстве противофильтрационных завес.

Сущность способа заключается в нагнетании в массив горных пород через забитые в него иньекторы жидкого стекла (однорастворная силикатизация) или жидкого стекла и хлористого кальция (двухрастворная силикатизация). В результате физико-химического взаимодействия иньектируемых агентов с укрепляемой породой в ней образуется гидрогель кремнекислоты, который твердеет и обеспечивает повышение водоустойчивости, водонепроницаемости и прочности породы.

Смолизация. Сущность способа заключается в том, что в массив горных пород вводится (с поверхности или через иньекторы) синтетическая смола, связывающая минеральные частицы и придающая породам прочность и водонепроницаемость.

Электрохимическое укрепление применяют для повышения устойчивости уступов и бортов карьеров, стабилизации деформационных процессов, повышения несущей способности пород для обеспечения проходимости тяжелого горнотранспортного оборудования, укрепления слабых оснований отвалов (рис. 6.3).

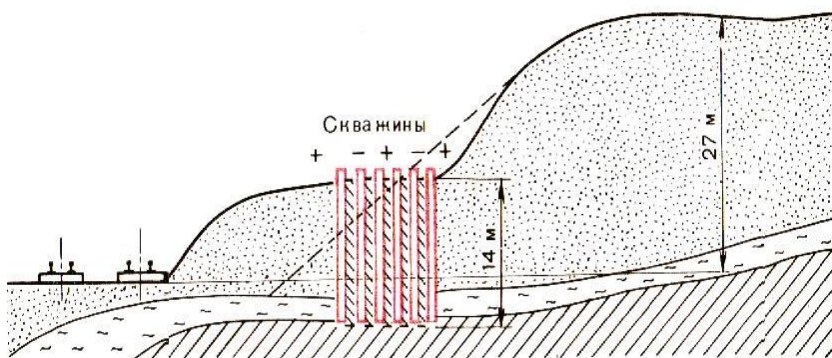


Рис. 6.3. Схема упрочнения пород борта карьера при помощи постоянного электрического поля

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

Миграция частиц-носителей обуславливает возникновение в породе электрического тока, сила которого пропорциональна концентрации подвижных частиц.

Осушение пород. Способы осушения пород включают: открытый водоотлив и глубинный дренаж с помощью скважин, оборудованных насосами и самоизливающимися, иглофильтров, вакуумирования, электроосушения и подземных систем осушения. Открытый водоотлив применяют для осушения трещиноватых полускальных и рыхлых несвязных пород.

Подземные системы осушения рекомендуется использовать в условиях многослойной толщи неустойчивых водоносных пород с несколькими разобщенными водоносными горизонтами. Достоинства подземных систем осушения – надежность и удобство в эксплуатации, возможность централизации водоотлива, низкая стоимость эксплуатации.

Наибольшее распространение в инженерной практике получили дренаж, анкеры, подпорные стенки и металлические сетки.

6.2.5. Методы управления деформационными процессами, связанные с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ

Наибольшее распространение в горной практике получили:

- снижение воздействия массовых взрывов в приконтурных зонах; область применения – скальные и полускальные трещиноватые породы;
- сдвигание и страивание стационарных уступов на проектном контуре; область применения – скальные и полускальные породы;
- оставление предохранительных целиков; область применения;

- необходимость сохранения промышленных сооружений, размещенных в пределах карьерного поля; отработка месторождения комбинированным (открытым и подземным) способами;
- временная пригрузка рабочего борта вскрышными породами; область применения – отработка краевых участков месторождения, стабилизация временно нерабочих бортов смежного карьерного поля;
- инженерно-геологические и гидрогеологические условия, ведущие к реализации деформационных процессов;
- управляемое обрушение уступов; область применения – неустойчивое состояние массива горных пород, созданное искусственным или естественным путем;
- наклонные предохранительные бермы, т. е. совмещение предохранительных и транспортных берм при постановке борта в предельное положение; область применения – карьеры, имеющие циркуобразную форму;
- предохранительные валы для защиты от деформаций горных пород;
- изменение конструкции борта карьера.

6.3. Способы укрепления откоса уступов

Проблема управления устойчивостью откосов и бортов карьера – это комплексная проблема, сочетающая наличие определённых условий и целенаправленных действий с возможностью осуществления контроля за результатами этих действий, корректуры соответствующих параметров.

В соответствии табл. 6.3 при разработке месторождений Акжал нами предложены и осуществлены следующие способы управления устойчивостью откосов: *укрепление уступов, упрочнение массива горных пород, снижение сейсмического действия взрывов.*

Разработан новый способ укрепления откоса уступов, включающий создание экранирующих зон путем бурения наклонных скважин, установку в них арматуры и наполнения укрепляющими растворами, что позволяет улучшить геомеханическую ситуацию в прибортовой зоне и обеспечить безопасную отработку месторождений.

Этот способ был использован для укрепления горных пород на участках бортов Коунрадского и Акжалского карьеров, склонных к деформациям. Укрепления откоса уступа осуществляют в соответствии с рис. 6.4 следующим образом.

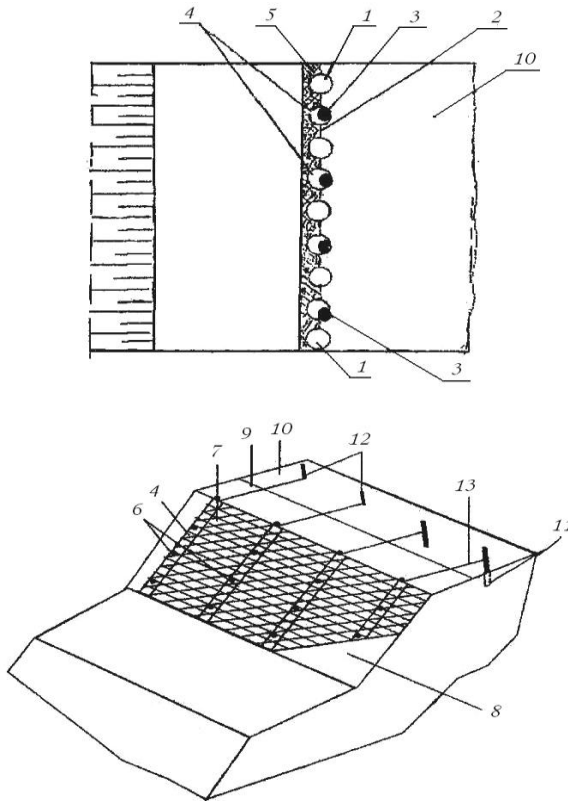


Рис. 6.4. Способ укрепления откоса уступа:

а – рабочая площадка уступа в плане;

б – укрепленный уступ в изометрии.

1 – экранирующие скважины;

2 – линия откоса; 3 – дополнительные скважины;

4 – арматуры; 5 – зона дробления; 6 – стержни; 7 – металлическая (строительная) сетка; 8 – укрепляющий раствор;

9 – плоскость сдвига; 10 – площадка уступа; 11 – вертикальные скважины; 12 – анкера; 13 – трос

При подходе горных работ к границе карьера бурят наклонные экранирующие скважины 1 с расстоянием между ними 3–5 м в зависимости от крепости породы. Между экранирующими скважинами 1 бурят дополнительные скважины 3 под тем же углом, что и экранирующие скважины и закладывают в них арматуру 4, в частности старые трубы, рельсы. Экранирующие скважины 1 заряжают и взрывают. После взрыва образуется зона дробления пород 5.

Дополнительные наклонные скважины 3 оборудуют кондукторами и осуществляют нагнетание в них укрепляющего раствора, например бетонной смеси, на всё глубину до верхней отметки с последующим его твердением. При этом арматура 4 должна прилегать к стенке скважины 3 со стороны откоса 2. Оставшийся горный массив перед линией откоса 2 взрывают. Затем проводят уборку взорванной горной массы и зачищают поверхность откоса 2. В результате обнажается арматура 4.

К арматуре приваривают стержни или крючки 6. Затем на них натягивают металлическую сетку 7 и закрепляют её. На сетку наносят слой укрепляющего раствора 8 (например, слой бетонного раствора) методом набрызга.

После того как слой раствора затвердеет, откос будет надёжно укреплен и защищен от выветривания.

Кроме того, за предполагаемой плоскостью сдвига 9 на площадке 10 уступа бурят вертикальные скважины 11 на глубину 3–4 м напротив дополнительных наклонных скважин 3 и устанавливают и в них анкеры 12. Между арматурой 4 и анкерами 12 натягивают тросы 13, что повышает надёжность укрепления откоса уступа.

Деформации пород на укрепленном участке впоследствии не наблюдались.

6.4. Составы цементирующих растворов для упрочнения трещиноватых горных пород

В практике открытой разработки месторождения наблюдается немало случаев, когда вследствие неправильной оценки устойчивости и принятия завышенных значений углов наклона бортов карьера происходили крупные оползни и обрушения, а

необоснованное уменьшение углов погашения приводило к значительным затратам по извлечению дополнительных объёмов вскрышных пород.

Одним из эффективных методов, позволяющих предотвратить такого вида деформации пород, является их искусственные укрепления, которые позволяют обеспечить необходимую устойчивость откосов уступов нерабочих бортов карьеров и в одних случаях предотвратить возможные обрушения пород на ослабленных участках, в других – значительно снизить объёмы вскрышных работ. Таким способом является их цементация. На карьерах цементация пород применяется следующим образом. С верхней площадки уступа бурятся вертикальные и наклонные скважины на расстоянии 4–6 м от друг друга и в них нагнетается цементный раствор до полного насыщения массива. Цементный раствор готовят на основе воды и цемента.

Известны следующие растворы для укрепления трещиноватых горных пород:

- 1) содержащий цемент, воду и хлористый кальций в количестве 1–2,2 % от массы цемента;
- 2) раствор, изобретённый Донецким научно-исследовательским угольным институтом, содержащий фосфогипсовое вяжущее, быстроотверждающаяся формальдегидная смола КФБ, щавелевая кислота, вода.

Эти растворы имеют высокую стоимость, а второй раствор необходимо ещё готовить непосредственно у скважины.

В качестве ближайшего аналога мы взяли раствор, содержащий цемент, песок и воду. Для того, чтобы снизить стоимость раствора, предлагаем ввести в цементный раствор для заполнения трещин отходы обогатительных фабрик (хвосты). Хвосты являются многотоннажным отходом производства и для их складирования выделяются большие площади. Хранение хвостов наносит большой вред окружающей среде. Негативное явление хвостов на окружающую среду проявляется в загрязнении атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова вредными веществами.

Нами исследован состав для укрепления арматуры в скважинах при упрочении горного массива с применением отходов

обогащительной фабрики. Широко известен состав для укрепления арматуры в скважинах, содержащий цемент, щебень и воду [20, 21], но он имеет недостаточную прочность и морозостойкость. Нами получен новый состав для укрепления арматуры в скважинах при упрочнении горного массива, позволяющего утилизировать отходы горного производства – хвосты обогащительных фабрик и повысить прочность и морозостойкость полученного материала.

Для достижения технического результата в состав, содержащий цемент, воду, в качестве наполнителя мы ввели хвосты обогащительной фабрики и дополнительно хлористый кальций, дисперсионные полимерные порошки мовилит и тилозу при следующем соотношении компонентов, масса, %: цемент – 20–25; хвосты обогащительных фабрик – 65–70; хлористый кальций – 1,0–1,5; мовилит – 0,2–0,4; тилоза – 0,1–0,2 и остальное – вода.

Соотношение компонентов получено экспериментально и является оптимальным для повышения прочности и морозостойкости. Содержание хвостов обогащительных фабрик в количестве, большем 70 %, не позволяет получить материал повышенной прочности, а в количестве меньшем 65 % не позволяет снизить значительно себестоимость состава.

Применение хлористого кальция, мовилита и тилозы в меньшем количестве, чем указано выше, не позволяет достичь необходимой прочности и морозостойкости, а в большем ведёт к повышению себестоимости состава.

Для получения состава в экспериментальных условиях использовали следующие сырьевые материалы (табл. 6.4):

1. Портландцемент М 400 Карагандинского цементного завода со следующими характеристиками: сроки схватывания – начало 2 ч 50 мин.; конец – 3 ч 40 мин; нормальная густота – 25,5 %, военцементное отношение $< 0,4$.
2. Хвосты – отходы обогащительной фабрики Балхашского горно-металлургического комбината (БГМК).
3. Хлористый кальций (CaCl_2), являющийся ускорителем твердения.
4. Дисперсионный полимерный порошок мовилит АМ 2572 и тилоза МВ 15009 – продукция фирмы «Клариант» (Германия). Составы приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Составы раствора

Состав	Количество, масс. %			
	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Прототип
Цемент	20	22,5	25	28
Щебень	–	–	–	64
Хвосты ОФ	70	67,5	65	–
Хлористый кальций	1,5	1,25	1,0	–
Мовилит АМ 2572	0,4	0,3	0,2	–
Тилоза МВ 15009	0,1	0,15	0,2	–
Вода	8,0	8,3	8,6	8,0

После дозирования компонентов: цемент, хвосты обогатительных фабрик и дисперсионные полимерные порошки мовилит и тилозу загружали в бетономешалку, тщательно перемешивали, а затем добавляли хлористый кальций и воду. Полученную смесь тщательно перемешивали и формовали образцы размерами 4х4х16 см и уплотняли на виброплощадке в течение 45 секунд. Через сутки образцы извлекали из форм и хранили во влажных условиях 28 сут, а затем проводили физико-механические испытания. Аналогичным образом изготавливали и образцы по «прототипу» (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Физико-механические свойства полученного материала

Примеры	Плотность бетона	Морозостойкость,	Предел прочности, МПа, на:	
			сжатие	изгиб
1	2000	50	41,2	7,4
2	2100	50	41,9	7,5
3	2200	50	42	7,8
«прототип»	2200	35	40,2	5,8

Как видно из табл. 6.2, предлагаемый состав позволяет утилизировать отходы горного производства – хвосты обогатительных фабрик и имеет более высокую прочность и морозостойкость. На основании проведённых исследований получены патенты на раствор для укрепления трещиноватого горного массива и на состав для упрочнения горного массива.

Химический состав хвостов обогатительной фабрики БГМК представлен следующим содержанием окислов, мас. %: SiO_2 – 62,1; CaO – 5,6; Fe_2O_3 – 13,1; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ – 6,48; MgO – 1,6; K_2O – 1,5; Na_2O – 0,84; SO_3 – 3,8; прочие – 4,6. Грануляционный состав хвостов ОФ БГМК приведен в табл. 6.4.

Таблица 6.4
Грануляционный состав хвостов ОФ БГМК

Размеры сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Менее 0,14	Модуль крупности
Полные остатки, %	0,2	0,4	1,2	5,8	25,3	74,3	0,33

Хвосты содержат от 10 до 15 % глинистых минералов: гидромусковита, гидрослюда: 4,46; 3,707; 2,986; 2,556; 1,993; 1,498; 1,389. Данные анализов подтверждаются результатами рентгенографического анализа рис. 6.5.

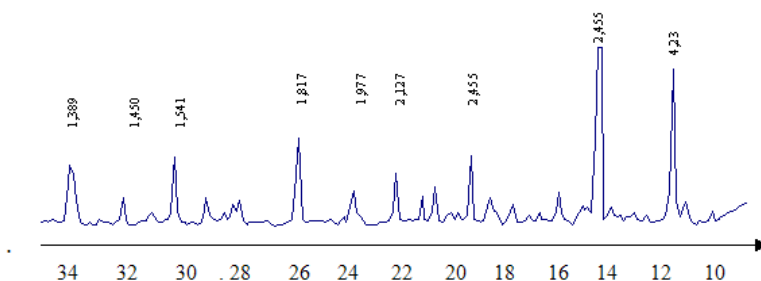


Рис. 6.5. Рентгенографический анализ хвостов БГМК

Указанное соотношение компонентов получено экспериментально и является оптимальным. С одной стороны, необходимой текучести раствора и адгезии, а с другой – для получения материала необходимой прочности после схватывания его с горными породами.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы создать раствор для укрепления горных пород, обладающий низкой стоимостью, достаточной текучестью для заполнения мелких трещин и адгезией к горным породам, высокой прочностью.

Использование хвостов обогатительных фабрик позволяет снизить себестоимость состава и повысить прочность материала. Увеличение количества цемента более 3,5 %, а мовилита более 4 % увеличивает себестоимость состава. Уменьшение количества цемента менее 30 %, а мовилита менее 3 % ведёт к снижению адгезии состава с горными породами и снижению прочности полученного материала.

Увеличение количества хвостов обогатительных фабрик более 50% снижает текучесть раствора и его адгезию с горными породами, а уменьшение менее 45 % повышает себестоимость состава. Результаты физико-механических испытаний представлены в табл. 6.5.

Таблица 6.5
Физико-механические свойства раствора

Состав раствора, мас. %					Показатели		
Примеры	Цемент	Хвосты Оф	Мовилит	Вода	Пределпрочн. на сжат., МПа	Предел прочн. на изгиб, МПа	Осадка конуса, мм
1	30	50	4	16	32,5	4,7	150
2	32,5	47,5	3,5	16,5	32,6	5,2	145
3	35	45	3	17	37,2	5,8	143

Данные наших исследований подтверждают, что предлагаемый состав раствора для укрепления трещиноватого массива должен быть в следующем соотношении, мас. %: цемент – 30–35, хвосты обогатительных фабрик – 45–50, мовилит – 3–4, остальное – вода.

6.5. Составы для закрепления пылящих поверхностей отвалов и других объектов

Известен состав для закрепления пылящих поверхностей отвалов горных пород и хвостов обогатительных фабрик (Патент РФ № 2148720, МПК Е 21F 5/06, опубл. 10.05.2000 г.). Он содержит пластификатор адипиновый щелочной, келовой-скую порошкообразную глину, извлекаемую попутно с железной рудой, и воду. Покрытие, полученное из известного состава, имеет недостаточную прочность и долговечность.

Известен также состав для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ и других объектов, приведенный в патенте РФ № 2151301, МПК Е21F 5/16, опубликовано. 25.08.1998 г. Он содержит, мас. %: поливинилбутираль – 50–70 и остальное – хвосты обогатительных фабрик. Смесь ровным слоем распределяют на покрываемом участке и с помощью газовых горелок нагревают до температуры плавления поливинилбутираля 250–300 градусов. Прочность покрытия составляет 10,3 МПа. Недостатком этого состава является недостаточная прочность и атмосферостойкость получаемого покрытия, а также трудоемкость его нанесения.

В основу изобретения положена задача создания состава для закрепления пылящих поверхностей отвалов, содержащего отходы производства, и покрытие из которого обладает высокой прочностью и атмосферостойкостью.

Для достижения указанного результата разработан состав, содержащий хвосты обогащения и воду, отличающийся тем, что дополнительно содержит цемент и дивинилстирольный латекс при следующем соотношении компонентов, мас. %: хвостыОФ – 40; цемент – 20; дивинилстирольный латекс – 6 и остальное вода. Используемые в составе хвосты обогащения являются отходами производства обогатительных фабрик, а дивинилстирольный латекс – отходом производства каучука. Применение в составе цемента позволяет получить покрытие, имеющее высокую

прочность и более высокую адгезию к частицам пылящей поверхности, но не препятствует естественному развитию травяного покрова.

Увеличение количества цемента более 25 % увеличивает себестоимость покрытия и снижает его агрономические свойства, а уменьшение менее 20 % ведёт к снижению адгезии состава с пылящей поверхностью и снижению прочности материала покрытия. Увеличение количества латекса более 6 % увеличивает себестоимость покрытия, а уменьшение менее 5 % ведёт к снижению адгезии состава с пылящей поверхностью и снижению прочности материала покрытия.

Для получения композиции используют следующие сырьевые материалы: Портландцемент М 400 Карагандиского цементного завода и Хвосты ОФ Зыряновского горно-обогатительного комбината (ЗГОК).

Хвосты обогащения ЗГОК имеют следующее содержание окислов: SiO_2 – 63,2; CaO – 6,7; FeO_3 – 12,1; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_3$ – 6,8; MgO – 1,4; K_2O – 1,7; Na_2O – 0,80; SO_3 – 2,8; nnn – 4,4.

Грануляционный состав хвостов обогатительной фабрики ЗГОК приведен в табл. 6.6.

Таблица 6.6
Грануляционный состав хвостов обогащения ЗГОК

Размеры сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Менее 0,14	Модуль крупности
Полные остатки	0,1	0,3	1,1	5,6	26,8	7,35	0,33

После дозирования компонентов цемент, хвосты обогащения и латекс загружают в бетономешалку и тщательно перемешивают. Затем добавляют воду и перемешивают. Раствор доставляют в хвостохранилище и на поверхности отвалов. Примеры составов приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7
Составы примеров

Компоненты, мас. %	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Цемент	20	22,5	25
Хвосты обогащения	40	37,5	35
Дивинилстирольный латекс	6	5,5	5
Вода	34	34,5	35

Для определения прочности и морозостойкости из полученных составов формировали образцы 2х2х2 см. Через сутки образцы извлекали из форм и хранили во влажных условиях 28 сут, а затем проводили физико-механические испытания, результаты которых представлены в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Физико-механические свойства состава

Показатели	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Предел прочн.на сжатие, МПа	22,5	25,6	27,2
Морозостойкость, циклы	10	12	15

Необходимо также отметить, что применение разработанных растворов, обеспечивает укрепления слабых участков бортов карьера и позволяет существенно уменьшить вредное влияния отходов обогатительных фабрик на окружающую среду.

Контрольные вопросы:

1. Каково воздействия открытого способа разработки месторождения на окружающую среду?
2. Технологические методы управления геомеханическим состоянием массива горных пород на карьерах.
3. Способы укрепления откоса уступов.
4. Составы цементирующих растворов для упрочнения трещиноватых горных пород.
5. Составы для закрепления пылящих поверхностей отвалов и других объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Певзнер М. Е. Геомеханика. / М. Е. Певзнер, М. А. Иофис, В. Н. Попов. – М.: МГГУ, 2008. – 438 с.
2. Руппенейт К. В., Либерман Ю.М. Введение в механику горных пород. / К. В. Руппенейт, Либерман Ю. М. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 175 с.
3. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. – М.: Изд. АН СССР, 1942.
4. Голушкевич С. С. Статика предельных состояний грунтовых масс: Монография / С. С. Голушкевич. – М.: ГИТТЛ, 1957.
5. Фисенко Г. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г. Фисенко. – М.: Недра, 1965. – 360 с.
7. Машанов А. Ж. Механика массива горных пород / А. Ж. Машанов. – Алма-Ата: Наука, 1961. – 207 с.
8. Попов И. И. Борьба с оползнями на крьерах. / И. И. Попов, Р. П. Окатов. – М.: Недра, 1980. – 205 с.
9. Попов И. И. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов: Учебник / И. И. Попов, Р. П. Окатов, Ф. К. Низаметдинов. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 255 с.
10. Турчанинов И. А. Основы механики горных пород: Учебник / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Л.: Недра, 1989.
11. Протодьяконов М. М. О рациональной классификации горных пород // В кн.: Исследование физико-механических свойств и взрывного разрушения горных пород / М. М. Протодьяконов. – М.: Наука, 1970.
12. Машанов А. Ж. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау /А. Ж. Машанов, М. Е. Певзнер, Ш. С. Бекбасаров. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 120 с.
13. Ильницкая Е. И. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая и др. – М.: Недра, 1965.
14. Нурпеисова М. Б. Геомеханика рудных месторождений Казахстана / М. Б. Нурпеисова. – Алматы: КазНТУ, 2012.– 324 с.
15. Машанов А. Ж. Геомеханика: Учебник / А. Ж. Машанов, М. Б. Нурпеисова – Алматы: КазНТУ, 2000. – 124 с.
16. Надаи А. Пластичность / А.Надаи.– М., Л, 1936. – 240 с.

17. *Ержанов Ж. С.* Теория ползучести горных пород / *Ж. С. Ержанов.* – Алма-Ата: Наука, 1970. – 195 с.
18. *Нурпеисова М. Б.* Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов: Учеб. пособие / *М. Б. Нурпеисова, Х. М. Касымканова, Ж. С. Ержанов.* – Алматы: КазНТУ, 2006. – 131 с.
19. *Певзнер М. Е.* Деформация горных пород на карьерах / *М. Е. Певзнер.* – М.: Недра, 1992. – 186 с.
20. *Бек А. Ш.* Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов: Учеб. пособие / *А. Ш. Бек.* – Алматы: КазНТУ, 2009. – 180 с.
21. *Певзнер М. Е.* Свойства горных пород Каратауского фосфоритоносного бассейна / *М. Е. Певзнер, М. Б. Нурпеисова, М. Е. Кривошейна.* – М.: Труды ГИГХСа, 1971. – С. 22–26.
22. *Машанов А. Ж.* Геомеханика: Учебник / *А. Ж. Машанов, М. Б. Нурпеисова.* – Алматы: КазНТУ, 2000. – 124 с.
23. *Ержанов Ж. С.* Теория ползучести горных пород / *Ержанов Ж. С.* – Алма-Ата: Наука, 1970. – 195 с.
24. *Нурпеисова М. Б.* Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов / *М. Б. Нурпеисова, Х. М. Касымканова.* – Алматы: КазНТУ, 2006. – 131 с.
25. *Бек А. Ш.* Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов. – Алматы: КазНТУ, 2010. – 185 с.
26. *Ожигин С. Н.* Определение элементов залегания трещин с помощью 3D сканера // Тр. Междун. науч. конф.: «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан–2030» / *С. Н. Ожигин, Р. Ф. Низаметдинов.* – Караганда: КарГТУ, 2009. – Вып. 2. – С. 87–89.
27. Указания по охранезданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок месторождения Аксай. – Алматы: КазПТИ, 1992. – 30 с.
28. Указания по охранезданий и окружающей среды от вредного влияния горных разработок месторождения Акбакай». – Алматы: КазНТУ, 1994. – 35 с.
29. Предварительный патент РК № 14023. Способ укрепления уступа карьера / *М. Б. Нурпеисова, А. Ш. Бек, Х. М. Касымханова и др.* Оpubл. 05.12.2003.
30. Инновационный патент РК № 14475. Состав для укрепления арматуры в скважинах при упрочнении горного массива /

М. Б. Нурпеисова, А. Ш. Бек, Х. М. Касымханова и др. Оpubл. 13.04.2008.

31. Инновационный патент РК № 14476. Раствор для укрепления трещиноватых горных пород / *М. Б. Нурпеисова, А. Ш. Бек, Х. М. Касымханова.* Оpubл. 13.04.2009.

32. Инновационный патент РК № 19861. Состав для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ и других объектов /*М. Б. Нурпеисова, Х. М. Касымканова, А. Ш. Бек.* Оpubл. 26.02.2007.

33. *Нурпеисова М. Б.* Геомеханический мониторинг при- бортовых массивов: Учеб. пособие / *М. Б. Нурпеисова, Г. М. Кыргызбаева.* – Алматы: КазНТУ, 2014. – 205 с.

ГЛОССАРИЙ

Абрис – схематический чертеж участка, на котором нанесены все результаты полевых наблюдений цифровыми данными и графическими построениями.

Активный разлом – такое дизъюнктивное тектоническое нарушение геологических тел на поверхности и / или в недрах земли.

База данных – совокупность данных, необходимая и достаточная для решения определенной задачи обработки и интерпретации материалов по месторождению, приведенная к виду для использования в компьютерной обработке.

Берма – горизонтальная или слабонаклонная площадка на нерабочем борту карьера.

Борт карьера – боковая поверхность карьера, образованная совокупностью откосов и площадке уступов.

Буссоль – прибор для измерения на местности или в шахте магнитных азимутов.

Буровзрывные работы – совокупность производственных процессов по обуиванию массива и от делению взрывом части горных пород.

Вектор сдвижения – графическое масштабное изображение в ви де направленного отрезка прямой, величина которого пропорциональна абсолютной величине и нправлению смещения в пространстве.

Вертикальные деформации – деформации земной поверхности в вертикальной плоскости, вызванные неравномерностью вертикальных сдвижений.

Внезапный выброс – самопроизвольный выброс газа, твердого полезного ископаемого или вмещающей породы в под-земную горную выработку из забоя.

Внезапный прорыв вод и плывунов – усиленное поспу-ление в горную выработку воды или рыхлых водонасыщенных пород.

Воронка – провал на земной поверхности ебольших размеров, имеющий в горизонтальном сечении форму, близкую к окружности.

Геодинамика – научная дисциплина, изучающая движения, происходящие в земной коре, мантии и ядре и принципы этих движений.

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

Геодинамический мониторинг – система наблюдений, анализа и прогноза современного геодинамического состояния недр, проводимая в пределах рассматриваемой природно-технической системы.

Геоид – фигура Земли, ограниченная уровенной поверхностью, совпадающей в открытых морях и океанах с их спокойной поверхностью.

Геологическая информация – информация о геологическом строении недр, находящихся в них полезных ископаемых, об условиях их разработки, а также иных качествах и особенностях недр, содержащихся в геологических отчетах, картах и других материалах.

Геомеханика – наука о механических состоянии массива горных пород и процессах деформирования и разрушения, происходящих в нем в определенных природных условиях под влиянием горнотехнических факторов.

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

Геомеханический мониторинг – система комплексных наблюдений, анализа и прогноза сдвижения горных пород и земной поверхности, проводимая в пределах рассматриваемой природно-технической системы.

ГЛОНАСС – глобальная спутниковая навигационная система.

Горизонтальное сдвижение – горизонтальная составляющая вектора сдвижения точки в мульдe сдвижения земной поверхности.

Горизонтальные деформации растяжения или сжатия – деформации земной поверхности в горизонтальной плоскости, вызванные неравномерностью горизонтальных сдвижений.

Горный компас – прибор для определения элементов залегания горных пород и ориентирования на местности.

Графики сдвижений и деформаций – линии, изображающие в определенном масштабе распределение величин сдвижений и деформаций земной поверхности на профильной линии.

Деформация горных пород – изменение положения частиц массива горных пород под действием сил.

Диаграммы трещиноватости – диаграммы или решетки для выделения активных систем трещин по их ориентировке.

Допустимые деформации – деформации, могущие вызвать такие повреждения в сооружениях, при которых для дальнейшей эксплуатации их по прямому назначению проведения текущих ремонтных работ.

Естественное напряженное состояние горных пород – совокупность напряженных состояний, формирующихся в массиве горных пород (в недрах) вследствие воздействия природных факторов.

Зона – часть массива горных пород или земной поверхности, подвергшаяся влиянию очистных работ.

Зона обрушения – часть области сдвижения горных пород, расположенная непосредственно над выработанным пространством, в которой породы наиболее деформированы и разделены на отдельные куски и мелкие блоки.

Зона разрывов сплошности горных пород – часть области сдвижения, расположенная над зоной обрушения и характеризующаяся развитием в прогибающихся слоях секущих трещин и трещин расслоения.

Зона прогиба – часть области сдвижения, в которой слои горных пород прогибаются без разрыва их сплошности.

Зона опорного давления – зона повышенного горного давления (ПГД).

Зона трещин и провалов – часть мульды сдвижения, на которой в результате влияния горных разработок возникают трещины и провалы.

Искусственное укрепление горных пород – мероприятия, направленные на повышения устойчивости горных пород.

Исходный репер – репер, заложенный в районе наблюдательной станции на участке, не подвергающемся сдвигу и служащий для передачи от метки на опорные реперы станции.

Коэффициент Пуассона – характеристика деформационных свойств горных пород.

Коэффициент структурного ослабления – отношение прочности горных пород в массиве и в образце.

Кратность подработки – отношение глубины горных работ к вынимаемой мощности рудного тела при подработке сооружений.

Кривизна мульды сдвига – отношение разности наклонив двух соседних интервалов мульды к полусумме длин этих интервалов.

Критические деформации земной поверхности – величины деформации земной поверхности, принятые для определения границ зоны опасного влияния подземных разработок и улов сдвига: кривизна $k = 0,2 \cdot 10^{-3}$, наклон $i = 4 \cdot 10^{-3}$, горизонтальное растяжение $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ при длинах интервалов 15–20 м.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов – процесс маркшейдерских измерений, вычислений и графических работ для своевременного получения информации о деформациях уступов, бортов карьеров и отвалов.

Мульда сдвига – участок земной поверхности, подвергшийся сдвигу под влиянием подземных разработок.

Наблюдательная станция – совокупность реперов, заложённых по определенной системе на земной поверхности, в подземных выработках или сооружениях с целью проведения наблюдений за сдвигом земной поверхности.

Напряжение – сила, вызывающая деформации упругой среды.

Область сдвига горных пород – часть массива горных пород, подвергшаяся сдвигу под влиянием горных разработок.

Общая продолжительность процесса сдвига – период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвига.

Окончание процесса сдвига – срок, после окончания которого суммарные оседания на протяжении 6 месяцев не превышают 10% максимальных, но не более 30 мм.

Опасные деформации земной поверхности – деформации, вызывающие в расположенных на ней сооружениях повреждения, нарушающие нормальную эксплуатацию сооружений.

Опорное давление – давление покрывающих горных пород на массив и целики пологого ископаемого, возникающие вследствие перераспределения напряженного состояния массива горных пород.

Опорный репер – репер профильной линии, заложены на участке наблюдательной станции, не подвергающемся сдвигу, и служащий исходным для наблюдения на данной профильной линии.

Оседание земной поверхности – вертикальное смещение горных пород в результате сжатия, уплотнения или других видоизменений.

Охрана недр – система мероприятий, реализация которых обеспечивает соблюдение установленного порядка пользования недрами при их геологическом изучении, добыче полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, захоронении промышленных отходов и т.д.

Параметры процесса сдвига – величины, характеризующие процесс сдвига земной поверхности, зависящие от горно-геологических условий разработки.

Паспорт прочности горной породы – совокупность показателей, характеризующих прочность горной породы.

Плоское дно мульды сдвига – часть мульды сдвига, в пределах которой оседания имеют максимальные величины.

Поверхность скольжения – поверхность в массиве борта карьера, являющаяся геометрическим местом точек максимальных сдвигов горных пород и отделяющая смещающуюся часть от неподвижной части массива.

Подрабатываемые объекты – объекты (здания, сооружения, шахтные отвалы, водные объекты и др.), попадающие в зону влияния подземных разработок (мульды сдвига).

Ползучесть – способность горной породы длительно деформироваться во времени при постоянной нагрузке.

Полная серия наблюдений – комплекс наблюдений, включающий измерения по реперам в вертикальной и горизонтальной

горизонтальных плоскостях, а также определение положения трещин относительно границ горных выработок.

Предохранительная берма – полоса на плане, прилегающая к контуру охраняемого объекта, внешняя граница которой является исходной для построения предохранительного целика.

Предохранительный целик – часть рудного тела оставляемая в недрах, в целях предотвращения опарного влияния горных выработок на охраняемые объекты.

Прибортовой массив – часть массива горных пород, заключенная между бортом карьера и линией, ограничивающей область возможных микроподвижек в массиве.

Прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности – комплекс вычислительных работ и графических построений, позволяющих определять ожидаемые деформации земной поверхности при известных горно-геологических условиях разработки месторождения.

Противодеформационные мероприятия на карьерах – комплекс профилактических мер, направленных на предупреждение, локализацию и предотвращение опасных деформаций рифмов отвалов, уступов и бортов карьеров.

Сдвиг горных пород – перемещение и деформирование массива горных пород в результате нарушения их естественного равновесия под влиянием горных выработок.

Сдвиг земной поверхности – перемещение и деформирование земной поверхности в результате сдвига горных пород под влиянием горных выработок.

Специальная наблюдательная станция – наблюдательная станция, заложенная с целью детального изучения отдельных вопросов процесса сдвига: взаимосвязи деформаций сооружения и основания (грунта) и др.

Тензор деформации – величина, определяющая деформированное состояние в рассматриваемой точке массива горных пород.

Трещиноватость горных пород – расчленение горных пород на структурные блоки.

Целик – часть залежи поленого ископаемого, неизвлеченная или временно не извлекаемая в процессе разработки месторождения.

Частотные наблюдения – часто повторяемые серии наблюдений на профильных линиях с промежутками во времени не более одного месяца с целью определения отдельных параметров сдвижения.

Экзогенные факторы – это внешние по отношению к массиву горных пород факторы, определяющие его выветривание, эрозию, температурный режим и другие процессы, обусловленные климатическими условиями.

Эндогенные факторы – это внутренние по отношению к массиву горных пород факторы, обусловленные в основном эволюцией Земли как планеты и проявляющиеся в виде тектонических движений, процессов магматизма, метаморфизма и др.

Содержание

	Введение.....	3
1.	Общие сведения о предмете деформации горных пород на карьерах.....	6
1.1.	Предмет, содержание, цель и задачи.....	6
1.2.	Деформации горных пород – учебная дисциплина в системе подготовки кадров для недропользования.....	9
1.3.	Деформации горных пород – научная дисциплина в системе горных наук.....	11
1.4.	Деформации горных пород на карьерах – составная часть недропользования.....	15
1.5.	Полезные ископаемые Казахстана.....	20
2.	Деформации горных пород на карьерах.....	30
2.1.	Виды деформации карьерных откосов.....	30
2.2.	Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров.....	34
2.3.	Методы оценки устойчивости прибортовых массивов карьеров.....	42
3.	Мониторинг геомеханических процессов на карьерах.....	47
3.1.	Создание си темы геомеханического мониторинга.....	47
3.2.	Общая методика маркшейдерских наблюдений.....	52
3.3.	Мониторинг деформационных процессов.....	58
3.3.1.	Наблюдение за устойчивости откосов на основе электронных тахеометров.....	58
3.3.2.	Использование спутниковых систем в маркшейдерских наблюдениях.....	59
3.3.3.	Атоматическая наблюдательная станция на карьерах.....	63
3.3.4.	Графический способ определения поверхности скольжения.....	66
3.3.5.	Результаты мониторинга деформаций пород прибортовых массивов на карьерах Казахстана.....	70

4.	Механические свойства горных пород и методы их изучения.....	75
4.1.	Состав и строение горных пород.....	75
4.2.	Свойства горных пород	79
4.2.1.	Классификация свойства горных пород.....	80
4.2.2.	Классификация механических свойств горных пород	84
4.3.	Определение прочностных свойств горных пород.....	86
4.3.1.	Определение прочности пород в лабораторных условиях.....	86
4.3.2.	Определение прочности пород на сдвиг в натуральных условиях с помощью гидродомкрата...	87
4.3.3.	Результаты определения прочностных свойств пород.....	90
4.4.	Взаимосвязь между свойствами пород и глубиной их залегания.....	96
4.5.	Паспорт прочности горной породы.....	105
5.	Структурные особенности массива горных породы методы их изучения.....	111
5.1.	Структурно-тектонические особенности массива горных пород.....	111
5.1.1.	Трещинная тектоника рудных полей и месторождений.....	111
5.1.2.	Структурные особенности горного массива.....	118
5.2.	Методы изучения структурных особенностей массива.....	122
5.3.	Обработка результатов съемки трещиноватости массива.....	128
5.3.1.	Выделение активных систем трещин на диаграммах	128
5.3.2.	Метод построения диаграмм трещиноватости с помощью компьютерной техники.....	132
5.4.	Влияние структурных особенностей массива на процесс сдвижения.....	137
6.	Методы управления деформационными процессами на карьерах.....	144

6.1.	Степень воздействия открытого способа разработки месторождения на окружающую среду.....	144
6.2.	Технологические методы управления геомеханическим состоянием массива горных пород на карьерах	149
6.2.1.	Общие сведения о методах управления.....	149
6.2.2.	Способы укрепления, не вызывающие изменения состава, строения и свойств пород.....	151
6.2.3.	Способы укрепления, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород.....	153
6.2.4.	Способы укрепления, вызывающие существенное изменение состава, строения и свойств пород.....	153
6.2.5.	Методы управления деформационными процессами, связанные с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ....	155
6.3.	Способы укрепления откоса уступов.....	156
6.4.	Состав цементирующих растворов для упрочнения трещиноватых горных пород.....	158
6.5.	Состав для закрепления пылящих поверхностей отвалов и других объектов	164
	Библиографический список.....	167
	Глоссарий.....	170

Учебное издание

Нурпеисова Маржан Басановна

ДЕФОРМАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

Учебное пособие

Нач. ОППНП РУ ДСО

Редактор

Компьютерная верстка

З. А. Губайдулина

З. А. Губайдулина

А. А. Кадирсизова

Подписано в печать 16.02.2017 г.

Тираж 300 экз. Формат 60х84х 1/16. Бумага типогр. № 1.

Уч.-изд.л.11,3. Усл. п.л. 10,5. Заказ № 797. Цена договорная.

Издание Казахского национального исследовательского
технического университета имени К. И. Сатпаева

Департамент по связям с общественностью КазННТУ

Издательское управление

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-070-2



9