

**Руководство по оценке рисков развития деформаций,
мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов,
карьеров, разрезов и откосов отвалов**

Оглавление

Введение	3
1. Общие положения, термины и определения	4
2. Оценка и управление геомеханическими рисками	11
2.1. Основные принципы оценки рисков	11
2.2. Идентификация рисков	13
2.3. Анализ выявленных рисков	15
2.4. Управление геомеханическими рисками	27
3. Мониторинг	28
3.1. Организация мониторинга устойчивости откосов	28
3.2. Визуальный, фотограмметрический мониторинг	35
3.3. Маркшейдерский мониторинг	36
3.4. Радарный мониторинг (наземный)	57
3.5. Радарный мониторинг (аэрокосмический)	60
3.6. Геотехнический мониторинг	61
3.7. Геофизический мониторинг	64
3.8. Гидрогеологический мониторинг	67
3.9. Особенности мониторинга устойчивости отвалов	73
3.10. Критерии безопасности и система оповещения по результатам наблюдений	74
4. Мероприятия по управлению устойчивостью	80
4.1. Выбор мероприятий по управлению устойчивостью откосов	80
4.2. Способы и схемы укрепления откосов	92
4.3. Специальные способы буровзрывных работ при постановке уступов в предельное положение	106
4.4. Снижение влияния подземных и поверхностных вод на устойчивость бортов и уступов карьеров и разрезов	115
4.5. Ликвидация карьеров и отвалов	119
5. Приложения	122
Приложение А – Примеры геомеханических рисков	122
Приложение Б – Пример идентификации рисков	145
Приложение В – Методика оценки риска для персонала, техники, объектов инфраструктуры	147
Приложение Г – Рекомендации по созданию геомеханической службы	151
Приложение Д – Паспортизация деформаций	153
Приложение Е – Примеры уровней геомеханических опасностей для визуальной оценки	156

Введение

Приведенные в настоящем руководстве предложения и требования к оценке и управлению рисками, организации мониторинга и выработке мероприятий по управлению устойчивостью бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов носят рекомендательный характер и поясняют основные принципы.

Основным документом, устанавливающим требования к выполнению расчетов устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов, являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» (далее ФНиП).

При составлении «Руководства» учтен накопившийся за последние десятилетия опыт, который включает в себя как уже разработанные ранее и апробированные годами методы и способы, так и новые разработки и международный подходы.

Оценка и управление рисками, организация мониторинга и выработка мероприятий по управлению устойчивостью выполняются на всех этапах освоения месторождения для обеспечения его бесперебойной и безаварийной эксплуатации.

1. Общие положения, термины и определения

Активная стадия развития деформаций откосов – период с момента появления видимых признаков разрушения массива горных пород до начала стадии затухания деформаций.

Анализ риска аварии – процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей среды.

Вектор смещения – направленный отрезок, изображающий в некотором масштабе абсолютное смещение отдельной точки дневной поверхности или массива горных пород в пространстве на определенный момент времени. При обработке маркшейдерских измерений вектора смещений строятся на каждую серию наблюдений, т.е. характеризуют смещение реперов за период между наблюдениями.

Вероятность обрушения (деформации) – качественная или количественная оценка возможности обрушения (деформации) или показатель частоты его проявления.

Вертикальные деформации – характеризуют изменение положения точек дневной поверхности или массива горных пород в вертикальной плоскости. Различают абсолютные и относительные вертикальные деформации, последние вызваны неравномерностью смещения точек (реперов) в вертикальной плоскости.

Время стояния откоса - измеряется промежутком времени, в течение которого откос находился в нерабочем состоянии. Время стояния включает в себя продолжительность скрытой стадии деформаций откоса.

Геомеханический риск – произведение вероятности обрушений бортов и уступов карьеров, разрезов, отвалов и тяжести их последствий.

Горизонтальные деформации - характеризуют изменение положения точек дневной поверхности или массива горных пород в плане. Различают абсолютные и относительные горизонтальные деформации. Последние вызваны неравномерностью смещения отдельных точек (реперов) в плане, что приводит к сжатию или растяжению массива.

Глубина развития деформации - расстояние (по горизонтали) от первоначального положения верхней бровки (контура карьера) откоса до последней визуально прослеживаемой трещины в направлении, противоположном направлению движения смещенных масс.

Графики сдвижений и деформаций - линии, изображающие в определенном масштабе распределение величин сдвижений и деформаций земной поверхности или горных пород на профильной линии. Различают графики (кривые): а) вертикального

сдвижения (оседания); б) горизонтального сдвижения; в) горизонтальных деформаций (сжатий и растяжений); г) скорости смещения.

Деформация горных пород – изменение формы и объема горных пород под действием различного рода сил (гравитационных, сейсмических, внешних пригрузок от горнотранспортного оборудования и т.д.). Различают упругие, пластические и разрывные деформации. При упругих деформациях после снятия нагрузки форма тела восстанавливается. Пластические и разрывные деформации необратимы. Большинство горных пород при повышении нагрузок претерпевает все три стадии деформирования. У глинистых пород упругая деформация практически отсутствует.

Закол – визуально прослеживаемая трещина на верхней площадке уступа или дневной поверхности, образовавшаяся в результате развития деформаций откоса.

Заоткоска уступа – цикл технологических операций по постановке уступов в конечное положение для придания откосу уступа карьера, разреза заданного угла, обеспечивающего его длительную устойчивость.

Искусственное укрепление горных пород – мероприятия, направленные на повышение устойчивости горных пород в условиях их естественного залегания.

Исходный репер – репер или пункт геодезической сети, заложенный в районе наблюдательной станции или за ее пределами, на участке, не подвергающемся сдвигению, и служащий для передачи координат на опорные реперы станции.

Критерии безопасности – значения количественных и качественных показателей состояния сооружения (объекта) и условий его эксплуатации, соответствующие работоспособному и предаварийному состоянию сооружения (объекта).

Критическая деформация – деформация массива горных пород, приводящая к аварийному состоянию сооружения (объекта).

Мониторинг – комплексная система регламентированных периодических или непрерывных наблюдений, оценки и прогноза состояния объекта контроля с целью выявления негативных изменений и разработки рекомендаций по их устранению или снижению, обеспечивающих выполнение требований безопасности и надежности объекта. Виды мониторинга: визуальный – визуальные обследования состояния откосов, маркшейдерский – выполняется маркшейдерско-геодезическими инструментами (призменный – с использованием электронно-оптических приборов с наблюдениями по отражательным призмам, спутниковый – с использованием спутникового оборудования, лазерное сканирование поверхности откоса, упрощенный – наблюдения за раскрытием трещин или активными деформационными процессами с линейными измерениями смещений или деформаций массива по линии максимального развития деформаций),

радарный – выполняется с использованием радаров мониторинга сдвижений в автоматизированном режиме и реальном времени, со сплошной зоной покрытия области мониторинга и отслеживанием быстроразвивающихся деформационных процессов, глубинный – мониторинг стационарно установленными в скважины датчиками (пьезометры, инклинометры, экстензометры, геофоны) с автоматической записью и передачей информации, геофизический – представлен системами сейсмического мониторинга, фотограмметрический – автоматизированный сбор геолого-структурных данных методами фотограмметрии, аэрокосмический – мониторинг осадок земной поверхности методом спутниковой интерферометрии, гидрогеологический – мониторинг за изменением уровней подземных вод и порового давления, участков высачивания, геотехнический – включает в себя возможные модификации методов мониторинга и другие системы в целях мониторинга состояния откосов.

Наблюдательная станция – совокупность реперов, наблюдательных датчиков, мониторингового оборудования, заложенных по определенной системе на земной поверхности, в сооружениях или в подземных выработках с целью проведения наблюдений за состоянием откосов

Напор, гидростатическое давление воды – высота столба воды, поддерживаемого статическим давлением в определенной точке. Измеряется от уровня подземных вод до площадок скольжения.

Нарушение устойчивости борта (уступа, группы уступов) – разрушение прибортового массива горных пород, захватившее борт (уступ и/или их группу) и проявляющееся в одном из видов их деформаций.

Обрушение – отрыв и скоротечное смещение горных пород (блоков, пачек пород), слагающих откос, сопровождающегося дроблением смещающейся части массива.

Опасная зона – участок, в пределах которого ведение горных работ или пребывание человека сопряжено с возможностью аварии и требуется осуществлять дополнительные меры безопасности.

Опасные деформации горных пород - деформации отвалов, уступов и бортов карьеров, площадок, а также прилегающей к карьере территории, способные вызвать аварии горнотранспортного оборудования, ухудшающие условия работы, на карьерах, угрожающие безопасности работ в карьерах.

Оплывина (оплывание) – перемещение песчано-глинистых пород нарушенной структуры - пылеватых песков и глин, а также лессовидных суглинков и лессов, насыщенных водой до текучего состояния разновидностей.

Оползень – относительно медленное деформирование (смещение) прибортового массива карьера или откосов отвала под действием силы тяжести и/или дополнительных внешних факторов.

Опорный репер – репер профильной линии, заложенный на участке наблюдательной станции, не подвергающемся сдвигению, и служащий исходным для наблюдения на данной профильной линии.

Оседание – вертикальное смещение массива горных пород в результате сжатия, уплотнения или иных видоизменений горных пород, слагающих откос или его основание. Весьма широко оседание распространено на отвалах глинистых пород, где составляет до 30% от первоначальной высоты. Равномерное оседание, особенно связанное с консолидацией пород, в общем случае не представляет опасности.

Осыпь – разрушение и смещение приповерхностной части откосов.

Оценка геомеханического риска – определение величины риска нарушения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов с применением количественных и качественных показателей.

Предельная деформация борта – предельная величина сдвига пород, слагающих борта карьера, предшествующая активной стадии развития деформаций.

Просадки – вертикальное смещение массива горных пород в результате сжатия, уплотнения или иных видоизменений горных пород, слагающих борт или уступ карьера, разреза и отвала или их основание.

Профильная линия наблюдательной станции – прямая или ломаная линия, вдоль которой расположены реперы наблюдательной станции.

Рабочая зона карьера, разреза – совокупность находящихся в одновременной эксплуатации вскрышных и добычных уступов.

Рабочая площадка уступа – площадка на рабочем уступе, на которой размещается буровое, выемочно-погрузочное и транспортное оборудование.

Рабочий репер – репер профильной линии, предназначенный для определения величин сдвижений земной поверхности, положение которого в пространстве определяется относительно опорных реперов профильной линии.

Репер - закрепленная в натуре (на дневной поверхности, в массиве горных пород или в горной выработке) маркшейдерская точка с известными координатами. Различают исходные, опорные и рабочие реперы.

Режим управляемых деформаций – технология отработки уступов или формирования отвалов, допускающая деформации заданных размеров на конкретном участке.

Скорость смещения точек массива – величина смещения рабочих реперов маркшейдерской наблюдательной станции за определенный отрезок времени по направлению вектора смещения. В зависимости от динамики процесса скорости деформаций могут измеряться: м/час, м/сутки, мм/час, мм/сутки, мм/мес. Для характеристики степени опасности деформаций наиболее показательна скорость смещения в начальный период активной стадии деформаций.

Скрытая стадия развития оползня – период от начала развития микроподвижек в массиве до появления видимых признаков формирования оползня (появление трещин на земной поверхности, выпирание пород в основании борта карьера и т.д.). Скорость смещения точек массива к концу скрытой стадии 1-10 мм/сутки.

Стадия затухания оползня – период смещения оползневых масс с уменьшающейся скоростью до полного прекращения смещения.

Специализированная организация – юридическое лицо, имеющее опыт и квалифицированных специалистов в области решения поставленной задачи горного дела.

Талик – участок незамерзающей породы среди многолетней мерзлоты, распространяющийся вглубь от поверхности или от слоя сезонного промерзания.

Углы сдвижения – внешние относительно выработанного пространства углы наклона линий сдвижения, соединяющих нижнюю границу выработанного пространства с границей зоны опасного влияния горных работ на земной поверхности.

Управление рисками – процесс выявления, анализа, определения степени рисков и выбора мероприятий реагирования.

Управление устойчивостью уступов и бортов карьеров, разрезов и отвалов – комплекс мероприятий, направленных на достижение такого состояния пород, при котором обеспечивается безопасное ведение горных работ.

Ущерб от нарушения устойчивости откоса - стоимость дополнительных работ по ликвидации последствий нарушения устойчивости; удорожание работ, вызванное снижением производительности добычных и транспортных средств; ухудшение качества полезного ископаемого в результате его разубоживания деформированными массами.

Фильтрационная деформация – деформация массива горных пород, вызываемая воздействием подземных и поверхностных вод. Разделяют на оплывание, выпор, механическую суффозию и фильтрационный вынос вдоль трещин. Оплывание связано с переносом и переотложением грунтовых частиц подземными водами, вытекающими на откос в пределах промежутка высачивания.

1.2. «Руководство» предназначено для организаций, осуществляющих проектирование, строительство, эксплуатацию и сопровождение карьеров. Настоящее

руководство содержит перечень наиболее используемых методов и способов оценки и управления рисками, организации мониторинга и выработки мероприятий по управлению устойчивостью.

1.3. Приведенные в «Руководстве» методики носят рекомендательный характер. Особенности методик оценки рисков, мониторинга и мер реагирования на неблагоприятные события могут быть адаптированы для условий конкретного месторождения и при этом должны удовлетворять Федеральным нормам и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» (далее ФНиП).

1.4. Концепция обеспечения бесперебойной и безаварийной эксплуатации месторождения на основе оценки и управления рисками, организации мониторинга и выработки мероприятий по управлению устойчивостью представлена на рисунке ниже (рис. 1.1). В настоящем руководстве рассматривается часть, выделенная синим цветом.

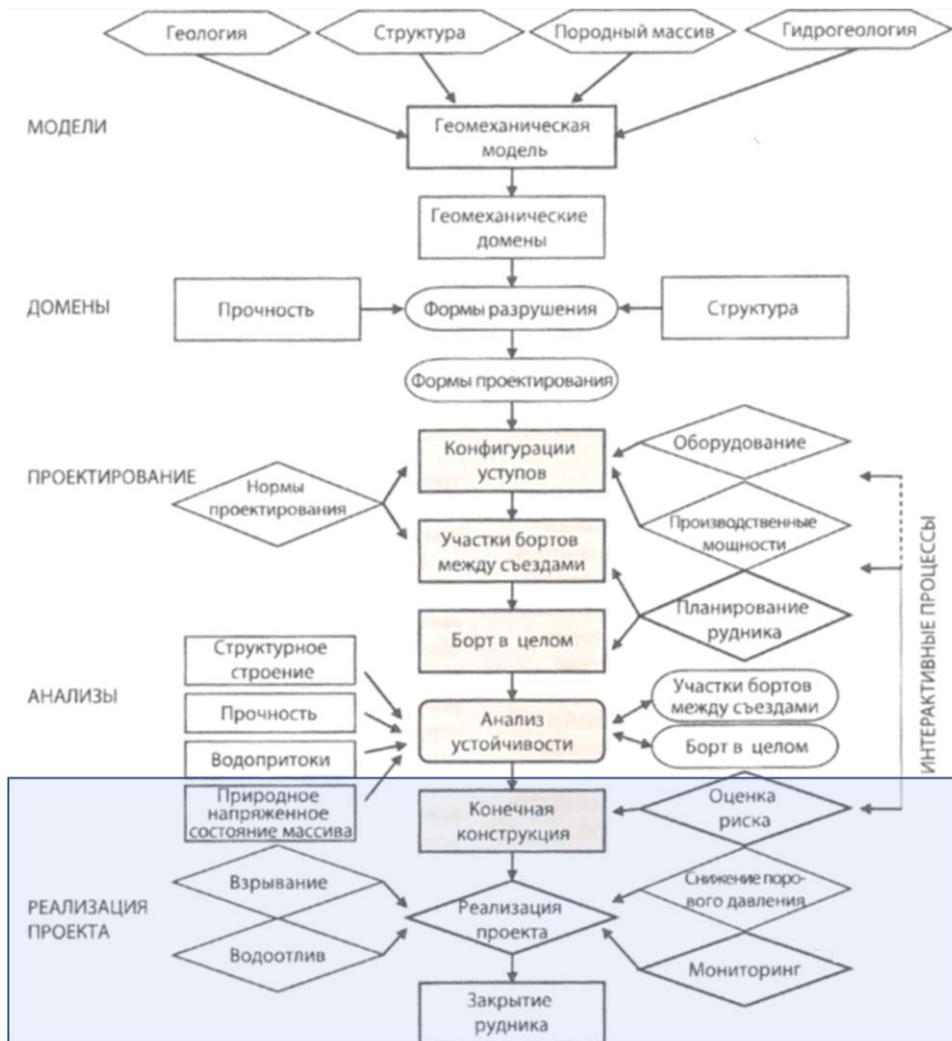


Рисунок 1.1 – Концепция обеспечения бесперебойной и безаварийной эксплуатации при реализации проекта эксплуатации месторождения

1.5. Оценка риска – общий процесс выявления, анализа и определения степени рисков. Приводит к пониманию каждого риска и предоставляет исходные данные для принятия решений по реагированию на риски и выбора подходящих, экономически выгодных стратегий по снижению рисков и их приоритетность.

Оценка геомеханических рисков (далее - риски) выполняется при проектировании объектов ведения горных работ и в процессе эксплуатации карьеров, разрезов и отвалов. При появлении критических деформаций бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов должна производиться переоценка рисков.

Геомеханические риски должны отражаться в текущих контурах карьера или разреза (далее – карьера) для организации контролирующих и стабилизирующих мероприятий.

1.6. Основой контроля устойчивости прибортового массива является правильно и тщательно разработанная система мониторинга. Мониторинг должен обеспечивать получение актуальной и объективной информации о динамике деформационного процесса при эксплуатации карьера.

1.7. На основании результатов мониторинга и оценки рисков возникновения деформационных процессов эксплуатирующая организация должна предусматривать дополнительные меры по обеспечению устойчивости уступов, локальных участков бортов карьеров, разрезов и отвалов или снижению вредного влияния деформационных процессов.

2. Оценка и управление геомеханическими рисками

2.1. Основные принципы оценки рисков

2.1.1. К рискам развития аварийных ситуаций, связанных с нарушением устойчивости бортов, уступов карьеров, откосов отвалов при отработке месторождения открытым способом (далее – геомеханические риски) относятся деформации:

- уступов в различных участках карьера. Происходят в основном за счет влияния систем трещин, мелких разрывных нарушений (разломов), подсекающей слоистости, локальных зон слабых или дезинтегрированных пород, участков обводнения. Дополнительный ослабляющий эффект на законтурный массив оказывают взрывные работы при оформлении уступов;

- участков борта, состоящих из двух и более уступов (макроблоки обрушения). Происходят в основном за счет влияния протяженных структур – разломов, слоистости, а также в зонах распространения слабых или дезинтегрированных пород, участков обводнения;

- бортов карьера по всей высоте. В формировании крупномасштабных деформаций играет роль совокупность всех факторов – структуры различных рангов, прочностные свойства пород, обводненность борта и поровое давление в породном массиве;

- связанные с мелкими вывалами и камнепадом. Возникают за счет нарушения верхней бровки уступов влиянием взрывных работ и процессами выветривания;

- в зонах слабых или дезинтегрированных пород, склонных к оползневым процессам или механизмам деформирования без явно выраженных поверхностей ослабления;

- связанные с наличием подземных горных выработок (пустот) на данных участках;

- на участках интенсивного высачивания грунтовых вод, разжижение, обводнение пород, селевые потоки (фильтрационные деформации);

- связанные с природными обвалами (камнепады естественных склонов), снежными лавинами, селями (учитываются при попадании в горный отвод);

- оползания откосов, связанные с пластическими деформациями в пределах многолетнемерзлых пород;

- отвалов на слабом, наклонном основании, нагруженные горной техникой;

- связанные с периодической сейсмической активностью региона.

Примеры геомеханических рисков и способы управления ими приведены в приложении А.

2.1.2. К потенциально опасным факторам, которые приводят к возникновению рисков, относят:

- инженерно-геологические (структуры различных рангов, слоистость, сланцеватость, слабые слои неблагоприятной ориентировки по отношению к откосу, слабые или дезинтегрированные породы, карстовые пустоты и др.),

- гидрогеологические (обводнение горных пород, поровое давление, снижение прочности пород при размокании и др.);

- природные факторы, связанные с географическими и климатическими особенностями (таликовые зоны в мерзлотных породах, сезонные промерзания-оттаивания пород, подверженность выветриванию, селевые потоки, землетрясения);

- техногенные факторы (нагрузки от горно-транспортного оборудования, сейсмическое воздействие взрывов, наличие выработок и пустот в массиве, наличие техногенных отложений во внутрикарьерном пространстве и др.).

2.1.3. Возникновение рисков обусловлено неопределенностью потенциально опасных факторов, учитываемых при проектировании. Неопределенность факторов заключается в их пространственной изменчивости (неоднородности) или недоизученности. Дополнительно на достоверность оценки может оказывать влияние переходная погрешность (погрешность анализов).

Риски количественно или качественно оцениваются через произведение вероятности и тяжести последствий от обрушения (деформации): $P=BO \times TP$.

2.1.4. Цели и задачи оценки геомеханических рисков могут различаться и конкретизироваться на разных этапах жизненного цикла опасного производственного объекта.

На этапе проектирования или реконструкции целью анализа риска являются:

- выявление опасностей и априорная качественная оценка рисков с учетом воздействия геомеханических рисков на персонал, карьерную технику, внутрикарьерную и прилегающую инфраструктуру, окружающую природную среду;

- оценка альтернативных предложений по параметрам уступов и берм, групп уступов, бортов (далее по тексту – откосных сооружений) и техническим решениям;

- при существенной неопределенности исходных параметров выполняется количественная оценка рисков.

На этапе проектирования при количественной оценке используются инженерные расчеты вероятности нарушения устойчивости бортов и уступов карьера. В этом случае вероятность развития деформации используется как проектный параметр при обосновании оптимальных параметров бортов и уступов карьера.

На этапе эксплуатации целью анализа риска являются:

- выявление опасностей и оценка последствий аварий, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах функционирования опасного производственного объекта;

- совершенствование инструкций по технологии ведения горных работ в опасных зонах, планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте.

На этапе эксплуатации для целей контроля и управления геомеханическими рисками на предприятии организуется система риск-менеджмента, которая предполагает пополнение и корректировку реестра возможных геомеханических рисков, анализ причинно-следственных связей, приводящих к рискам, ведение и учет произошедших деформаций, оценка их последствий. Геомеханические риски оцениваются и анализируются на основе матрицы рисков или других методов. Для оценки рисков используются результаты мониторинга, а также любая другая информация, позволяющая выявлять и контролировать геомеханические риски. На основе оценки рисков внедряются организационные и технические мероприятия по снижению уровня рисков.

2.1.5. Процесс проведения оценки рисков включает следующие основные этапы:

- установление перечня потенциально опасных факторов и идентификация рисков. На данном этапе устанавливается перечень потенциально опасных факторов (источников опасностей) и путей (сценариев) их реализации при отработке месторождения. На основе этого составляется реестр возможных геомеханических рисков с их локализацией для разных участков карьера и отвалов, составляется реестр геомеханических рисков;

- анализ выявленных рисков. На данном этапе выполняется последовательность действий: качественно или количественно оцениваются вероятности, оцениваются последствия от потенциальных обрушений, определяется уровень рисков (качественно- по матрице рисков или количественными методами);

- управление геомеханическими рисками. На данном этапе, в зависимости от уровня рисков, назначаются меры реагирования и мероприятия по снижению уровня риска. Оцениваются наиболее подходящие для конкретных рисков мероприятия и устанавливаются их сроки внедрения. Прогнозируется эффект от внедрения мероприятий – будет ли риск исключен или будет находиться под постоянным контролем. После внедрения мероприятий выполняется оценка их эффективности по снижению рисков до запланированного уровня и решается вопрос требуется ли внедрение дополнительных мероприятий.

2.2. Идентификация рисков

2.2.1. Результатом идентификации геомеханических рисков являются:

- перечень (реестр) всех возможных геомеханических рисков, характерных для условий месторождения;
- описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий (например, сценариев возможных аварий);
- предварительные оценки и отбраковка малозначимых геомеханических рисков.

После выявления геомеханических рисков, в качестве вариантов дальнейших действий может быть:

- решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок;
- решение о проведении более детального анализа геомеханических рисков;
- выработка предварительных рекомендаций по уменьшению геомеханических рисков.

2.2.2. На стадии выявления рисков и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественной оценки риска, опирающейся на специальные вспомогательные средства (технические материалы, анкеты, бланки, опросные листы, инструкции) и практический опыт исполнителей.

2.2.3. Основой для выявления рисков является геолого-структурная модель месторождения, с помощью которой определяются потенциальные механизмы деформирования откосов на разных участках карьера и выявляются участки с неблагоприятным залеганием структур или зон ослабления. Выделяются основные масштабные уровни, на которых оцениваются геомеханические риски: уступы, группы уступов, борта карьера (рис. 2.1).

2.2.4. По итогам районирования по видам и уровням геомеханического риска возникновения опасных факторов составляется и периодически обновляется план опасных участков карьера.

На план наносятся зоны основных геомеханических рисков с выделением опасных факторов и уровней рисков. Работники, занятые на горных работах должны быть ознакомлены с данным планом, актуальный план размещается в местах, доступных для ознакомления работников.

Пример реестра рисков и плана опасных участков карьера по видам и уровням геомеханических рисков представлен в приложении Б.

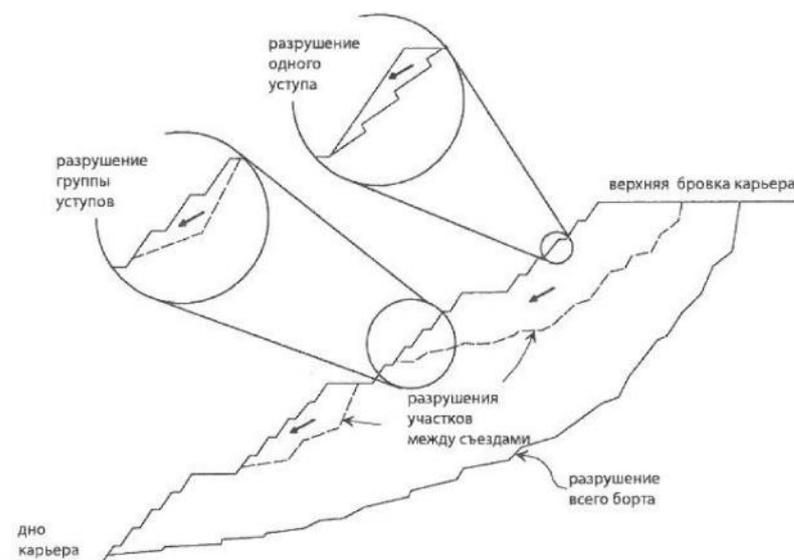


Рисунок 2.1 – Масштабные уровни потенциальных деформаций

2.3. Анализ выявленных рисков

2.3.1. Основные задачи этапа анализа риска:

- определение частот (вероятностей) возникновения инициирующих и всех нежелательных событий;
- оценка последствий возникновения нежелательных событий;
- обобщение оценок с определением уровня риска.

2.3.2. Методы анализа рисков: матрица рисков, галстук бабочка, анализ дерева событий, метод проверочного листа, количественного анализ риска и др. При выборе методов анализа риска следует учитывать цели, задачи анализа, сложность рассматриваемых объектов, наличие необходимых данных и квалификацию привлекаемых для проведения анализа специалистов.

Рекомендации по выбору методов анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены в таблице 2.1:

Таблица 2.1 – Рекомендации по выбору методов анализа риска

Метод анализа	Проектирование, Реконструкция	Эксплуатация
Анализ «Что будет, если..?»	∨	+
Метод проверочного листа	∨	∨
Матрица рисков	+	∨
Анализ «деревьев отказов и событий»	+	∨
Другие методы

обозначения: ∨ - возможный метод; + - наиболее подходящий метод

Оценка степени риска осуществляется с помощью матрицы рисков. Иные способы, как альтернативные или дополнительные к матрице рисков, определяются эксплуатирующей или специализированной организацией.

2.3.3. Оценка и управление рисками проводится с помощью матрицы рисков, которая отображает качественные либо полуколичественные показатели рисков. Вероятность риска оценивается на основе предположения (экспертных оценок), по результатам количественного анализа, либо по фактическим данным о частоте события. Последствия оцениваются качественно. Матрица рисков для анализа деформаций откосов приведена в виде таблицы на рисунке 2.2.

Совокупность вероятности обрушений и последствий по матрице определяют уровень риска – очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий.

Матрица рисков		Последствия					
		Незначительные	Низкие	Средние	Высокие	Чрезвычайные	
Вероятность риска		1	2	3	4	5	
Качественная	Количественная						
A	Очень высокая – Событие происходит постоянно с высокой степенью определенности. Произойдет с очень высокой степенью определенности.	>40%	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий	Очень высокий
B	Высокая – Событие происходит часто с высокой степенью определенности. Произойдет с высокой степенью определенности.	20÷40%	Низкий	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий
C	Средняя – Событие может произойти. Происходило ранее.	10÷20%	Низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
D	Низкая – Маловероятное событие. Может произойти в определенный момент.	1÷10%	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
E	Очень низкая – Разумная уверенность, что событие не произойдет. Может произойти в исключительных обстоятельствах.	<1%	Очень низкий	Низкий	Средний	Средний	Высокий

Рисунок 2.2 – Матрица рисков для определения категории риска

Систему классификации рисков по критериям вероятности-тяжести последствий возможно модифицировать с учетом специфики обрабатываемого месторождения.

2.3.4. Необходимые меры реагирования на развитие деформаций и нарушение устойчивости в соответствии с уровнем риска приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Меры реагирования в соответствии с уровнем риска

Уровень риска	Меры реагирования	Мероприятия	Примечание
Очень высокий (аварийное состояние)	Немедленная остановка работ на данном участке, вывод людей	Определение границ опасной зоны и запрет нахождения людей Проведение дополнительных исследований и разработка оперативных мероприятий по снижению риска до приемлемого уровня	Возобновление работ с уведомлением территориального органа государственного горного надзора
Высокий, (предаварийное состояние)	Приостановка работ на данном участке, вывод людей и техники	Определение границ опасной зоны Проведение анализа ситуации и разработка оперативных мероприятий по снижению риска до приемлемого уровня	Возобновление работ по решению технического руководителя эксплуатирующей организации на основании мониторинга ситуации
Средний (состояние ограниченной работоспособности)	Комиссионное решение о необходимости приостановки работ	Проведение анализа ситуации и разработка долгосрочных мероприятий по снижению риска до приемлемого уровня	Контроль выполнения мероприятий
Низкий и весьма низкий (работоспособное состояние)	Допустимый риск, должен находиться под контролем, но не требует дополнительных мероприятий по его снижению.	Мероприятий не требуется	-

2.3.5. Геомеханический риск (P) выражается зависимостью:

$$P=BO \times TP, \quad (2.1)$$

– BO – вероятность обрушения / деформаций (определяется качественно или количественно);

– TP – тяжесть последствий, возможные последствия от деформаций (определяются качественно или количественно).

Уровень риска для анализа деформаций откосов определяется на основе матрицы рисков (рис. 2.2), для чего предварительно требуется качественно или количественно определить его составляющие: вероятность образования деформаций (BO) и последствия от потенциальных деформаций (TP).

Также, в приложении В приведена методика оценки уровня риска для персонала, техники, объектов инфраструктуры.

2.3.6. Для определения частоты (вероятности) нежелательных событий рекомендуется использовать:

– статистические данные по произошедшим деформациям;

- логические методы анализа: матрица рисков, «деревья событий», «деревья отказов», имитационные модели возникновения аварий;
- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области;
- количественные инженерные расчеты вероятности потенциальных деформаций.

2.3.7. Качественная оценка вероятности обрушения основывается на выборе категории вероятности обрушения в соответствии с таблицей 2.3.

Таблица 2.3 – Качественная оценка вероятности неблагоприятного события

Категория	Качественная оценка	Характеристика событий
А	Весьма высокая	Событие происходило часто. Событие ожидаемо с высокой степенью вероятности в ближайшее время.
В	Высокая	Событие происходило неоднократно. Произойдет с высокой степенью определенности.
С	Средняя	Событие происходило ранее и может произойти в будущем.
Д	Низкая	Событие может произойти при маловероятном стечении обстоятельств.
Е	Очень низкая	Событие может произойти только при непрогнозируемом стечении форс-мажорных обстоятельств.

2.3.8. Количественная оценка вероятности деформации позволяет:

- учесть неопределенности/погрешности несущей способности и действующей нагрузки;
- линейно масштабировать данные (то есть, если вероятность увеличивается в несколько раз, надежность конструкции уменьшается в такое же число раз);
- установить основной параметр для расчета рисков.

2.3.9. При количественной оценке вероятность обрушения (деформации) в условиях неопределенности данных показывает долю коэффициента запаса, меньше или равного 1:

$$BO = BO[K3V \leq 1], \% \quad (2.2)$$

Для скальных уступов вероятность обрушения может определяться путем отнесения длины обрушенной верхней бровки уступа к анализируемой длине уступа, выраженную в процентах:

$$BO = \frac{L_{об}}{L} \times 100 \quad (2.3)$$

2.3.10. Количественная оценка риска основывается на вероятностном подходе, который может применяться как дополнительный к детерминированному, для учета влияния изменчивости факторов на этапе проектирования карьера. Последствия при этом могут оцениваться как качественно, так и количественно.

Вероятностный анализ устойчивости проводится отдельно для различных масштабов откосов – уступы, группы уступов и борта.

При расчете вероятности обрушения, к неоднородным исходным данным относятся следующие параметры: физико-механические свойства пород и контактов, геометрические характеристики систем трещин и разломных зон, степень обводненности откоса или поровое давление.

2.3.11. Последствия от потенциальных деформаций (далее – последствия) разделяются на:

- последствия для безопасности персонала. К ним относятся смертельные случаи и травмы персонала;

- экономические последствия. К ним относятся повреждение оборудования и инфраструктуры, затраты на удаление разрушенной горной массы; восстановление, выполаживание, крепление борта; восстановление съезда или ремонт путей откатки; простои оборудования; неизвлекаемое полезное ископаемое после нарушения съезда, выплаты компенсаций и штрафных санкций, репутационные издержки.

2.3.12. Последствия могут выражаться как качественными характеристиками (словесные описания или категории последствий), так и количественными (количество случаев за период, количество персонала или техники, находящиеся в опасной зоне за период времени, в финансовом выражении и др).

2.3.13. Качественная и количественная оценка последствий наиболее распространена при оценке рисков (табл. 2.4). Незначительные последствия – последствия, при которых геомеханический риск крайне мал (отсутствует) ввиду того, что возможные деформации не оказывают влияние на технологический процесс, чрезвычайные – при которых геомеханический риск крайне велик за счет угрозы жизни и здоровью людей или необходимости остановки работ в карьере с последующей реконструкцией. Чрезвычайные последствия являются недопустимыми при проектировании и эксплуатации месторождений. Другие промежуточные стадии последствий (низкие, средние, высокие) являются практически значимыми категориями, при которых выполняется управление рисками.

Таблица 2.4 – Оценка тяжести последствий обрушений бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов

Качественная оценка тяжести последствий				
Незначительные	Низкие	Средние	Высокие	Чрезвычайные
<ul style="list-style-type: none"> • Обрушение на отдельном участке вне зоны ведения горных работ, не влияющее на технологический процесс 	<ul style="list-style-type: none"> • Ликвидация обрушения требует несколько дней или не влияет на технологический процесс • Обрушение откосов с коротким периодом эксплуатации • Обрушения не оказывают влияние на внутрикарьерную инфраструктуру • Повреждения оборудования отсутствуют 	<ul style="list-style-type: none"> • Краткосрочная ликвидация обрушения • Простой основного технологического оборудования • Повреждение оборудования и инфраструктуры, требующее ремонта • Восстановление съезда или ремонт путей откатки 	<ul style="list-style-type: none"> • Потеря подготовленных к выемке запасов • Среднесрочная ликвидация последствий обрушения • Повреждение и длительные простои основного технологического оборудования и/или инфраструктуры, требующие капитального ремонта • Потеря основного технологического оборудования и/или инфраструктуры • Потеря транспортного съезда (при наличии резервного) 	<ul style="list-style-type: none"> • Угроза жизни и здоровью людей • Потеря транспортного съезда (при отсутствии резервного) • Нарушение технологического цикла, требующее реконструкции
Количественная оценка тяжести последствий (млн. руб. - в ценах 2020 года)				
менее 0.1	от 0.1 до 1	от 1 до 10	от 10 до 100	от 100 до 1000

2.3.14. На величину возможных последствий могут повлиять проектные особенности карьера:

Повышенные последствия возможны:

- на участке расположения внутрикарьерной инфраструктуры;
- на участке расположения единственного транспортного съезда в карьер, так как при его повреждении зачастую требуется разноска борта;
- наличие группы уступов большой высоты без широкой предохранительной бермы между ними, так как ширины берм безопасности может оказаться недостаточно при возникновении крупной деформации или при интенсивном камнепаде.

Последствия снижаются:

- на участках, где отсутствуют рабочие зоны;
- при площадном развитии карьера, когда потенциальная деформация не влияет на технологический процесс;
- борта и уступы карьера находятся в постоянной разноске и имеют малый срок стояния (рабочие, временно-нерабочие уступы);

- при доработке карьера, когда нет необходимости долгосрочного поддержания устойчивости нижних уступов;
- при внедрении автоматизированного мониторинга, обеспечивающего оперативный контроль за состоянием уступов.

2.3.14. Геомеханические опасности определяются по контрольному перечню вопросов, которые могут проверяться на протяжении жизненного цикла отработки карьера. Эти перечни не являются всеохватывающими, должны быть адаптированы к специфике конкретного объекта.

Методы относятся к группе качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта требованиям промышленной безопасности.

Результатом проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного листа отличается от «Что будет, если..?» более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

2.3.15. Анализ по методу галстука-бабочки следует применять для выявления причинно-следственных связей между геомеханическими рисками и геомеханическими факторами и обозначить основные мероприятия по уменьшению рисков (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Причинно-следственная связь («галстук-бабочка») между геомеханическими причинами (слева) и рисками (справа)

Управление устойчивостью откосов базируется на понятии риска обрушения, который зависит от вероятности обрушения откоса и тяжести от его последствий: $R = VO \times TP$. Исходя из этого, анализ галстук-бабочка показывает, как с помощью различных мероприятий можно устранить или минимизировать вероятность наступления определенных событий, которые могут спровоцировать ситуацию риска или уменьшить последствия, если оно уже произошло:

- снижение вероятности обрушения достигается улучшением достоверности исходных данных, детализацией расчетных моделей с вовлечением в них максимального числа влияющих факторов (что позволяют осуществлять современные программные комплексы), дренаж, изменение конфигурации откосных сооружений, разработка стабилизирующих мероприятий (крепление);

- негативные последствия от обрушений зависят от наличия внутрикарьерной инфраструктуры, расположения съездов и рабочих площадок и масштаба деформаций. Их влияние уменьшается применением мероприятий (организация мониторинга, проектирование широкой улавливающей бермы, резервного транспортного съезда, обеспечение безопасности персонала и горной техники при работе в потенциально опасных участках, ведение риск-менеджмента и др.).

Последствия от обрушений могут выражаться как качественными характеристиками (небольшие, средние, значительные), так и количественными (количество случаев за период, количество персонала или техники, находящиеся в опасной зоне за период времени, в финансовом выражении и др.).

2.3.16. Ниже приведен примерный перечень вопросов, на которые нужно ответить по результатам анализа графика галстук-бабочка. Значения, имеющие состояние «Критичное» являются основой для выработки мероприятий по данным направлениям:

1. Мероприятия до события (снижение вероятности):

- Некачественная оборка уступов и очистка берм:
 - потребность (наличие) в спец. оборудовании (Критичное/Не критичное);
 - обучение персонала (Критичное/Не критичное).
- Структурная нарушенность массива (природные трещины):
 - регулярное картирование трещин, геологических структур (Критичное/Не критичное);
 - мониторинг раскрытия трещин, смещений (Критичное/Не критичное);
 - оптимизация параметров уступов и бортов карьера (высота, угол заоткоски, ширина бермы) (Критичное/Не критичное);
 - оптимизация паспорта БВР (Критичное/Не критичное).

- Неверная геологическая\геотехническая оценка массива:
 - повышение квалификации персонала (Критичное/Не критичное);
 - доизучение свойств массива (Критичное/Не критичное);
 - детализация геолого-структурной модели (Критичное/Не критичное).
- Нарушение массива взрывом:
 - маркшейдерские замеры зоны повреждения массива взрывом за контуром отбойки (Критичное/Не критичное);
 - заоткосные работы (Критичное/Не критичное);
 - исключить перебур скважин в бермы (Критичное/Не критичное);
 - соблюдение паспорта предварительного щелеобразования (контроль шага бурения, параллельности контурных скважин) (Критичное/Не критичное).
- Обводнение массива:
 - мониторинг скоплений воды (Критичное/Не критичное);
 - предотвращение скоплений воды на земной поверхности вблизи карьера, на предохранительных бермах (Критичное/Не критичное);
 - устройство дамб (Критичное/Не критичное);
 - водоотведение (канавы) (Критичное/Не критичное);
 - дренаж (Критичное/Не критичное);
 - гидрогеологические наблюдения уровня подземных вод, горизонтов высачивания воды в бортах карьера (Критичное/Не критичное).
- Сдвигение горных пород:
 - ревизия массивов горных пород – (Критичное/Не критичное);
 - наличие соответствующего оборудования – (Критичное/Не критичное);
 - мониторинг сдвижения горных пород – (Критичное/Не критичное);
- 2. Меры после события (снижение/ликвидация последствий):
 - Травмирование персонала:
 - наличие СИЗ – Критичное;
 - наличие системы оповещения – (Критичное/Не критичное);
 - Повреждение техники/инфраструктуры:
 - восстановление/ремонт– (Критичное/Не критичное).
 - Нарушение режима работы карьера:
 - проведение восстановительных работ по разбору завала – (Критичное/Не критичное);
 - восстановление/ремонт оборудования, техники – (Критичное/Не критичное);

- необходимость крепления участков в районе деформации – (Критичное/Не критичное).
- Экономический ущерб:
 - судебные издержки (выплаты компенсаций, оплата штрафных санкций уполномоченным органам) – (Да/Нет);
 - потеря техники (закуп новой техники, ремонт) – (Да/Нет);
 - потеря доступа к руде (простой карьера на длительный срок, банкротство) – (Да/Нет).

2.3.17. При анализе «деревьев отказов» (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящие к головному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе «дерева отказа» (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальное пропускное и отсечное сочетания, соответственно)

Анализ «дерева событий» (АДС) - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события.

Схема дерева событий – инструмент, предлагающий системное отображение реалистичных сценариев событий, которые могут привести к значительным авариям или взаимосвязей возможного прогрессирования событий во времени.

Пример схемы дерева событий для оценки экономических последствий нарушения устойчивости борта приведен на рисунке. 2.4.

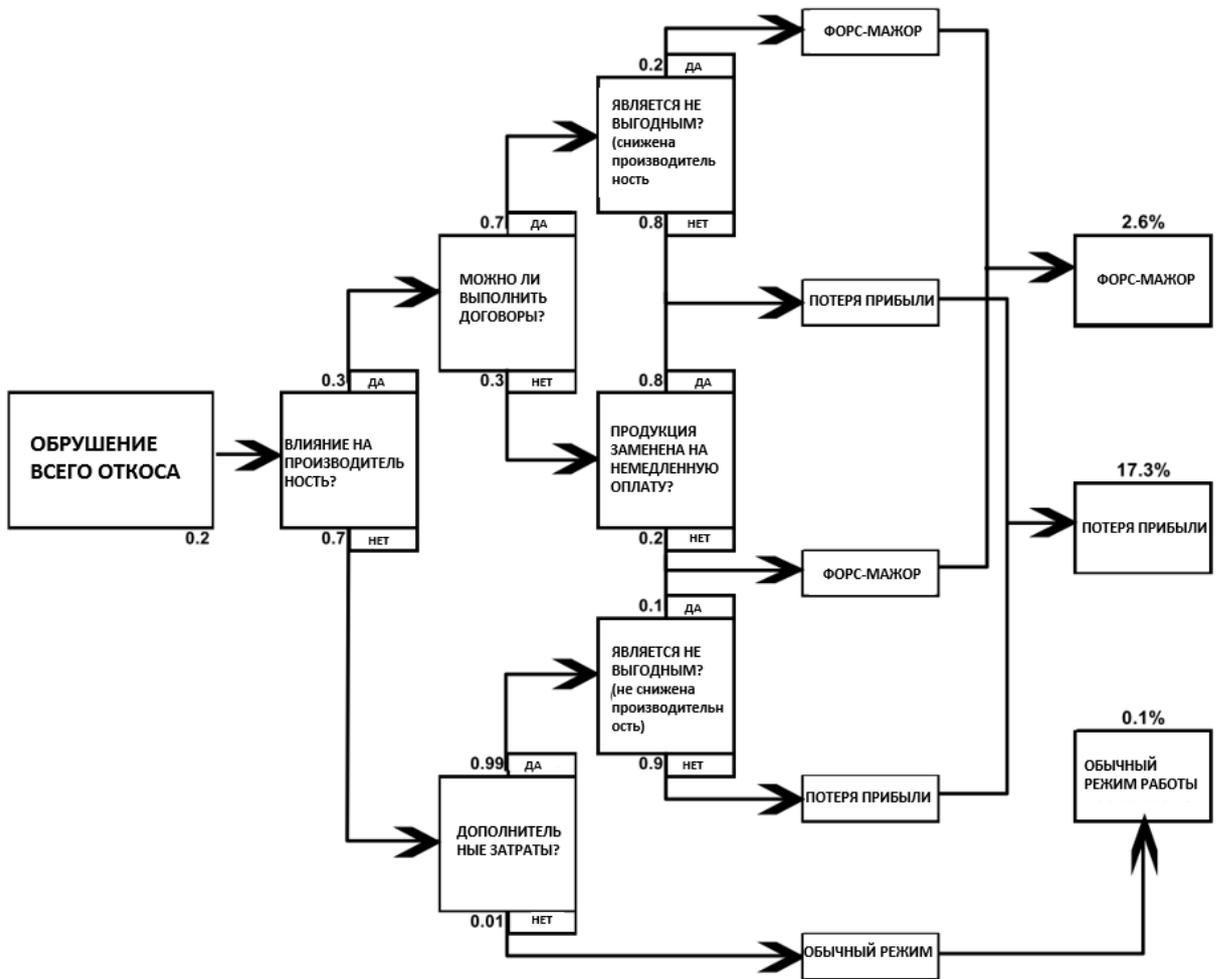


Рисунок 2.4 – Схема дерева событий для оценки экономических последствий нарушения устойчивости борта

Схема дерева событий может использоваться для анализа причин обрушения (рис. 2.5):

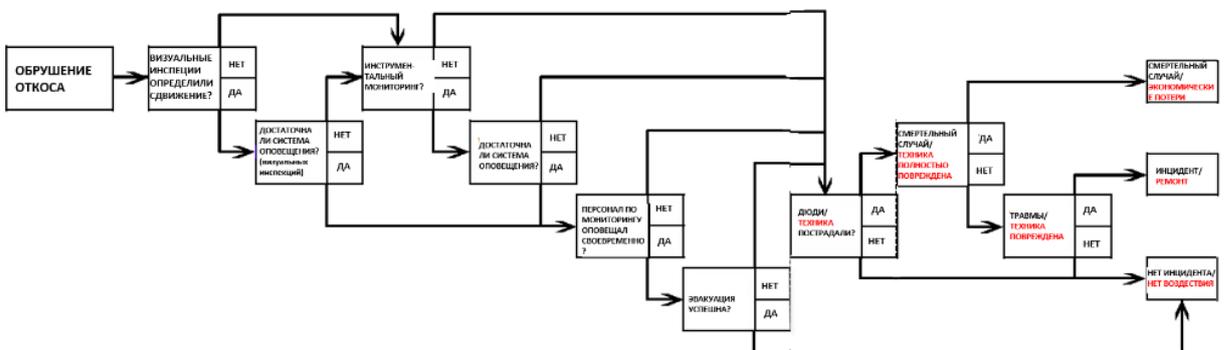


Рисунок 2.5 – Схема дерева событий для анализа причин обрушения

2.4. Управление геомеханическими рисками

2.4.1. По результатам оценки геомеханических рисков выработываются рекомендации по их управлению, включающие организацию ведения горных работ, мероприятия по управлению устойчивостью (раздел 4 настоящего «Руководства») и составление графика снижения рисков.

2.4.2. По ключевым геомеханическим рискам с категорией «средний», «высокий» и «очень высокий» (по матрице рисков рис. 2.2, табл. 2.2), которые находятся в красной зоне, необходимо составить план по снижению уровня рисков. Для рисков с категорией «высокий» и «очень высокий» мероприятия разрабатываются в краткосрочной перспективе, либо до момента возобновления горных работ на данном участке. Для рисков с категорией «средний», которые находятся в желтой зоне, необходимо составить план по снижению уровня рисков в долгосрочной перспективе либо организовать усиленный мониторинг за данными рисками, что также является мерой снижения рисков. План по снижению уровня геомеханических рисков может быть представлен в виде временного графика (рис. 2.6).

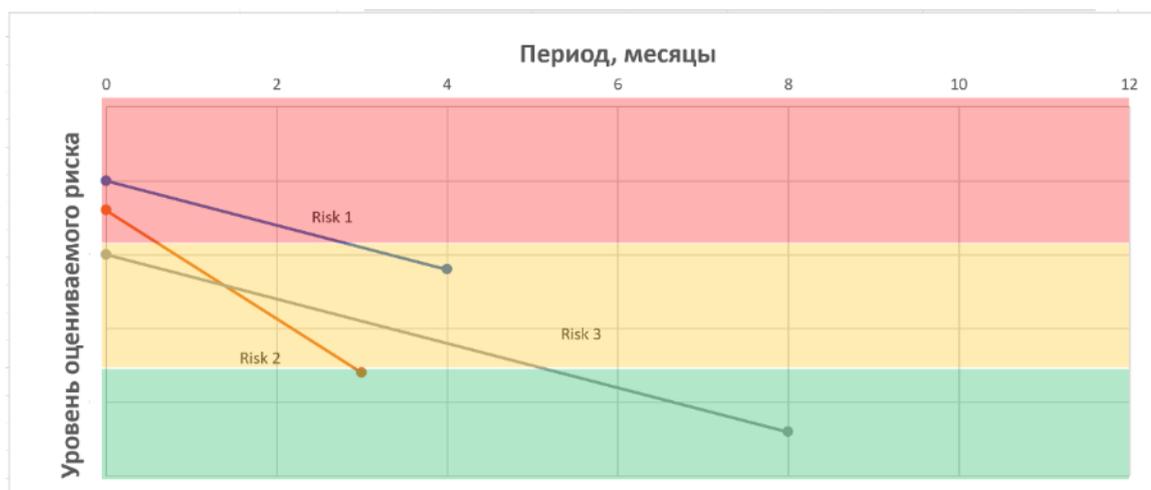


Рисунок 2.6 – Временной план-график по снижению рисков

3. Мониторинг

3.1. Организация мониторинга устойчивости откосов

3.1.1. В соответствии с требованием ФНиП «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» на объектах ведения открытых горных работ II класса опасности и при комбинированной разработке месторождения эксплуатирующей организацией должна создаваться специальная группа по мониторингу и прогнозу устойчивости бортов, уступов, откосов (далее – геомеханическая служба). Рекомендации по созданию геомеханической службы представлены в приложении Г.

3.1.2. В процессе эксплуатации объектов ведения открытых горных работ для своевременного выявления опасных зон и прогнозирования опасных ситуаций должен вестись комплекс маркшейдерских, геотехнических, гидрогеологических и иных наблюдений и контроль опасных факторов, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ (далее – мониторинг устойчивости). Мониторинг устойчивости должен разрабатываться в Проекте наблюдательной станции (в составе проекта производства маркшейдерских работ) и включает следующую информацию, но ею не ограничивается:

- обобщенную геомеханическую информацию по месторождению: геологическое строение, сводные данные о физико-механических свойствах, параметрах трещиноватости, краткая гидрогеологическая характеристика, обоснованные параметры бортов и уступов;
- реестр рисков и используемые методы снижения риска;
- сведения об организации мониторинга на месторождении: схема наблюдательной станций, описание принятой методики наблюдений;
- меры оперативного реагирования на превышение критериев безопасности;
- сведения о геомеханической службе на месторождении: общие сведения, должностные обязанности, обучение и повышение квалификации;
- функции персонала и области ответственности;
- документирование, передача информации, контроль документооборота.

3.1.3. Выбор участков для организации наблюдательных станций выполняется на основании анализа инженерно-геологических условий разработки месторождения, современного состояния и перспективы развития горных работ, с учетом следующих признаков:

- наличие на карьере вскрытых слабых пластичных, обводненных или сильно трещиноватых пород в горном массиве, формирующих борт или уступ;

- возможность подрезки горными работами слабых контактов, поверхностей тектонических нарушений и обводненных пород, имеющих наклон в сторону выработанного пространства и простирание близкое к простиранию борта;
- несоответствие фактических параметров уступов бортов и отвалов карьера проектным;
- несоответствие технологии проведения массовых взрывов паспорту буровзрывных работ;
- наличие на бортах и уступах карьера тяжелого горнотранспортного оборудования.
- использование других результатов выявления и оценки геомеханических рисков.

3.1.4. В процессе мониторинга необходимо наблюдать параметры и факторы, которые характеризуют состояние безопасности объекта мониторинга:

- возникновение деформаций откосов и их развитие во времени;
- появление новых или раскрытие имеющихся трещин;
- смещения, их скорости и направление;
- относительные деформации интервалов (сжатие-растяжение, наклоны);
- границы распространения деформационных процессов;
- продолжительность процесса деформирования и его отдельных стадий;
- отклонение фактических параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов;
- изменение геометрии борта карьера, разреза от воздействия процессов выветривания и деформаций;
- места высачивания, уровень подземных вод.

3.1.5. При фиксации деформаций в процессе отработки месторождения составляются паспорта деформаций. Паспортизация нарушений устойчивости откосов на карьерах (оползней, обрушений, оплывин, осыпей и фильтрационных деформаций) производится с целью накопления и систематизации сведений о характере и причинах различных видов нарушений устойчивости. Эти сведения после обобщения и анализа используются для прогнозирования деформаций и разработки противооползневых мероприятий. Описание и пример составления паспорта деформации представлены в приложении Д.

3.1.6. В зависимости от продолжительности проведения мониторинга выделяются его типы: долгосрочный и оперативный (временный) мониторинг, для которых могут использоваться автоматизированные системы.

Долгосрочный мониторинг организуется на длительный период отработки карьера (5 и более лет), для контроля глубинных разрушающих деформаций участков бортов и устойчивости бортов в целом.

Оперативный мониторинг организуется для контроля приповерхностных деформаций и устойчивости участков бортов в локальных зонах, в зонах критических или прогрессирующих деформаций, в рабочих зонах и на участках расположения внутрикарьерной инфраструктуры.

3.1.7. Методы мониторинга подразделяются на две большие группы методов: поверхностный и глубинный мониторинг (рис. 3.1).

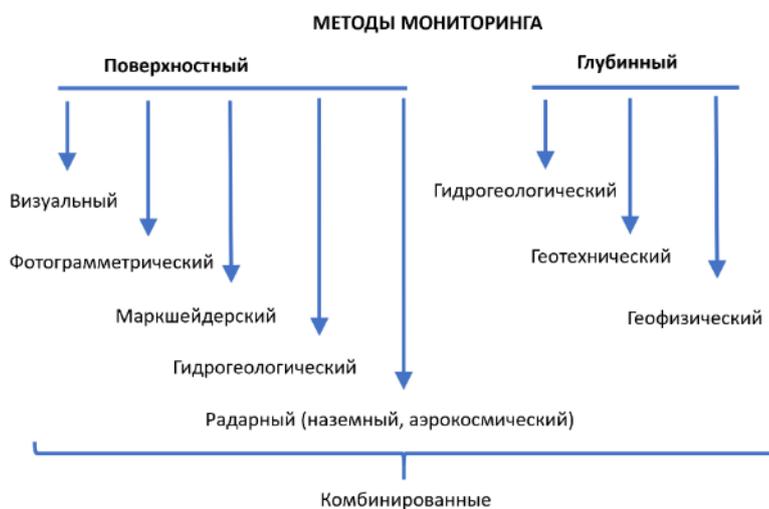


Рисунок 3.1 – Методы мониторинга

3.1.8. Поверхностные методы мониторинга:

- визуальный – визуальные (маршрутное) обследования состояния откосов и берм;
- фотограмметрический – выявление проявлений неустойчивости по фотоматериалам (наземной, воздушной съемки) и анализ изменения геометрии откоса за разные периоды съемок;

- маркшейдерский, выполняется маркшейдерско-геодезическими инструментами (с использованием электронно-оптических приборов, в том числе с наблюдениями по стационарно установленным отражательным призмам (призменный), с использованием спутникового оборудования, лазерное сканирование поверхности откоса, упрощенный - наблюдения за раскрытием трещин или активными деформационными процессами с линейными измерениями смещений или деформаций массива по линии максимального развития деформаций);

- радарный, выполняется с использованием радаров (наземного и аэрокосмического базирования) мониторинга сдвижений в автоматизированном режиме и

реальном времени, со сплошной зоной покрытия области мониторинга и отслеживанием деформационных процессов в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Наземный радарный мониторинг представляет собой мониторинг смещений откосов радарным оборудованием, размещаемым на бортах карьера. Аэрокосмический радарный мониторинг представляет собой мониторинг осадок земной поверхности методом спутниковой интерферометрии;

- гидрогеологический (гидрологический) – мониторинг за изменением участков высачивания и системы поверхностных водотоков.

3.1.9. Глубинные методы мониторинга:

- гидрогеологический – мониторинг за изменением уровней подземных вод и порового давления в прибортовых массивах;

- геотехнический, включает в себя методы наблюдения за стадиями развития, распределения оползневых деформаций и их мощности внутри прибортового массива. Выполняется стационарно установленными в скважины датчиками (инклинометры, экстензометры и др.) с автоматической записью и передачей информации на сервер. К геотехническому мониторингу также можно отнести перспективные разработки по системам мониторинга и виды датчиков, которые могут появиться в будущем;

- геофизический, представлен системами мониторинга, использующими особенности распространения в горном массиве искусственных (активных) физических полей (сейсмическое (поле упругих колебаний), электрическое, электромагнитное) и др.

3.1.10. Система мониторинга бортов и уступов карьера может включать комбинацию этих методов, состав системы определяется для каждого карьера индивидуально. Информация по всем применяемым видам мониторинга должна анализироваться совместно для наиболее объективной оценки состояния прибортового массива.

При выборе метода мониторинга следует руководствоваться следующими принципами:

- какие ожидаются механизмы и скорости развития деформаций, которые в свою очередь зависят от типов пород, структурных особенностей строения массива, параметрах формирования и распределения порового давления, а также масштабов объекта мониторинга;

- какая требуется точность и периодичность для обеспечения цели мониторинга;

- достаточна ли точечная установка реперов или требуется мониторинг со сплошной зоной покрытия откоса;

- будет ли сохранен доступ к рабочим реперам или требуются дистанционные методы мониторинга;

– будет ли оказывать влияние на развертывание наблюдательной станции инфраструктура в виде внутренних и внешних отвалов, зданий и сооружений.

3.1.11. Масштабы деформаций изменяются от очень мелких - камнепады ($1 - 10 \text{ м}^3$) с моментальной скоростью нарушения откосов - до очень крупных оползней ($1\ 000\ 000 \text{ м}^3$ и более) с медленными скоростями нарушения откосов.

Скорость развития деформаций зависит также от типа пород – в скальных и полускальных породах деформации более скоротечны по сравнению с мягкими и пластичными породами и при меньших величинах приводят к разрушению откоса.

Применимость различных методов мониторинга для различных масштабов деформаций и скорости разрушения показана в таблице 3.1. Визуальный осмотр с документированием опасных участков и наземный радарный мониторинг подходят для скоротечных деформационных процессов, маркшейдерский и глубинный – для мониторинга более продолжительных деформационных процессов. С увеличением масштаба деформаций увеличивается спектр методов по контролю за их развитием.

Таблица 3.1 – Методы мониторинга в зависимости от размера деформаций и скорости разрушения

Размер деформации, м^3	Скорость разрушения	Возможные последствия	Предпочтительный метод мониторинга	Предпочтительный метод реагирования
1÷10	Моментальная (камнепад)	Безопасность персонала и техники	Визуальный	Оборка заколов, перехват камнепада
10÷1000	Быстрая-стремительная	Безопасность персонала и техники	Визуальный Радарный	Перехват вывалов на предохранительной берме
1000÷100 000	Медленная-быстрая	Эксплуатационные показатели	Визуальный Маркшейдерский Радарный Глубинный	Крепление, Изменение проектного контура откоса Восстановительные работы
100 000 ÷ 1 000 000	Медленная-средняя	Эксплуатационные и финансовые показатели	Маркшейдерский Радарный Глубинный	Крепление Изменение проектного контура откоса Повторная вскрыша (разноска борта) Восстановительные работы
больше 1 000 000	Медленная-средняя	Форс- мажор	Маркшейдерский Глубинный Радарный	Модификация откоса (перепроектирование) Восстановительные работы

Скорость разрушения ранжируется следующим образом:

- стремительная – секунды-минуты;
- быстрая – часы-минуты;
- средняя – дни-недели;
- медленная – недели-месяцы.

Меры реагирования на возникающие деформации могут приниматься от наиболее простых при мелких деформациях - такие как обезопасивание (оборка заколов) и перехват вывалов на предохранительной берме и до модификации откоса и перепроектирования карьера - при крупных деформациях.

3.1.12. Основной целью долгосрочного мониторинга является:

- заверка параметров реализованной конструкции бортов;
- обнаружение первичных признаков развития крупномасштабных деформаций;
- своевременная разработка мероприятий по обеспечению устойчивости откосов на участке деформации.

При долгосрочном мониторинге выявляются крупномасштабные и медленно развивающиеся деформации. Оценка деформационных процессов осуществляется с учетом структурных особенностей массива и зон ослабления, поэтому данный тип мониторинга целесообразно осуществлять комплексом методов, выбираемых из таких, как визуальный, маркшейдерский (призменный, спутниковый, лазерный), геотехнический, радарный, геофизический, фотограмметрический, гидрогеологический.

Наблюдательные станции при проведении мониторинга могут располагаться как внутри карьерного поля, так и на прилегающих к нему территориях. Рабочие реперы могут располагаться как по профильным линиям, так и по площадной схеме – в наиболее характерных участках для контроля деформационных процессов. Опорные репера следует располагать вне зоны влияния горных работ.

При долгосрочном мониторинге расположение реперов должно исключать влияние на них мелкомасштабных деформаций, поэтому реперы располагаются за пределами видимых заколов на относительно стабильных участках.

Периодичность проведения серий инструментальных наблюдений при долгосрочном мониторинге составляет не реже 2-х раз в год, при этом, с целью исключения из результатов мониторинга влияния сезонных факторов, измерения необходимо проводить в одни и те же периоды.

3.1.13. **Основной целью оперативного мониторинга является:**

- обеспечение безопасности ведения горных работ путем контроля особо ответственных участков, способных нарушить технологический процесс;
- снижение негативных последствий деформаций, путем своевременного принятия мер по исключению персонала и техники в зоне деформации;
- выработка стабилизирующих мер для обеспечения локальной устойчивости.

Периодичность проведения серий инструментальных наблюдений при оперативном мониторинге выбирается исходя из скорости смещения породного массива (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Периодичность наблюдений за состоянием откосов карьеров в зависимости от скоростей смещений

Скорость смещения, мм/сут	Периодичность наблюдений (Δt), сут
0,1 – 0,5	365 (1 год)
0,5 – 1,0	180 (2 раза в год)
1,0 – 2,0	90 (ежеквартально)
2,0 – 5,0	45
5,0 – 10,0	15
10,0 – 20,0	7 – 8
20,0 и выше	3 – 4

При оперативном мониторинге при наблюдениях за раскрытием трещин или активными деформационными процессами допускается выполнять упрощенные наблюдения с линейными измерениями смещений или деформаций массива по линии максимального развития деформаций. Примером является рулеточные промеры между берегами раскрытия трещин или установка автоматических экстензометров.

Выбор методов оперативного мониторинга определяется в зависимости от того, требуется ли определить начальную стадию развития деформаций на наиболее ответственных участках или для контроля выявленных прогрессирующих деформаций.

Целесообразные методы мониторинга в зонах критических или прогрессирующих деформаций: визуальный, маркшейдерский (призменный, упрощённый), радарный, фотограмметрический – применяются как в дисперсных породах (характерны оползни, фильтрационные деформации), так и в скальных, полускальных трещиноватых породах (характерны обрушения, оползни).

Целесообразные методы мониторинга в рабочих зонах, на участках расположения инфраструктуры:

- в дисперсных породах (для которых характерны оползни, просадки, фильтрационные деформации): визуальный, маркшейдерский (призменный, спутниковый, лазерный), фотограмметрический, гидрогеологический;

- в скальных, полускальных трещиноватых породах (для которых характерны обрушения, осыпи): визуальный, геотехнический, радарный, маркшейдерский (лазерный), фотограмметрический.

3.1.14. Точность наблюдений должна обеспечивать возможность судить о неизменности процесса деформирования в интервале времени между сериями наблюдений и позволять фиксировать момент его изменений. При долгосрочном и оперативном

мониторинге погрешность определения положения наблюдательных точек не должна превышать ± 15 мм. При линейных измерениях по профильным линиям при упрощенном способе мониторинга погрешность определения относительных смещений реперов на 20-метровом интервале не должна превышать ± 5 мм. Точность и периодичность методов мониторинга, при которых определяются характеристики отличные от смещений и деформаций, устанавливается соответствующими методиками, целями мониторинга и характеристиками используемого оборудования.

3.1.15. Автоматизированная система мониторинга создается для бесперебойного мониторинга без участия человека и отслеживания быстроразвивающихся деформационных процессов, позволяющая собирать и обрабатывать данные о деформационных процессах контролируемого объекта с любой периодичностью, а также осуществлять экстренное оповещение служб о нештатных и аварийных ситуациях.

При применении автоматизированных средств наблюдений со сплошным покрытием рабочей зоны в непрерывном режиме и отслеживанием быстроразвивающихся деформационных процессов допускается сокращение инструментальных маркшейдерских наблюдений по решению эксплуатирующей организации.

3.2. Визуальный, фотограмметрический мониторинг

3.2.1. Системы мониторинга предусматривают визуальное наблюдение с общими осмотрами и фотофиксация с целью выявления начальных проявлений неустойчивости (трещины растяжения, чрезмерный камнепад, вывалы, осыпи и др.).

3.2.2. Визуальные наблюдения являются неотъемлемой частью системы мониторинга бортов карьеров для получения качественной оценки состояния откосных сооружений. Документирование данных об образовании трещин в области бровки уступов дает информацию о механизмах и направлениях сдвижения. Визуальные наблюдения могут быть как непосредственными (пешие маршруты), так и дистанционные, выполняемые с помощью беспилотных летающих аппаратов (фотограмметрическая / лазерная съемка) или наземная (стационарная / мобильная) фотограмметрическая / лазерная съемка с другого или прилегающего участка карьера.

3.2.3. Образующиеся трещины должны помечаться краской, для их последующей идентификации и замеров (контроль длины, ширины раскрытия и вертикальных смещений). Расположение трещин и данные об их образовании отмечаются на планах и поперечных разрезах.

3.2.4. Выявление позиции возможных призм обрушения уступов карьера, разреза при поверхностном картировании осуществляется на основе визуальной регистрации потенциально неблагоприятных пространственных сочетаний разрывных нарушений и

элементов уступа или группы уступов борта карьера, разреза в процессе геолого-структурной съемки или на полигональной текстурированной модели уступа. При этом должны быть определены пространственные координаты точек выхода линий скрещений плоскостей разрывов в откосе и следов сечения разрывными нарушениями поверхности уступа, что позволяет при последующей обработке данных картирования выявлять потенциально неустойчивые блоки горных пород сложной формы и оценивать объем потенциальных призм обрушения.

3.2.5. При использовании воздушной и локальной наземной цифровой (фотограмметрической / лазерной) съемок оценка состояния откосов производится либо путем визуального сравнения цифровых снимков, полученных в различные периоды наблюдений, либо путем сопоставления (вычитания) трехмерных моделей или ортофотопланов исследуемого участка прибортового массива.

Для исключения «мертвых зон» в облаке точек фотографирование выполняется методом «наклонной камеры» с углами наклона от 45 до 60 градусов к горизонту. Метод съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) по сравнению с лазерным сканированием, имеет меньшую точность, поэтому может использоваться только для мониторинга на участках с активным процессом сдвижения, либо для визуального анализа.

3.2.6. Визуальное обследование состояния откосов должно проводиться не реже одного раза в месяц участковым маркшейдером или геологом (или сотрудником службы мониторинга устойчивости при ее наличии) и включает в себя фиксирование всех признаков начинающихся деформаций откосов, геологических и горнотехнических факторов, влияющих на их устойчивость. Результаты обследования заносятся в специальный журнал и подписываются лицом, произведшим осмотр.

3.2.7. В визуальном мониторинге должен быть задействован весь персонал, находящийся на карьере во время рабочей смены, на всех участках, к которым есть доступ на предмет видимых признаков смещений породного массива.

3.3. Маркшейдерский мониторинг

3.3.1. Маркшейдерский мониторинг выполняется с использованием электронных тахеометров (призменный мониторинг) и систем спутникового позиционирования выполняется по реперам наблюдательной станции, закрепленным на откосах и за пределами контура карьера. При мониторинге по профильным линиям могут использоваться также нивелир и рулетка. Данные способы относятся к так называемому точечному мониторингу.

3.3.2. При маркшейдерском мониторинге сеть наблюдательных станций состоит из опорных и рабочих реперов, которые следует располагать в виде профильных линий вкрест простирания бортов или по периметру контура карьера, а также вдоль бровок на бермах уступов и ярусов отвалов.

3.3.3. Опорные репера должны быть расположены на участках, не подвергающихся сдвигению в результате ведения горных работ, на расстоянии от верхней бровки не менее 1.5 глубины карьера (рис. 3.2). Расстояния, характеризующие зону сдвижения, могут быть уточнены в зависимости от схем потенциального деформирования откоса и приведены в ФНиП (Таблица 2, Приложение 8). Расположение опорных реперов наблюдательной сети определяется проектом наблюдательной станции.

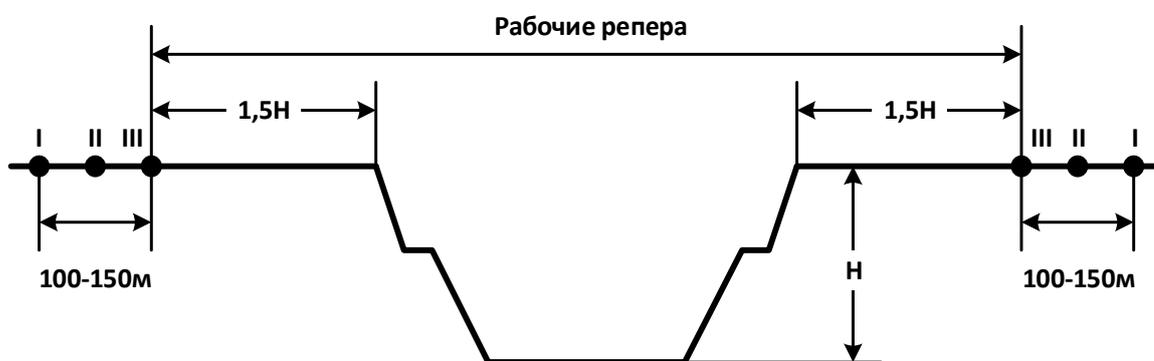


Рисунок 3.2 – Схема профильной линии на борту карьера: I, II, III – опорные репера

Для определения положения опорных реперов наблюдательной сети допускается использовать спутниковые навигационные системы. Опорные репера допустимо располагать в зоне сдвижения при периодическом контроле их положения от исходного репера (базовой станции).

3.3.4. При мониторинге по профильным линиям каждая профильная линия состоит из не менее 2-3 опорных реперов. Количество рабочих реперов определяется шириной ожидаемой зоны сдвижения. Расстояния между рабочими реперами, расположенными в пределах призмы возможного обрушения, принимаются в диапазоне 20-30 м. При закладке рабочих реперов на уступах расстояние между ними зависит от ширины берм и может быть уменьшено до 5-10 м. При данном способе мониторинга допустимо использовать нивелир и рулетку с определением длины интервалов и превышений между реперами.

3.3.5. В связи с тем, что при мониторинге по профильным линиям существуют определенные трудности с выбором мест закладки реперов, как в связи с рельефом, так и примыканием отвалов к проектному контуру карьера, то другим возможным способом организации наблюдательной станции является методом построения линейно-угловых сетей, или так называемая площадная наблюдательная станция. Репера располагаются по

периметру конечного контура карьера и внутри карьерного пространства на бермах. В процессе съемки определяются полные векторы смещений. В дальнейшем, по мере постановки уступов в проектное положение, данная сеть может служить в качестве основы для съемки реперов во внутренней области, на уступах карьера.

Расположение реперов наблюдательной станции и методика определения сдвижений определяется проектом наблюдательной станции.

3.3.6. Примеры площадных наблюдательных станций приведены на рисунках 3.3, 3.4, наблюдательной станции по профильным линиям – на рисунке 3.5.

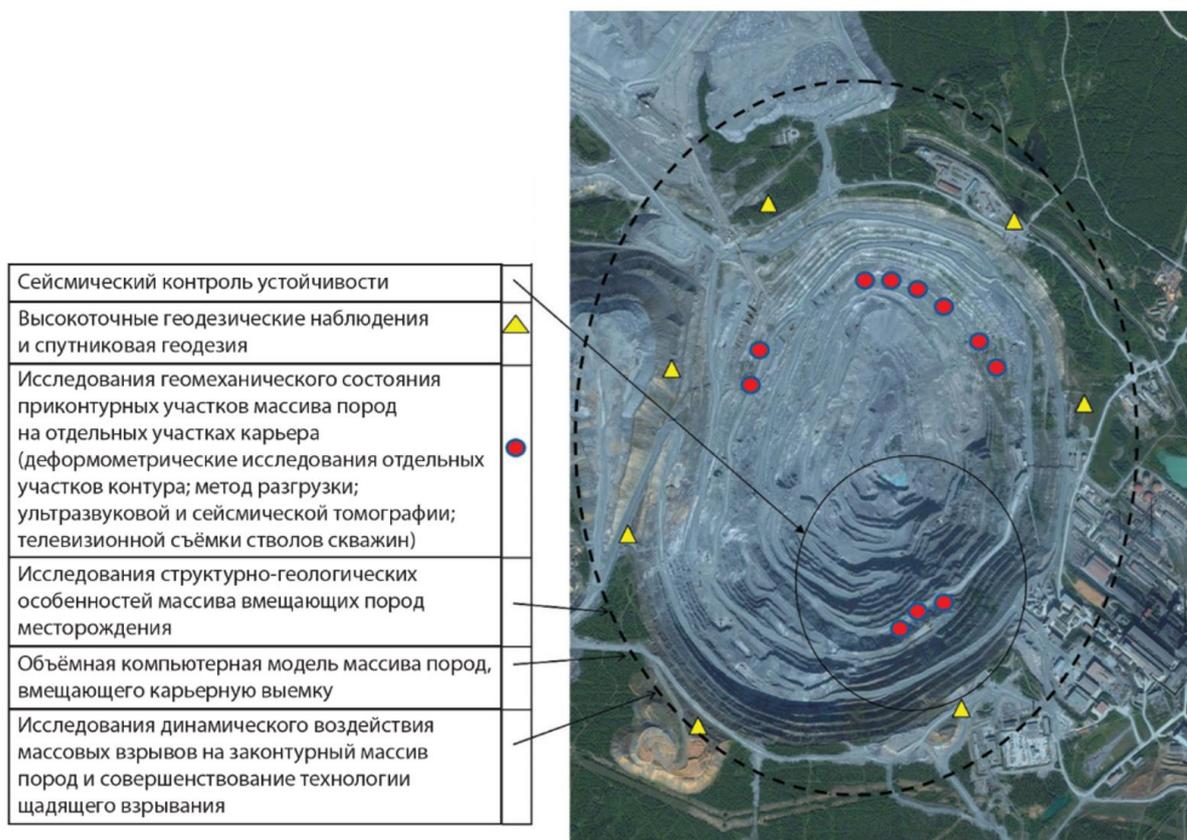


Рисунок 3.3 – Пример расположения наблюдательной станции

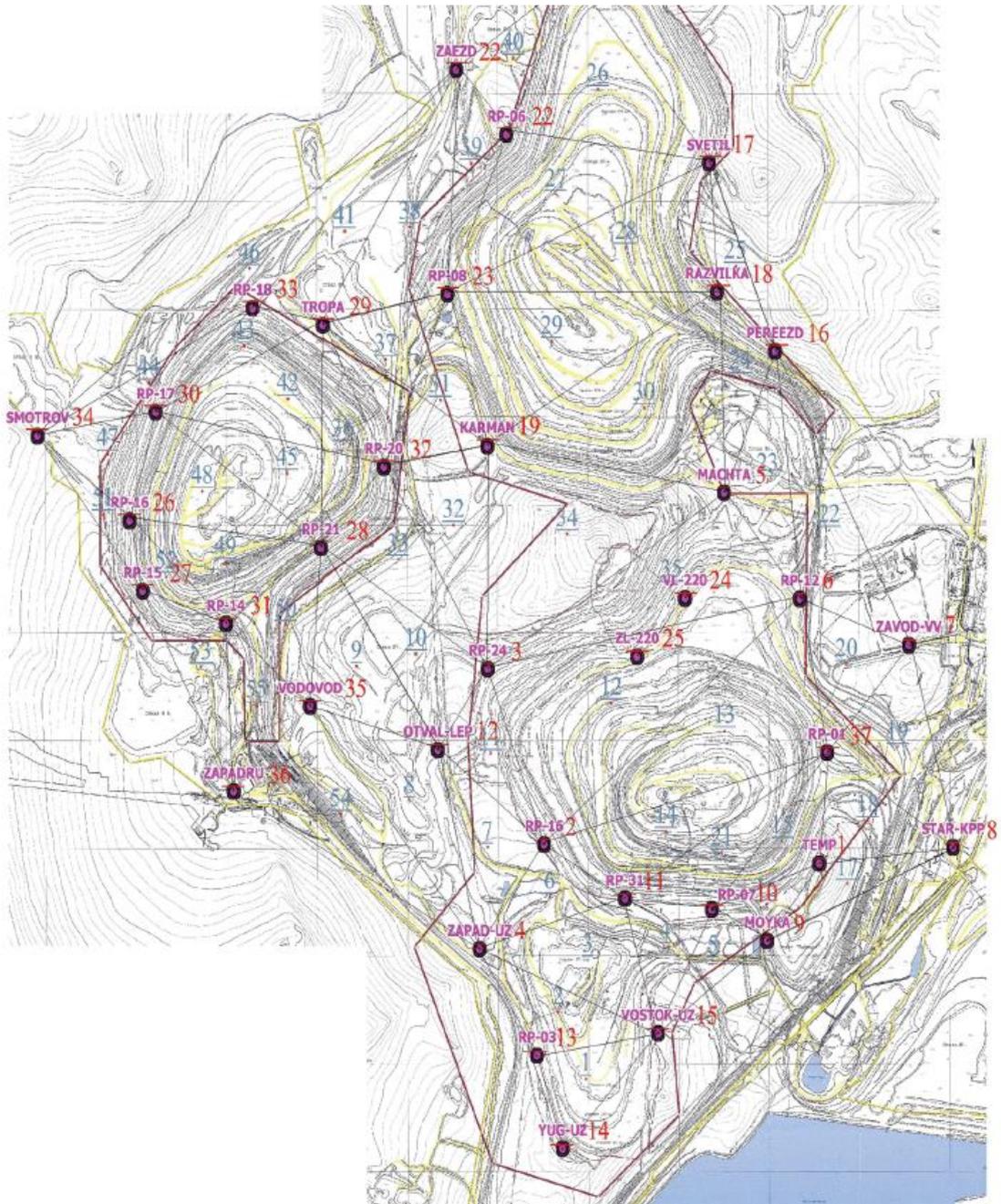


Рисунок 3.4 – Пример площадной наблюдательной станции

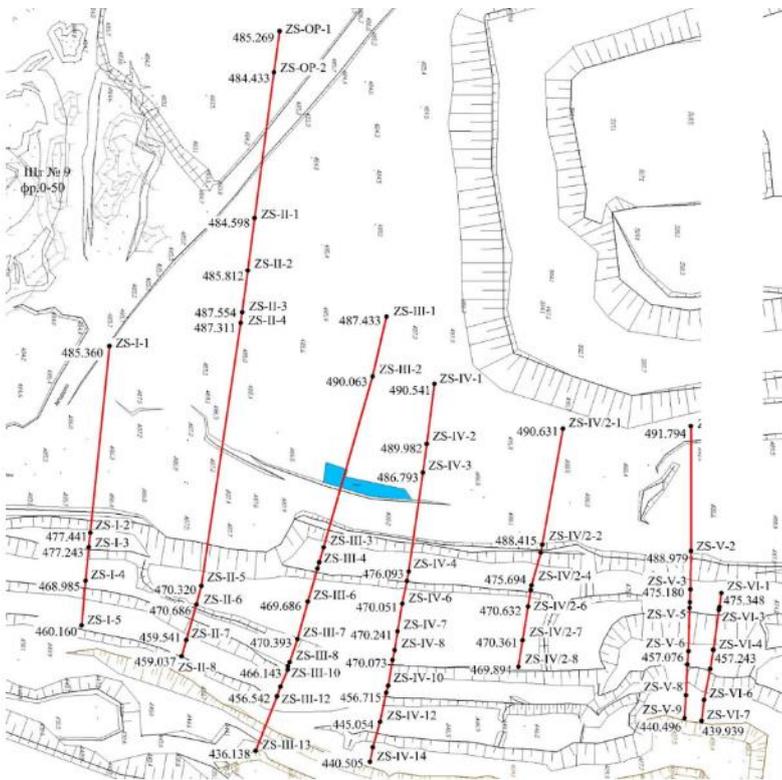


Рисунок 3.5 – Пример наблюдательной станции на угольном разрезе в виде профильных линий

3.3.7. При закладке реперов должны соблюдаться следующие требования:

- прочная связь репера с горной породой;
- сохранность и неизменность репера на весь срок их службы;
- устойчивость репера в условиях сезонного изменения температуры и влажности пород, промерзания и оттаивания горных пород;
- сохранность репера при разлёте кусков породы во время взрыва.

Для наблюдательных станций исходные и опорные реперы выполняются бетонными, с якорем ниже глубины промерзания пород, а рабочие реперы –

забивными. Для повышения точности и удобства проведения наблюдений, реперы могут иметь конструкцию для принудительного центрирования инструмента (рис. 3.6).

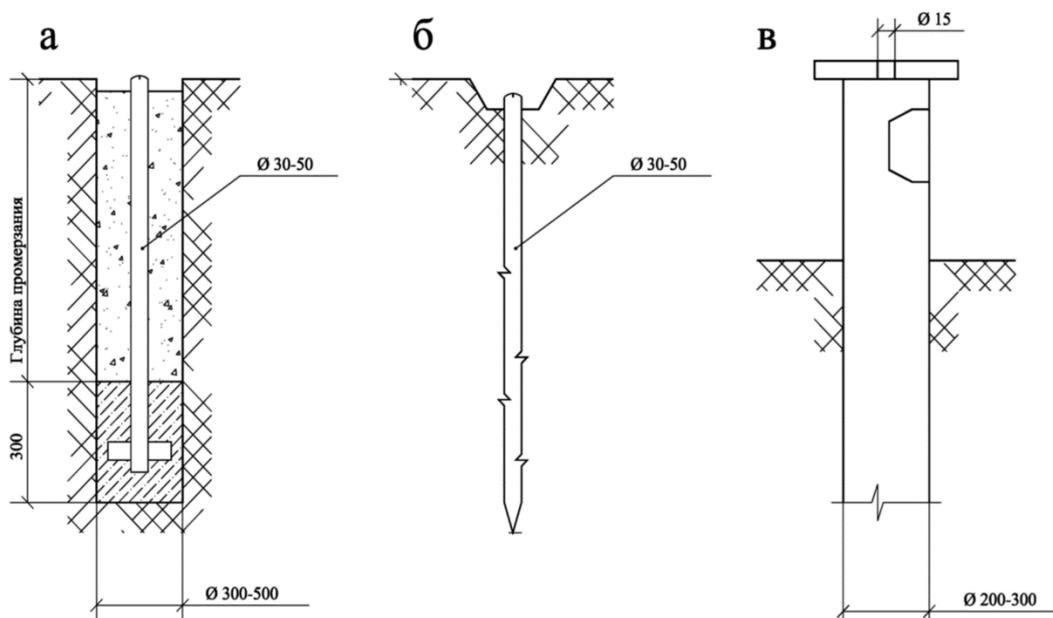


Рисунок 3.6 – Конструкция реперов наблюдательных станций: а – бетонированный в скважине репер; б – репер забивного типа; в – репер с принудительным центрированием инструмента

3.3.8. После проведения съемки данные обрабатываются для определения текущего положения снимаемых точек в принятой на предприятии системе планово-высотных координат. Величины пространственных смещений реперов, их скорости, деформации интервалов профильных линий и направления смещений определяются путем сравнения координат по данным двух или более серий мониторинговых измерений.

Система маркшейдерского мониторинга предполагает выполнение следующих видов измерений:

- определение трехмерных векторов смещений реперов наблюдательной станции, а также контроль стабильности опорных реперов выполняется методом спутникового позиционирования или с применением электронных тахеометров;
- измерение вертикальных смещений реперов наблюдательной станции выполняется методами геометрического, тригонометрического нивелирования или спутниковым позиционированием;
- измерения длин интервалов выполняется с помощью электронного тахеометра и периодически устанавливаемого отражателя, либо при оборудовании реперов стационарными отражателями.

– при наблюдениях по профильным линиям и упрощенных наблюдениях измерение длин интервалов между реперами наблюдательных станций допустимо выполнять с помощью рулетки, в том числе электронной.

3.3.9. Призменный мониторинг предполагает определение трехмерных векторов смещений электронным тахеометром (рис. 3.7).

Полная серия инструментальных наблюдений включает в себя следующие работы:

- привязку исходных и опорных реперов станций (определение координат X, Y, Z) к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети;
- производство начальных наблюдений для определения исходного положения реперов наблюдательных станций в горизонтальной и в вертикальной плоскостях;
- производство систематических наблюдений за положением реперов для определения их смещений.

Привязка исходных и опорных реперов профильных линий к пунктам опорной сети и определение их координат (X, Y, Z) в единой системе выполняется автоматически с помощью электронного тахеометра. При этом электронный тахеометр устанавливается на исходный (опорный) репер наблюдательной станции и ориентируется на 1-2 других пункта опорной сети.



а) электронный тахеометр, б) отражатель на жестком отвесе

Рисунок 3.7 – Призменный мониторинг

Все измерения электронным тахеометром для повышения точности и исключения грубых ошибок рекомендуется выполнять при двух положениях вертикального круга 6 приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором производится несколько измерений (2-3).

За окончательный результат принимается среднее значение измерений, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать ± 2 мм.

Начальные наблюдения на станции состоят из двух независимых серий измерений с интервалом 3-5 дней.

С помощью электронного тахеометра могут быть определены все необходимые данные: расстояния между реперами, превышения и координаты реперов наблюдательных станций.

Для уменьшения погрешностей, предлагается методика наблюдений, предусматривающая соблюдения определенных условий:

- закрепление отражателей в соответствии с рисунком 3.2 на жестких отвесах;
- максимальное удаление рабочих реперов от опорных или связующих реперов не рекомендуется более 500 м;
- при наблюдениях электронными тахеометрами на мониторинговых интервалах более 500 метров учитывается поправка за температуру и давление на момент проведения серии наблюдений. Измерение атмосферного давления выполняется с точностью до 1 мм рт. ст. и температуры воздуха с точностью до 10 С;
- систематический контроль положения опорных и связующих реперов в каждой серии наблюдений;
- при разделении профильной линии связующими реперами на секции съемка крайних рабочих реперов секций выполняется с обязательным контролем и уравниванием с последующего связующего репера.

Возможно стационарное закрепление на реперах специальных пластин с отражателями или отражательными призмами. Пример расположения отражательных призм при автоматизированном призмённом мониторинге приведен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 - Пример установки стационарных отражательных призм

3.3.10. Измерение превышений геометрическим нивелированием рекомендуется применять при измерениях на профильных линиях наблюдательных станций на горизонтальных участках и участках с небольшими наклонами (до 10 - 15°). Нивелирование реперов в каждой серии наблюдений производится методом из середины в прямом и обратном направлениях. Рейки устанавливаются непосредственно на реперы.

Невязка разомкнутых и замкнутых ходов Δh , мм не должна превышать $\pm 6\sqrt{L}$ или $\pm 2\sqrt{n}$, где L - длина хода, км; n – количество штативов. Расхождение в превышениях между соседними реперами профильных линий из прямого и обратного хода не должны превышать 2 мм. Для повышения точности измерений рекомендуется применять современные электронные нивелиры в комплекте со штрихкодowymi рейками, позволяющими обеспечить точность 1 мм на 1 км двойного хода.

3.3.11. Измерение превышений тригонометрическим нивелированием производится для определения высотных отметок реперов, расположенных на участках с большими наклонами, в том числе непосредственно в бермах уступов. Для измерений рекомендуется

применять электронные тахеометры, обеспечивающие одновременное измерение углов наклона линий визирования и наклонных расстояний, что позволяет вычислить не только высотные отметки реперов, но и длины горизонтальных проложений между ними.

Тригонометрическое нивелирование производится электронными тахеометрами, обеспечивающими среднюю квадратическую погрешность измерения вертикальных углов $1 \div 5''$, а линий - 2 мм (на призму), 3 мм (на отражающую плёнку).

Измерение углов наклона линий при тригонометрическом нивелировании должно производиться при двух положениях трубы. Измерение расстояний производится не менее трех раз, расхождения между измерениями при этом не должны превышать 2 мм. Ошибка измерения высоты инструмента и сигнала не должна превышать 1 мм. Высотные отметки всех реперов должны быть получены в каждой серии дважды, в прямом и обратном направлениях, либо в одном направлении при двух горизонтах инструмента.

При проведении тригонометрического нивелирования рекомендуется измерения планировать таким образом, чтобы измеряемые вертикальные углы не превышали 30° , а расстояния – 500 м. Это связано с тем, что, исходя из практики применения электронных тахеометров с режимом безотражательных линейных измерений, при данных параметрах погрешности определения превышений не превосходят погрешности линейных измерений.

3.3.12. Измерение длин интервалов (расстояний) между реперами наблюдательной станции производится рулетками, в том числе электронными, электронными тахеометрами в комплекте с призмой-отражателем или отражающей пластиной, которые устанавливаются непосредственно над реперами с помощью оптических центриров с точностью ± 1 мм. Призма-отражатель или отражающая пластина для удобства измерений на уступах карьера может устанавливаться с помощью вешки в комплекте с триподом или биподом. При точности измерения расстояний на для электронного тахеометра, составляющей $1.5 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$, инструментальная погрешность измерения 20-50-метрового интервала не превышает 1.6 мм, а с учетом ошибки центрирования – 1.9 мм.

3.3.13. Системы автоматизированного маркшейдерского мониторинга деформаций бортов карьеров включают комплекс измерительных средств: электронно-оптических роботизированных тахеометров, стационарных систем спутникового позиционирования и лазерных сканеров, датчиков горизонтальных и вертикальных сдвижений и деформаций и др.

Измерения электронными тахеометрами могут осуществляться как вручную, так и в автоматическом режиме (при использовании роботизированных тахеометров). Тахеометры с сервоприводами (рис. 3.9) могут быть запрограммированы на выполнение съемки с определенной периодичностью с автонаведением на указанные точки (специально

установленные на борту карьера призмы). Результатами мониторинга является полный вектор перемещения контрольных точек наблюдений.



Рисунок 3.9 – Станция призмного мониторинга

Специальное программное обеспечение осуществляет сбор, обработку и накопление данных в режиме реального времени со всех систем и датчиков, производит отображение данных, осуществляет проверку данных на вхождение в установленные допуски и выполняет оповещение при их превышении.

К недостаткам данного метода можно отнести необходимость закрепления на наблюдаемых участках большого числа отражателей и нескольких тахеометров с сервоприводами, которые бы смогли обеспечить съемку всех призм, а также необходимость защиты приборов от атмосферных осадков и пыли (как правило, для этой цели используют специально оборудованные будки).

Пример расположения рабочих реперов при автоматизированном призмном мониторинге приведен на рисунке 3.10.

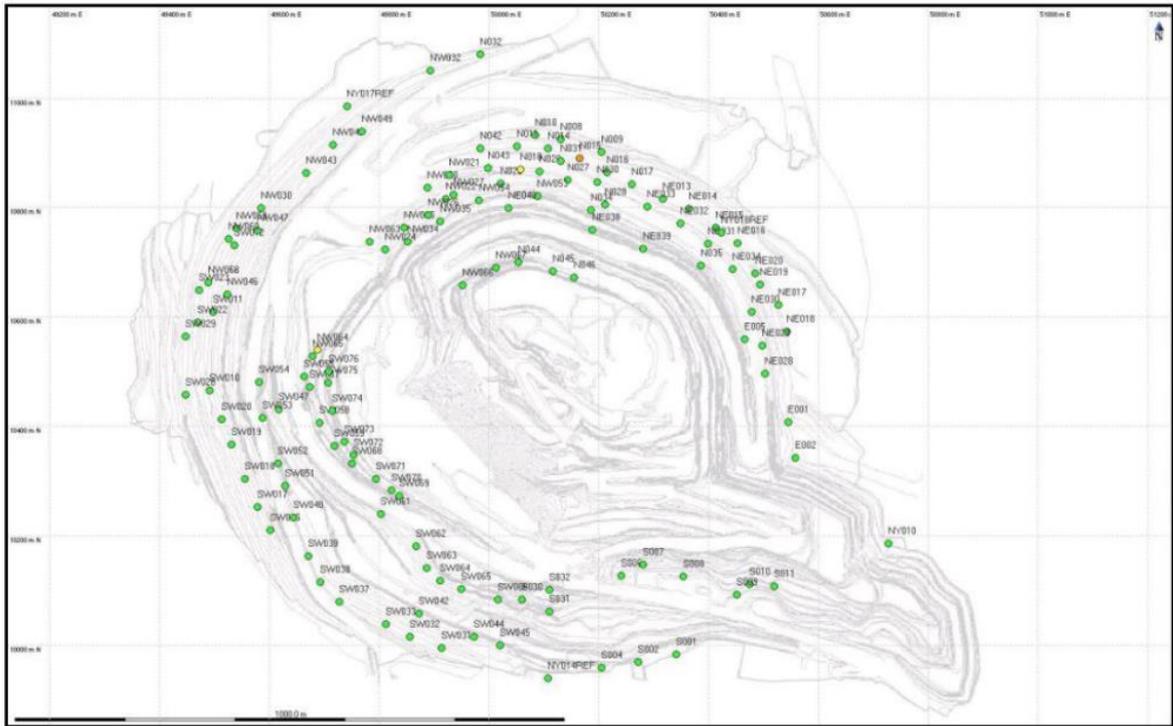


Рисунок 3.10 – Пример расположения рабочих реперов наблюдательной станции при ведении призмного мониторинга

Пример схемы установки роботизированных тахеометров (синим) и точек привязки (красным) приведен на рисунке 3.11. Приборы и точки ориентирования (опорные точки) располагаются за границей предельного контура карьера. Тахеометры, устанавливаемые на точках В и Е располагаются так, чтобы осуществлять мониторинг противоположного борта карьера. Точки ориентирования служат для корректировки координаты стоянки приборов путем обратной геодезической засечки и хотя бы две из них должны быть за пределами зоны сдвижения. При невозможности установки точек ориентирования за пределами зоны сдвижения допустимо контролировать положение точки установки прибора при помощи спутникового позиционирования.

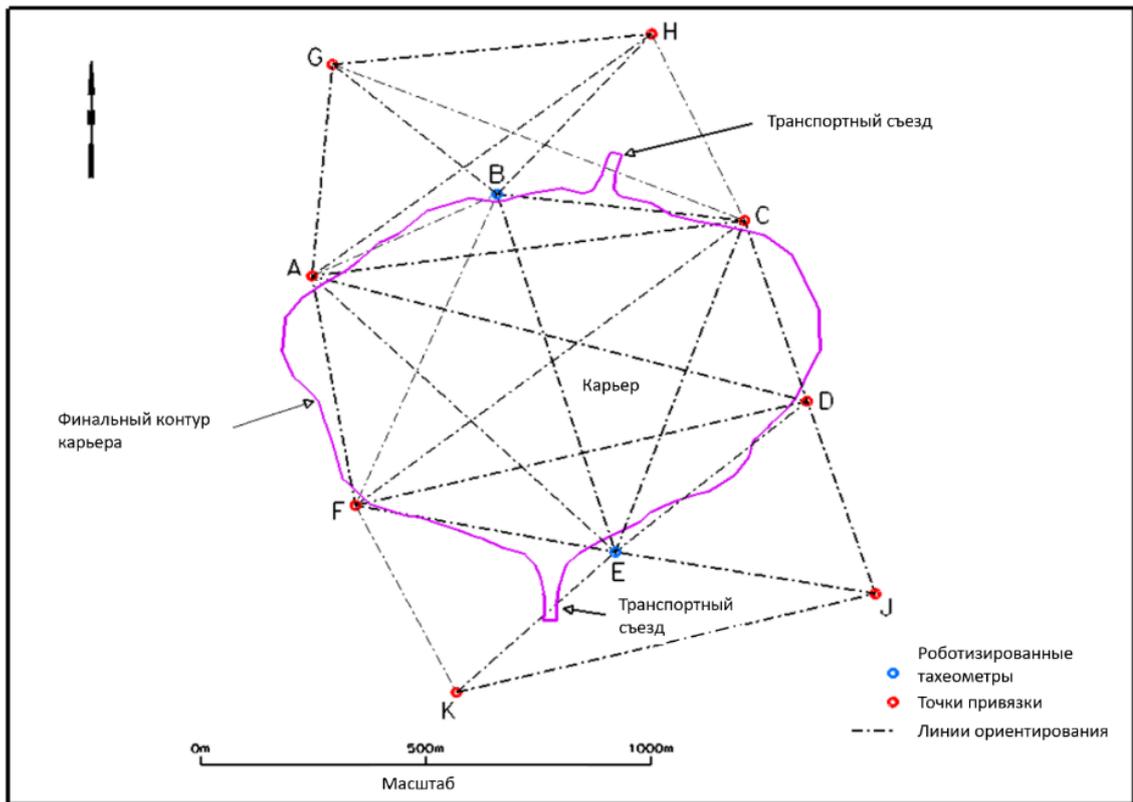


Рисунок 3.11 – Пример схемы установки призмного мониторинга

4.3.14. При спутниковом мониторинге (рис.3.12) определение пространственных координат реперов производится в дифференциальном режиме относительно исходных или опорных реперов. В отличие от предыдущего метода съемки, в данном случае не требуется прямой видимости между соседними реперами, а также этот метод позволяет проводить измерения при большой длине базовой линии (расстояние до опорной точки). Система не требует значительных расходов на ее поддержание и имеет длительный срок службы.

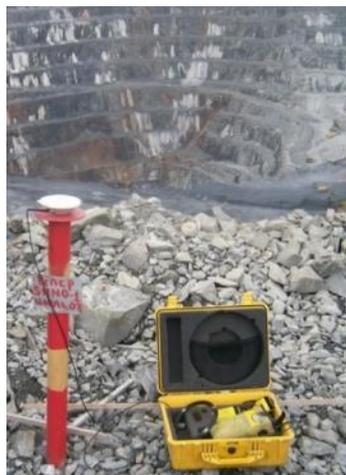


Рисунок 3.12 – Пример станции спутникового мониторинга с репером принудительного центрирования

Для организации автоматизированного мониторинга спутниковые приемники могут стационарно устанавливаться на наблюдаемых точках в борту карьера, однако зачастую это является нецелесообразным, ввиду высоких затрат на приобретение большого числа приемников и организации системы подвода питания к каждому из них, поэтому основным способом является периодический мониторинг.

Для выполнения наблюдений методом спутникового позиционирования, для достижения максимальной точности определения координат реперов наблюдения необходимо выполнять двухчастотными спутниковыми приемниками геодезического класса дифференциальным методом в статическом режиме с постобработкой результатов измерений. Также возможно использование режима RTK (режим реального времени) с получением координат определяемых точек непосредственно в полевых условиях, для этого между базовым приемником и ровером, снабженными радио или GSM модемами, требуется наличие радиосвязи либо GSM-связи.

Также следует отметить, что точность определения высотной отметки спутниковыми приемниками обычно ниже, чем точность определения плановых координат (5 мм и более).

Точность спутниковых наблюдений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема данных. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим собой отношение среднеквадратической погрешности определения местоположения к среднеквадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников.

Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP. Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет 20° . Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной. Поэтому полевые измерения с использованием спутниковых технологий, при ограниченной видимости небесной сферы, должны сопровождаться предварительным планированием времени и продолжительности спутниковых измерений. Данная процедура осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, поставляющегося вместе с спутниковыми приемниками.

Благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте DOP меньше 4.

Для получения достоверных результатов измерения должны производиться в режиме «Статика» или «Быстрая статика», при которых время наблюдения на одну точку составляет от 5 до 20 мин. при хорошем спутниковом созвездии, а при неблагоприятном расположении спутников может увеличиться до 1,5-2 ч.

Предпочтительной схемой наблюдений является способ, когда одновременно в измерениях участвуют 3 и более приемников (включая приемник на базовой станции). Такой способ позволяет выполнять оценку точности измерений и последующего уравнивания по замкнутым полигонам. В случае, если не обеспечивается достаточная точность определения высотной отметки реперов при использовании спутниковых систем, они могут дополнительно определяться геометрическим либо тригонометрическим нивелированием.

Применение спутниковых систем имеет свои недостатки, в числе которых – необходимость открытого обзора. Для высокоточных наблюдений в поле зрения прибора должны попадать спутники, находящиеся в разных частях небесной сферы, что не всегда является осуществимым, особенно при расположении приемника внутри карьера или в горной местности, когда борта карьеров или склоны гор существенно сокращают угол обзора.

3.3.15. Упрощенные наблюдения

Появление трещин на земной поверхности является одним из первых видимых признаков нарушения устойчивости массива.

Документирование трещин производится путем натурных обмеров, установки контрольных индикаторов, замеров по специальным реперам для измерения раскрытия трещин, контактных и бесконтактных датчиков деформаций, а также автоматических систем измерения трещин. На рисунке 3.13 показана станция проволочного экстензометра, установленного по краям трещины и замер ширины раскрытия трещины рейкой. При этом непосредственно фиксируются текущие длина трещины, ширина ее раскрытия и смещения по ней. Наблюдения за изменением ширины раскрытия и направлением развития трещин необходимо проводить для установления границ неустойчивой зоны.



Рисунок 3.13 – Определение раскрытия трещин: экстензометр и рейка

Трещины следует пометить краской или флажками ярких цветов для облегчения регистрации новых трещин во время плановых визуальных осмотров карьера и для предупреждения персонала об опасности нахождения в этой зоне. Для наблюдения за раскрытием трещин могут использоваться стационарно закрепленные по краям трещин рейки (для более точных показаний рейки оснащаются микрометренными головками) либо проволочные экстензометры. Последние могут быть запрограммированы на сигнал тревоги при достижении смещениями некоторых критических значений.

Также могут использоваться другие деформационные датчики, например, наклонометры или электронные уровни. Они используются для мониторинга блоков в откосах скальных пород при условии наличия вращательной или угловой составляющей деформации. Наклонометры применяются с разрешением до 1 угловой секунды и быть переносными или устанавливаться стационарно.

3.3.16. Системы лазерного сканирования используются при необходимости дистанционного получения с высокой точностью пространственной цифровой модели участка борта карьера или откоса отвала. При применении приборов дистанционного наблюдения отпадает необходимость закладывать реперы на опасных участках и периодического присутствия в них людей в период наблюдений. В результате съемки формируется трехмерное облако точек заранее заданной плотности, каждая точка которого имеет определенные с высокой точностью пространственные координаты, цветовые и отражающие характеристики (рис. 3.14).

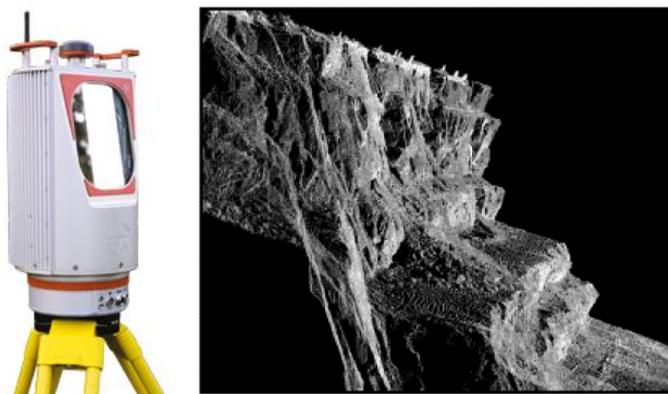


Рисунок 3.14 – Лазерный сканер с примером получаемого в результате съемки облака точек

По результатам сопоставления трехмерных цифровых моделей выявляются пространственные смещения участков массива и их величины, в том числе скорости и направления смещений массива, раскрытие или смыкание трещин, закономерности формирования оползневых участков. Также, на основе полученных данных, возможно формирование по произвольным сечениям профильных линий и построение по ним графиков сдвижений.

Наземное лазерное сканирование используется для получения трехмерного отображение борта карьера с сантиметровым уровнем точности на расстоянии до 2500 м, что позволяет использовать лазерные сканеры для мониторинга карьеров и отвалов.

Лазерное сканирование выполняется с пунктов опорной маркшейдерской сети, с нескольких стоянок для обеспечения наиболее полного охвата поверхности карьера и исключения «мертвых зон» в едином облаке точек. Впоследствии производится сшивка полученных сканов и формируется единое облако точек, представляющее трехмерную модель карьера или участка его борта.

При совмещении двух облаков точек, полученных в различные периоды, путем математической операции вычитания цифровых моделей, результирующая модель будет являться объемной моделью сдвижения двух поверхностей. Объемная модель процесса деформирования отражает как величины пространственных смещений точек породного массива, так и их направления.

При использовании технологии лазерного сканирования рекомендуется проведение исходной серии на проблемных участках прибортового массива в уплотненном режиме. Рабочие серии мониторинговых измерений производятся по программе исходной серии наблюдений, но по разреженной измерительной сетке. Математические операции по вычитанию цифровых моделей и визуализации проводятся в соответствующем программном обеспечении. В случае активизации деформационных процессов в

прибортовом массиве последующая внеочередная серия наблюдений может быть детализирована до уровня исходной.

С использованием лазерного сканера может выполняться мониторинг смещений в автоматическом режиме с заданным угловым шагом последовательных измерений расстояния до поверхности откоса по времени прохождения лазерным лучом пути до точки и обратно. Измеряемые величины при наземном лазерном сканировании являются аналогичными, как при работе с электронными тахеометрами. Однако принцип тотальной съёмки объекта, а не его отдельных точек, характеризует наземный лазерный сканер как съёмочную систему, результатом работы которой является трёхмерное изображение, так называемый скан. Система фиксирует сдвигения, сравнивая сканы одного участка, сделанные в разные периоды времени.

Среди достоинств лазерно-сканирующих систем: возможность следить за поведением целостного горного массива, а не только за контрольными точками, производить измерения в режиме реального времени, оперативно определять форму и характер деформаций, вести наблюдения из безопасной зоны. Лазерный сканер позволяет производить съёмку большого участка откоса с высокой скоростью, без использования отражательных призм. Также к плюсам данного метода следует отнести мобильность самого устройства.

Тем не менее, по сравнению с радарными системами, лазерные сканеры реже используются для автоматизированного мониторинга сдвижений откосов ввиду их более низкой точности и зависимости от погодных условий. Точность лазерного сканирования в безотражательном режиме составляет порядка 20-50 мм.

3.3.17. В процессе камеральной обработки результатов наблюдений необходимо определение смещений, скоростей смещений реперов и относительные деформации интервалов через фиксируемые трехмерные координаты или измеренные длины интервалов (при наблюдениях по профильным линиям):

- при наблюдениях с получением трехмерных координат определение положения реперов наблюдательной станции позволяет установить величины и направления векторов смещений, деформаций, скоростей смещений, построить их распределение в виде векторов, изолиний, тензоров деформаций;

- при наблюдениях по профильным линиям производится вычисление высотных отметок реперов наблюдательной станции, вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий. Далее по каждой профильной линии вычисляются горизонтальные и вертикальные смещения реперов, их скорости, а также относительные деформации интервалов между реперами (растяжения/сжатия). При наблюдениях по

профильным линиям возможно выполнять измерения только вдоль профильной линии (рулеточные промеры и нивелирование), так и с получением полного вектора смещений при определении трехмерных координат;

– при линейных измерениях определяются изменения длин интервалов с получением смещений, скоростей смещений только вдоль линии визирования (радарный мониторинг).

При вычислении горизонтальных и вертикальных смещений реперов наблюдательной станции сравнение выполняется как между смежными сериями наблюдений, так и между начальной и текущей серией.

3.3.18. При наблюдениях с получением трехмерных координат анализ результатов за смещениями реперов осуществляется на основании следующих вычисляемых параметров:

ΔX_i ; ΔY_i ; ΔZ_i – смещение i -го репера между двумя сериями наблюдений, мм.

$$\Delta S_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3.1)$$

где ΔS_i – смещение i -го репера в плане, мм;

$$\gamma_i = \arctg \frac{\Delta Z_i}{\Delta S_i} \quad (3.2)$$

где γ_i – угол наклона полного вектора смещения i -го репера (град):

$$r_i = \arctg \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \quad (3.3)$$

α_S – дирекционный угол вектора смещения, вычисляется через румб - r_S : в зависимости от знаков ΔX_i ; ΔY_i дирекционный угол принимает значения $\alpha_S = r_S$; $\alpha_S = 180 - r_S$; $\alpha_S = 180 + r_S$; $\alpha_S = 360 - r_S$;

V_{Si} , V_{Zi} , V_i – скорости смещений i -го репера в плане, по высоте и общая скорость смещения между сериями наблюдений с интервалом времени Δt_i , мм/сут.

$$V_{Si} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i} \quad V_{Zi} = \frac{\Delta Z_i}{\Delta t_i} \quad V_i = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}{\Delta t_i} \quad (3.4)$$

3.3.19. При наблюдениях по профильным линиям вертикальные смещения ΔH определяются по формуле:

$$\Delta H = H_n - H_{n+1}, \quad (3.5)$$

где H_n – отметка репера из предыдущего или начального наблюдения; H_{n+1} – отметка репера из последующего наблюдения.

По вычисленным длинам интервалов между реперами L путем их суммирования определяются расстояния от опорного репера до каждого из реперов профильной линии ΣL (линейные измерения), по которым далее рассчитываются величины горизонтальных смещений $\Delta \Sigma L$:

$$\Delta\Sigma L = \Sigma L_2 - \Sigma L_1, \quad (3.6)$$

где ΣL_1 , ΣL_2 – расстояния от опорного репера до данного репера соответственно из начального (или предыдущего) наблюдения и из последующего наблюдения.

Далее для каждого репера вычисляется абсолютная величина полного вектора смещения

$$B = \sqrt{\Delta\Sigma L^2 + \Delta H^2} \quad (3.7)$$

и рассчитывается скорость его смещения в мм/сут. Так как скорость смещения непостоянна во времени, ее величина вычисляется отдельно для каждого временного интервала между наблюдениями, что позволяет проследить ее изменение от серии к серии. Возрастание скорости смещения является одним из признаков прогрессирующего развития разрушения откоса, что возможно анализировать по графикам зависимости смещений от времени.

3.3.20. Одной из показательных характеристик деформационного процесса являются величины относительных горизонтальных деформаций ε , вычисляемые по формуле:

$$\varepsilon = \frac{L_n - L}{L}, \quad (3.8)$$

где L_n и L – горизонтальная длина интервала соответственно из данного и начального наблюдения.

Относительные деформации интервалов необходимо вычислять между отдельными сериями наблюдений и относительно исходной серии.

Вычислительная документация в бумажном или электронном виде включает ведомости горизонтальных, вертикальных смещений, скоростей смещения реперов и, при необходимости рассчитываются горизонтальные деформации интервалов между реперами.

3.3.21. Примеры ведомости определения смещений и скоростей смещений по осям координат ΔX , ΔY , ΔZ и графика смещений по времени, построенного по результатам расчетов, представлены в таблице и на рисунке ниже (табл. 3.3, рис. 3.15).

Таблица 3.3 – Пример ведомости смещений и скоростей смещений реперов по осям координат ΔX, ΔY, ΔZ реперов наблюдательной станции

Дата	Наименование репера	Координата X	Координата Y	Координата Z	ΔX м	ΔY м	ΔZ м	Скорость движения реперов отношение последующего к предыдущему измерению			Скорость движения реперов отношение последующего к первому измерению		
								ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
								мм/сут	мм/сут	мм/сут	мм/сут	мм/сут	мм/сут
								скорость за 20 дней (мм./сут.)			скорость за 38 дней (мм./сут.)		
11.11.2020	Rp20	83169.145	47178.868	103.075	-0.003	-0.016	-0.008	-0.16	-0.81	-0.38	-0.35	-0.25	0.15
	Rp21	83038.500	46934.609	103.138	0.012	0.003	0.001	0.59	0.16	0.07	0.53	-0.06	0.42
	Rp22	82995.890	46733.077	104.086	0.000	-0.023	-0.026	0.02	-1.17	-1.30	0.43	-0.28	0.79
	Rp23	82944.489	46734.242	120.890	0.019	-0.002	0.011	0.95	-0.11	0.56	0.13	-0.13	-0.21
	Rp24	82972.638	46968.395	130.186	0.011	-0.012	0.016	0.53	-0.60	0.82	-0.03	-0.39	0.36
	Rp25	83097.181	47236.142	135.095	0.018	-0.002	-0.013	0.89	-0.10	-0.66	0.43	-0.11	-0.54

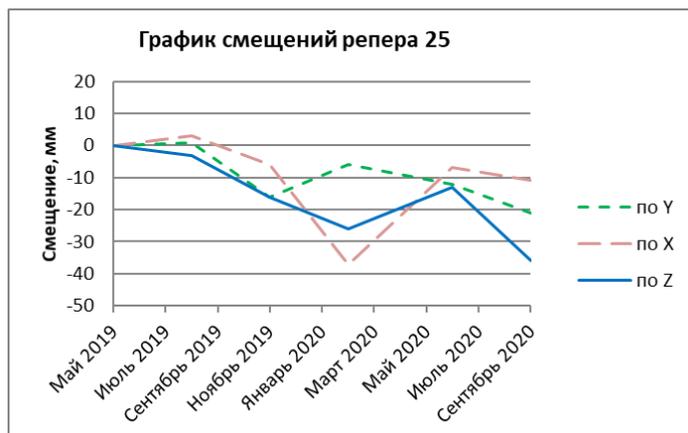


Рисунок 3.15 – Пример построения графика смещений по осям координат ΔX, ΔY, ΔZ по времени

Примеры ведомости определения полного вектора смещений, скоростей смещений и горизонтальных деформаций интервалов реперов наблюдательной станции и графиков, построенных по результатам расчетов, представлены в таблице 3.4 и на рисунке 3.16.

Таблица 3.4 – Пример ведомости полного вектора смещений, скоростей смещений и горизонтальных деформаций интервалов реперов наблюдательной станции

Дата замера	Номер репера	Координата X	Координата Y	Координата Z	Горизонт. смещ.	Горизонт. смещ. за весь интер. времени	Вертикал. смещ.	Вертикал. смещ. за весь интер. времени	Полный вектор смещ. $b = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ мм	Полный вектор смещ. за весь интер. времени $b = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ мм	V-скорость Полного вектора смещ. $V_b = b/\Delta T$ мм/сут	Угол наклона вектора смещ. $\beta = \arctan(\xi/\eta)$ град/мин	Интервал между реперами $\Delta X^2 + \Delta Y^2$ м	Горизон. дефор. интер между реп. $\epsilon = (d(i+1) - d_i)/d$ мм	V-скорость Горизон. деф. интервалов между реп. $V_\epsilon = \epsilon/\Delta T$ мм/сут
					$\xi = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ м	$\xi = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ м	$\eta = H(n+1) - H_n$ м	$\eta = H(n+1) - H_n$ м							
04.04.2020	Rp20	83169.159	47178.860	103.062	0.016	0.017	-0.013	-0.007	21	19	0.17	51/42			
	Rp21	83038.465	46934.600	103.122	0.036	0.018	-0.016	0.000	39	18	0.31	66/14	277.026	0.087	0.001
	Rp22	82995.872	46733.081	104.068	0.018	0.007	-0.018	0.013	25	15	0.20	46/12	205.972	-0.077	-0.001
	Rp23	82944.499	46734.254	120.867	0.015	0.016	-0.023	-0.031	28	35	0.22	33/25	51.387	-0.539	-0.004
	Rp24	82972.639	46968.408	130.131	0.013	0.002	-0.056	-0.042	57	42	0.46	12/53	235.839	0.000	0.000
	Rp25	83097.146	47236.142	135.087	0.036	0.019	-0.008	-0.029	36	35	0.29	77/09	295.269	-0.089	-0.001

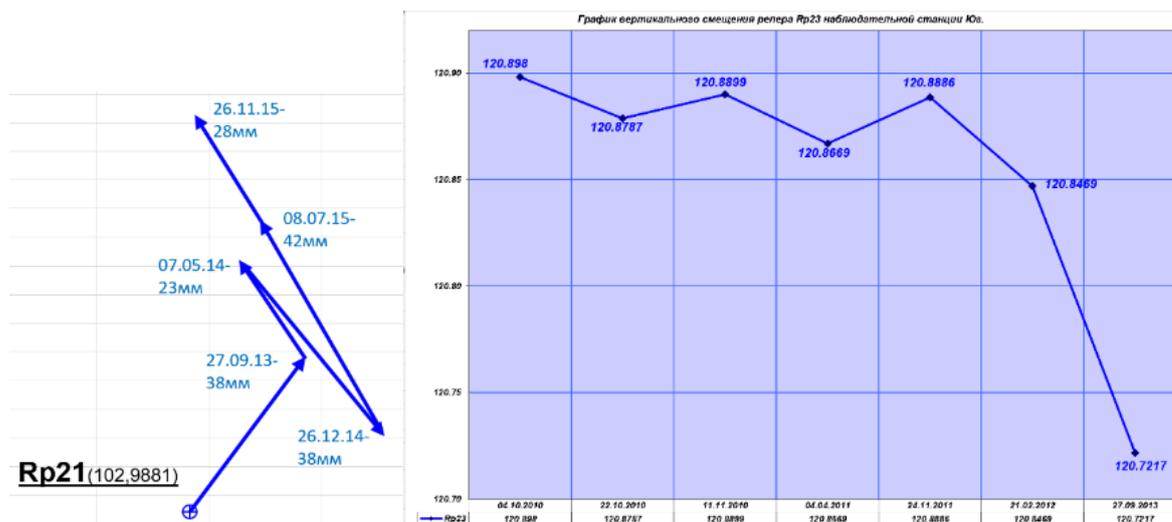


Рисунок 3.16 – Пример графиков горизонтальных и вертикальных смещений

3.4. Радарный мониторинг (наземный)

3.4.1. Наземные интерферометрические радары для дистанционного мониторинга смещений и деформаций требуемого участка борта в режиме реального времени, независимо от времени суток и атмосферных условий и без использования отражателей. Время сканирования заданной области на борту карьера зависит от размеров исследуемого участка, расстояния от радара до поверхности борта, плотности сканирования и метеоусловий.

Наземные интерферометрические радары являются дистанционным методом краткосрочного оперативного контроля за состоянием критических участков откосов. Наземные радары позволяют фиксировать смещения с миллиметровой точностью на расстоянии до 4 км. Радар устанавливается на борту карьера и ведет непрерывный мониторинг в автоматическом режиме выбранного участка на противоположном борту. Полученные данные передаются в информационную систему для обработки и графического их изображения в виде участка борта, на который, в виде слоев, накладываются величины скоростей смещений. Программное обеспечение для работы радара и обработки данных может подавать сигналы тревоги при выявлении уровней смещений, превышающих граничные значения, установленные персоналом.

3.4.2. Для мониторинга смещений откосов применяются радары двух типов:

- с реальной апертурой (рис. 3.17, а). Используется антенна типа «тарелка». Для сканирования используется тонкий луч, который, перемещаясь в горизонтальной и вертикальной плоскостях, производит измерения;
- с синтезированной апертурой (рис. 3.17, б). Используется широкий луч, охватывающий весь снимаемый участок, как по высоте, так и по ширине. Во время съемки

сканирующее устройство перемещается в горизонтальной плоскости вдоль линейного рейла, сканируя один и тот же участок с различных положений.

а)



б)



Рисунок 3.17 – Радарные системы: а) с реальной апертурой; б) с синтезированной апертурой

3.4.3. Данные сканирования могут представляться в двух видах. Первый вид – это тепловая карта, где участки сдвижений, в зависимости от их интенсивности, показываются в виде теплых или холодных цветов (рис. 3.18).

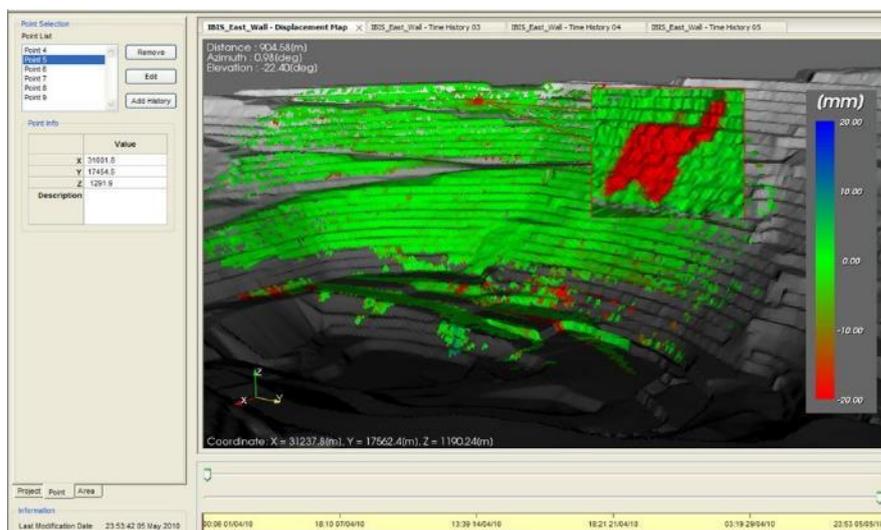


Рисунок 3.18 – Интерфейс программы обработки данных сканирования

Другой вид представления сдвижений – графики зависимости. На них, как правило, представлена зависимость от времени либо величины, либо скорости сдвижений. Для более удобного анализа данных по сдвигениям, пользователю предоставляется возможность выбрать на карте несколько точек по всему наблюдаемому участку, по которым будут строиться графики. Путем анализа по этим графикам из выбранных точек выделяются те, которые затронул процесс сдвижения. В дальнейшем анализируется поведение уже непосредственно этих точек (рис. 3.19).

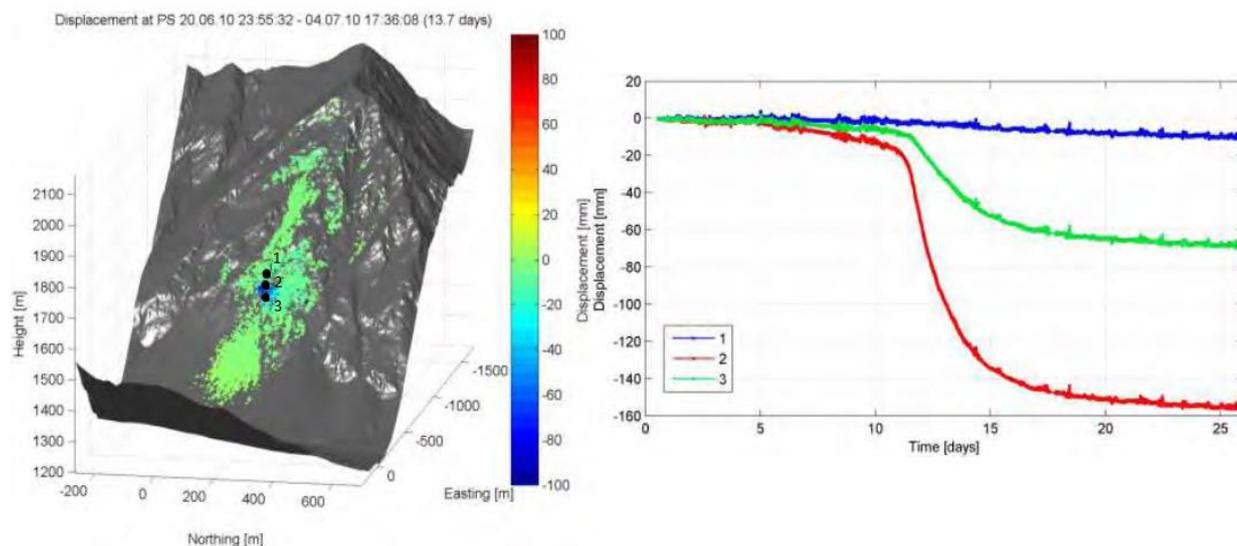


Рисунок 3.19 – Выбор характерных точек (слева) и графики зависимости величины сдвижений от времени для этих точек

3.4.4. Важной технической особенностью является фотокамера, установленная на некоторых типах радарных системах. Она делает панорамные снимки участка мониторинга. Результаты мониторинга накладываются на фотографию. Это дает более точное понимание ситуации, на каком именно участке борта локализованы деформации, каковы их границы. Также, по полученным данным можно прогнозировать время, когда произойдет оползень. Другой особенностью является мобильность многих видов радарных систем – зачастую они совмещены с прицепным оборудованием и иногда устанавливаются на автотранспорт. Благодаря этому, радары можно выводить в безопасное место на период взрывных работ. Также важными особенностями, которые совершенствуются в новых моделях радаров, являются облегчение процедуры маркшейдерской привязки на местности и интеграция программного обеспечения с другими мониторинговыми системами, например, с призмным мониторингом.

3.4.5. Метод наземной радарной интерферометрии обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с другими известными методами наблюдений. К их числу относятся:

- мониторинг выполняется в режиме реального времени с настраиваемой системой оповещения о скоротечных деформациях, с предупреждением о возможности обрушения за несколько часов;
- высокая информативность - наблюдения ведутся со сплошной зоной покрытия, а не только в специально закрепленных точках;
- дистанционность наблюдений дает возможность вести наблюдения, в том числе, на труднодоступных и опасных участках;
- возможность выполнять съемку в любое время суток, независимо от освещенности, в условиях облачности и тумана;
- возможность достижения миллиметрового (и субмиллиметрового) уровня точности.

К недостаткам относятся более высокая стоимость относительно других систем мониторинга; величины смещений определяются вдоль линии визирования, что не позволяет получить полные вектора смещений.

3.5. Радарный мониторинг (аэрокосмический)

3.5.1. Метод интерферометрического анализа спутниковых радарных снимков InSAR позволяет проводить мониторинг оседаний больших площадей земной поверхности для оценки их деформированного состояния. Данный метод имеет ряд ограничений (минимальная площадь исследуемого участка, требования к характеру поверхности и перепаду высот).

3.5.2. На рисунке 3.20 представлен пример совмещенного плана очистных пространств и изолиний оседаний земной поверхности при открыто-подземной разработке месторождения, зарегистрированных по данным космической интерферометрической съемки за период менее года с периодичностью мониторинга 2-3 раза в месяц.

По рисунку видно, что оседания земной поверхности наблюдаются в области подработки и достигают величин 30 мм.

Не подрабатываемая область осадок – зона 1 – связана с просадками хвостохранилища в результате уплотнительных процессов. Точками 1÷7 на рисунке показаны ключевые области, для которых была представлена интерпретация динамики смещений со временем.

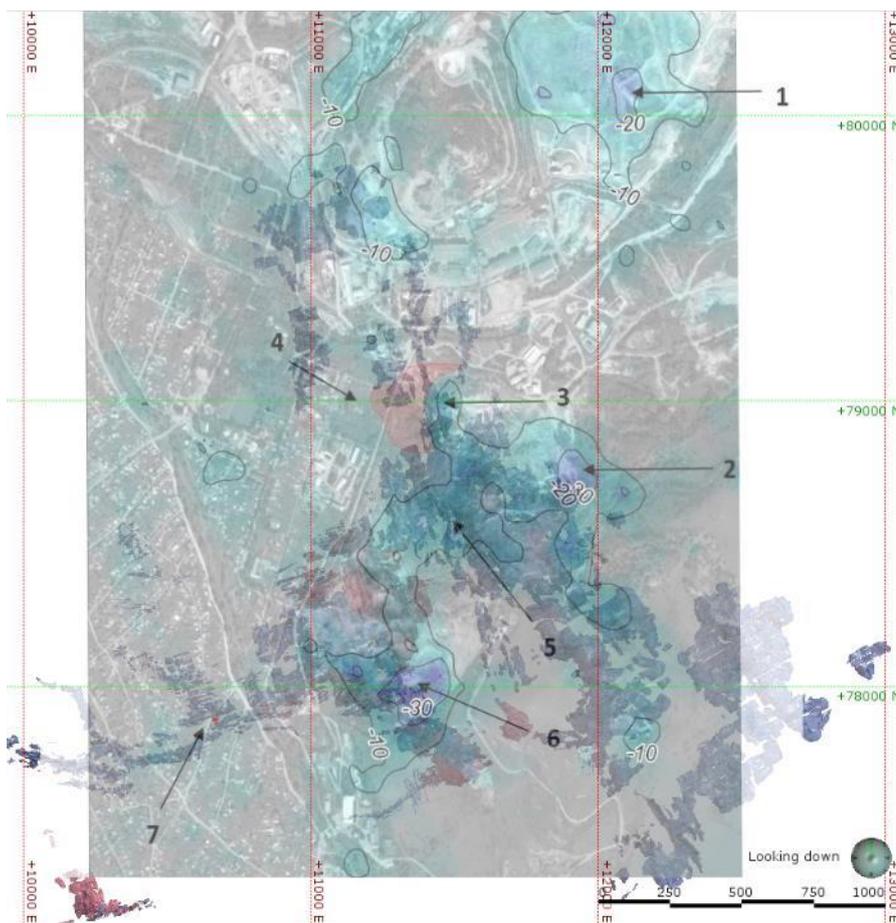


Рисунок 3.20 – Пример совмещенного плана очистных пространств и изолиний оседаний земной поверхности в районе открыто-подземной отработки месторождения

3.6. Геотехнический мониторинг

3.6.1. Системы геотехнического подземного (глубинного) мониторинга устанавливаются в скважинах, и применяются при необходимости определить местоположение поверхности скольжения или исследовать распространение подземных подвижек пород, в случае, когда предполагается, что подвижки могут быть не обнаружены при помощи инструментов наземного мониторинга.

3.6.2. Методы измерения глубинных деформаций делятся на две группы: контактные и бесконтактные, отличающиеся принципом связи системы отсчета с контролируемой точкой. Среди методов контактного мониторинга – измерения инклинометрами и скважинными экстензометрами; к бесконтактным относятся измерения с помощью рефлектометров и др.

Инклинометр представляет собой прибор, размещаемый в наблюдательной скважине, как правило, обсаженной стальной или полиэтиленовой трубой для регистрации бокового смещения. По способу установки в скважине устанавливаются как стационарно (один или несколько датчиков), так и погружаются в скважину только во время замера. В

процессе деформации обсадные трубы скважины перемещаются и искривляются согласно сдвигениям в массиве, эти изменения автоматически измеряются определением наклона чувствительного элемента инклинометра. Методы инклинометрии позволяют определять пространственную ориентировку стволов наблюдательных скважин, интенсивность их искривления в процессе деформирования массива, ориентировку искривления в пространстве и, соответственно, смещение горных пород в массиве.

Информация, собранная инклинометром, позволяет:

- определить зону сдвига;
- определить, является ли сдвигение плоским или вращательным;
- определить, является ли сдвигение постоянным, ускоряющимся или замедляющимся.

Скважинный экстензометр в виде натянутого стержня используется для наблюдения за изменениями расстояния между одним или более анкерами, закрепленными в скважине, и устьем этой скважины. По этим изменениям определяются смещения горного массива в направлении вдоль оси скважины.

Бывают проволочные, многоточечные стержневые, герконовые и проч. многопозиционные экстензометры, которые фиксируют дифференциальные подвижки датчиков, установленных на различных глубинах.

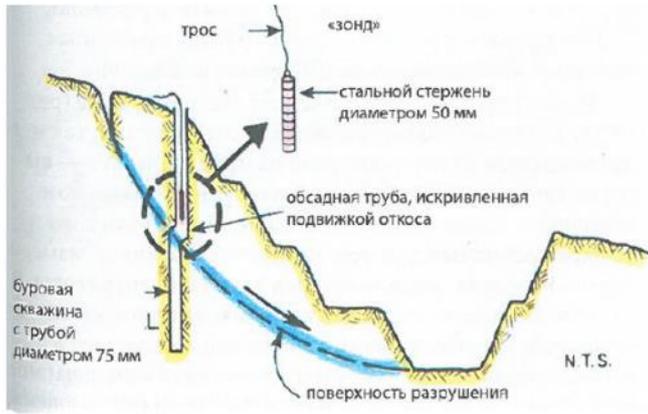
Экстензометры лучше всего использовать для мониторинга выявленных структурных нарушений, которые влияют на устойчивость откосов.

Датчики сдвига определяют местоположение деформации в скважине, по месту разрыва измерительной цепи. Основной областью применения этого датчика является мониторинг распространения глубины смещения под оползнем.

Рефлектометры обнаруживает разрывы или повреждения в электрических кабелях. Прибор показывает изменения по сравнению с сигналом, полученным первоначально, когда кабель не был поврежден, позволяя определить глубины, прогрессии и общие величины движения. В этом методе вдоль коаксиального кабеля, который помещен в скважину, посылаются электронные импульсы. Если в кабеле имеются неоднородности или повреждения, энергия импульса полностью или частично отражается обратно к прибору и отображается в виде пика на волновом рисунке рефлектограммы.

Глубинные датчики при необходимости могут быть связаны с системой сигнализации о развитии подземных деформаций.

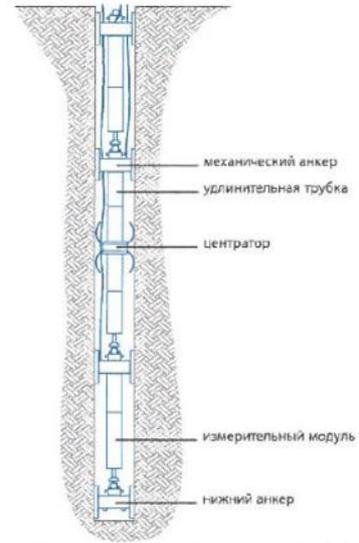
3.6.3. Примеры расположения датчиков глубинного мониторинга показаны на рисунках 3.21, 3.22.



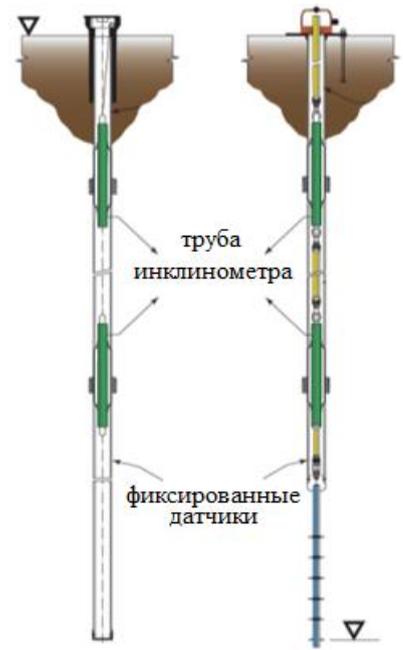
Датчик сдвига



Портативный инклинометрический зонд



Многоточечный однотрубный экстензометр



Экстензо-инклинометр

Рисунок 3.21 – Пример датчиков мониторинга глубинных деформаций

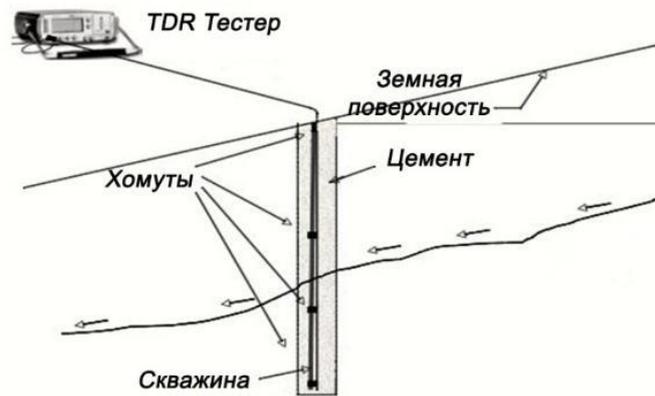


Рисунок 3.22 – Пример схемы установки датчиков глубинного геотехнического мониторинга рефлектометров с кабельной системой TDR

3.6.4. Для диагностики напряженно-деформированного состояния приборного массива могут применяться специальные методы мониторинга, которые используются для выявления активных геологических структур, определения параметров полей напряжений и деформаций. Производятся по отдельным исследовательским программам специализированными организациями и включают:

- определение по результатам маркшейдерских наблюдений параметров полей напряжений и деформаций, розы-диаграмм основных направлений их действия и т.п.;
- диагностику короткопериодной геодинамики, которая позволяет определить амплитуду и частоту циклических короткопериодных деформаций, приуроченных, как правило, к тектоническим структурам;
- прочие специальные методы мониторинга и диагностики состояния приборного массива, в том числе, экспериментальные.

3.7. Геофизический мониторинг

3.7.1. Геофизический мониторинг представлен системами, использующими свойства распространения в горном массиве физических полей, он делится на две группы. Первая группа представлена значительным количеством поверхностных методов и вторая группа глубинными методами с различной степенью дискретности сбора данных о поведении массива.

3.7.2. Метод микросейсмического мониторинга, относящийся к группе глубинных методов, является одним из методов оценки параметров поведения массива горных пород при деформациях. Позволяет выявить сейсмически активные геологические структуры под дном и в бортах карьера. Организуется путем установки сейсмодатчиков в скважины.

Этот вид мониторинга позволяет регистрировать колебания как от актов хрупкого разрушения в бортах карьеров, так от взрывных работ и землетрясений.

3.7.3. Примеры динамических событий, зафиксированные с помощью сейсмического мониторинга в глубине прибортовых массивов, и схема установки датчиков показаны на рис. 3.23. Более крупными значками обозначены сейсмические события с большей энергией.

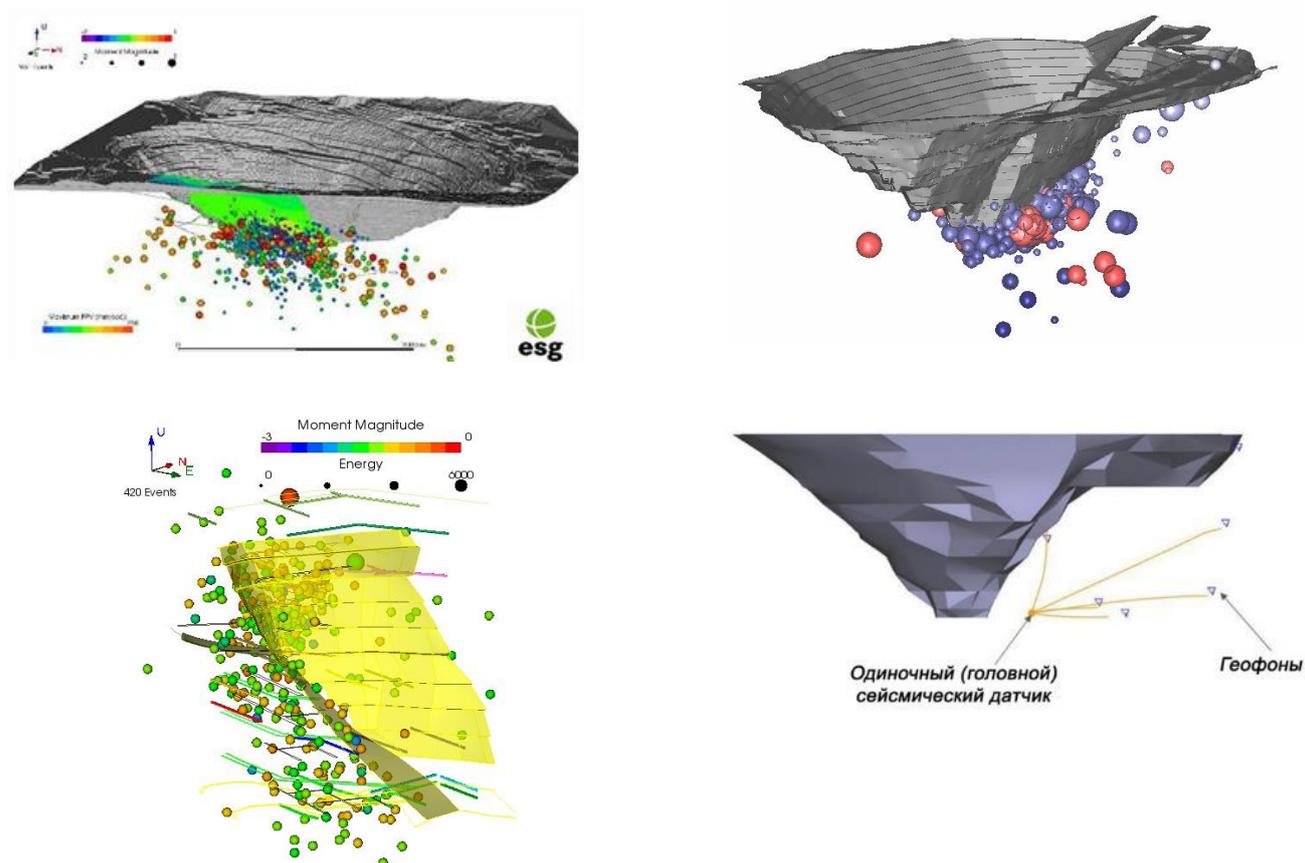


Рисунок 3.23 – Примеры сейсмических событий, зафиксированных в прибортовых массивах с помощью сейсмического мониторинга, и схема установки датчиков

3.7.4. В результате анализа зарегистрированных сигналов и их сопоставления с данными деформационного мониторинга возможно:

- оценивать влияние интенсивности взрывных и горных работ на макроскопическую устойчивость пород борта;
- идентифицировать сейсмически активные геологические структуры, связанные с сейсмическими событиями деформацию бортов;
- оценивать степень чувствительности зон риска к сейсмическим воздействиям по изменениям амплитудно-частотного спектра и величинам необратимых деформаций. Как показывают исследования (на двух крупных карьерах), сейсмические измерения «чувствуют» предвестники оползней существенно раньше, чем деформационные,

появления трещин или крупных деформаций фиксируется на 1-2 месяца раньше, чем соответствующие им деформации борта (рис. 3.24).

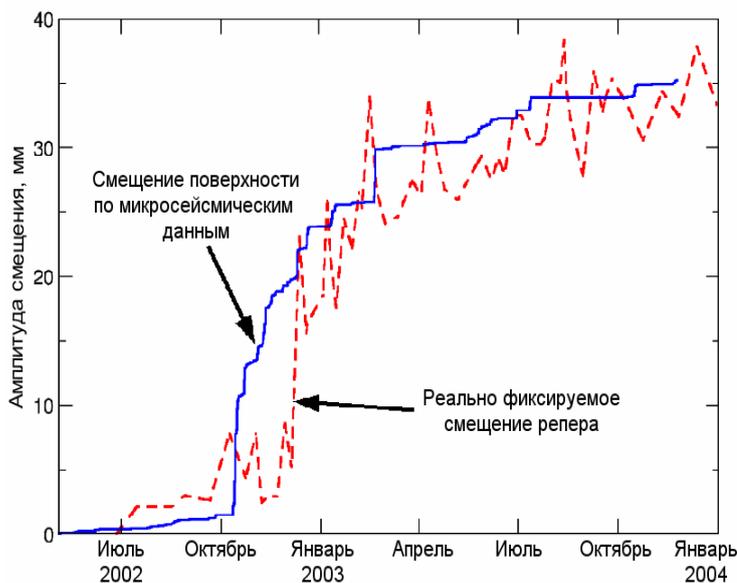


Рисунок 3.24 – Пример фиксации деформаций прибортового массива с помощью сейсмических измерений и реперов

3.7.5. Особенностью микросейсмического метода является то, что с помощью небольшого количества датчиков можно контролировать большие объемы массива. К примеру, система, состоящая из 8-12 контрольных пунктов (сейсмодатчиков) позволит контролировать трещинообразование и подвижки не только в бортах карьера, но и массив в радиусе 10 км, включая зоны расположения отвалов. При этом следует отметить, что наибольшая точность определения координат достигается внутри сейсмической сети, то есть на бортах карьера.

Математическое и программное обеспечение сейсмического контроля позволяет круглосуточно:

- определять координаты и энергетические параметры сейсмических событий;
- преобразовывать сейсмическую информацию за сутки и производить расчеты текущего положения зон геодинамической активности (трещинообразования, подвижек), способных влиять на состояние бортов карьера.

Кроме того, система сейсмического мониторинга осуществляет обработку информации с целью выделения зон активизации геомеханических процессов и тенденции их миграции.

3.7.6. Система геодинамического контроля разделена на наземный комплекс технических средств контроля и обработки данных и скважинный.

К наземному комплексу технических средств относится сейсмолаборатория, расположенная в административном здании и оснащенная необходимым аппаратным и программным обеспечением для обработки регистрируемой информации, контроля и управления работой всей системы.

К скважинному комплексу технических средств относятся сейсмические датчики, предназначенные для регистрации сейсмических волн и аппаратура для их предварительной фильтрации, усиления и аналого-цифрового преобразования сигналов.

Сейсмодатчики располагаются в скважинах (глубиной от 5 до 30 и более метров и диаметром 120-150 мм). Скважина и расположенное в ней оборудование должны закрываться специальным защитным ящиком или охранным блоком (типа бронированной будки). Передача сигналов может вестись с помощью беспроводных способов передачи данных или по экранированным кабелям. При засыпании нерабочего борта отвальной массой оптимальным способом является прокладка бронированных кабелей. Использование передачи по кабелю позволяет соединить вместе передачу сигналов и электропитание датчиков.

3.8. Гидрогеологический мониторинг

3.8.1. В связи с тем, что основными факторами, влияющими на водопритоки и поровые давления, являются атмосферные осадки, режим рек и фильтрационные свойства водовмещающих отложений гидрогеологический мониторинг объединяет мониторинг за поверхностными водами и атмосферными явлениями и мониторинг за подземными водами

3.8.2. При мониторинге за поверхностными водами и атмосферными явлениями для оценки влияния метеорологических условий на режим подземных вод следует располагать информацией о количестве атмосферных осадков и их сезонном распределении, о режиме снеготаяния, испарения с земной и водной поверхности, об изменениях атмосферного давления и влажности воздуха. Обработка и интерпретация данных с ближайших метеостанций выполняется с самого начала отработки месторождения и продолжается в период всей жизни предприятия. Оборудование на территории месторождения метеостанции является приоритетной задачей для увеличения точности прогнозов.

Также на основных водотоках необходимо оборудовать режимные гидрологические посты с наблюдением за уровнем и расходом рек. Период наблюдений определяется в ходе исследований, как правило составляет 2 раза в месяц в меженный период и от 1 раза в сутки до 3-4 раз в сутки в паводковый период.

При определении роли техногенных утечек как высокой в водно-балансовой структуре необходимо также предусмотреть гидрологические наблюдения в техногенных водохранилищах и водотоках.

3.8.3. Состав гидрогеологических наблюдений при мониторинге за подземными водами включает:

- гидрогеологическую съемку карьера и поверхности;
- наблюдения за режимом уровней (напоров) дренируемых водоносных горизонтов;
- наблюдения за водопритоками в карьер, контроль эффективности систем дренажа, водоснабжения.
- гидрогеологические наблюдения в процессе проходок скважин разведочного геологического бурения: фиксация интервалов водопоглощений и водопроявлений, замеры уровня подземных вод в процессе проходки скважины и по окончании бурения.

3.8.4. Гидрогеологическая съемка карьера и поверхности

На месторождениях, сложенных песчано-глинистыми отложениями, наблюдения за уровнем режимом подземных вод следует сочетать с фиксацией фильтрационных деформаций для установления корреляционных связей между расходами и уровнями подземного потока, длиной языков оплывания песков различного гранулометрического состава, углом наклона поверхности языков оплывания, величиной промежутка высачивания. Следует фиксировать деформации циклического оползания и выпора глинистых пород в связи с их литологическим составом, влажностью, пористостью. При развитии оползневых деформаций следует определять конфигурацию тела оползня, его размеры, скорости смещения, строение и литологический состав прибортового массива, напоры подземных вод в этом массиве.

Наряду с замерами дебитов источников подземных вод в карьере, целесообразно определять температуру воды и её химический состав, что в ряде случаев позволяет уточнить условия разгрузки подземных вод, определить их приуроченность к тем или иным водоносным пластам, сформировать представление о напряженном состоянии прибортового массива.

На месторождениях, сложенных метаморфизованными породами, наряду с наблюдениями за уровнем режимом подземных вод по сети пьезометров необходимо выполнение гидрогеологической съемки бортов карьера. Важнейшим элементом этой съёмки является фиксация отметок выхода подземных вод на откосах, поскольку высотное положение даже незначительного по дебиту высачивания позволяет судить о величине напоров в прибортовом массиве и о роли тектонических нарушений в разгрузке водоносных пластов непосредственно карьером. В зимний период целесообразно оценивать размеры наледей, образующихся за счет высачивания подземных вод на бортах и на подошве карьера.

Съёмка поверхности полей карьеров должна быть направлена на документацию изменений рельефа, нарушений почвенного покрова, состояния водоемов и водотоков, изменения дебита родников, условий эксплуатации и состояния гидротехнических сооружений в пределах горного отвода и в зоне влияния дренажных работ.

Все промежутки высачивания по бортам фиксируются визуально в ходе маршрутов, также для этих целей рекомендуется использовать тепловизионные методы. Периодичность маршрутов определяется в процессе разведки и связана с интенсивностью изменения гидрогеологической обстановки на месторождении.

3.8.5. Наблюдения за уровнями подземных вод должны выполняться систематически, синхронно с замерами водопритоков в горные выработки, дебитов водозаборов, с замерами уровней поверхностных водоемов и водотоков.

Основным принципом размещения пьезометров на карьерных полях является их расположение по створам, ориентированным вдоль потоков подземных вод от границ карьера или от дренажных контуров в направлении к внешним границам области нарушения естественного режима подземных вод. В каждом створе должно быть, как минимум по 3 пьезометра, оборудованных на один и тот же водоносный горизонт. Отдельные пьезометры целесообразно располагать вблизи водоемов или водотоков, на участках водозаборов, тектонических нарушений и других элементов, определяющих характер гидродинамического режима подземных вод. Специальные короткие створы (десятки и первые сотни метров) следует оборудовать перпендикулярно руслу рек для оценки параметров гидравлической связи поверхностных и подземных вод. Положение коротких створов следует увязывать с другими наблюдательными скважинами, выбранные створы могут содержать общие скважины. При наблюдениях за напорами многопластовых комплексов необходимо оборудовать пьезометры отдельно на каждый водоносный пласт и размещать эти пьезометры в виде кустов.

В качестве пьезометров можно использовать водопонижающие скважины, сквозные фильтры, взрывные скважины. В некоторых случаях возможен замер уровней в разведочных скважинах, однако следует с осторожностью использовать результаты этих замеров.

Количество пьезометров на карьерных полях зависит от гидрогеологической структуры месторождения и масштабов дренажных мероприятий.

Режимная сеть в пределах карьерного поля, где используются глубинные средства дренажа, может быть представлена 20-30 пьезометрами.

Количество пьезометров режимной сети на карьерных полях, характеризующихся особо сложными условиями организации дренажных мероприятий, не должно

регламентироваться. Общее количество пьезометров и принцип их размещения в этом случае определяется при проектировании системы дренажа поля карьера. Проектом должна быть предусмотрена стадийность развития режимной сети в увязке с этапностью горных и дренажных работ.

3.8.6. Наблюдения за уровнем режимом подземных вод на эксплуатируемых месторождениях, характеризующихся сложными условиями организации дренажа, должны предусматривать выполнение замеров уровней 2-3 раза в месяц. В паводковый период замеры могут производиться через несколько раз в сутки, но не реже одного раза в сутки. В простых условиях частота замеров может быть сокращена до 4-6 в год. В период строительства карьеров частота замеров уровней подземных вод определяется интенсивностью их снижения на локальных участках (в частности - на участке проходки карьерной траншеи). В общем случае замеры уровней в этот период целесообразно выполнять 3-4 раза в месяц.

Наблюдения за техногенным режимом подземных вод выполняют для обоснования дренажных мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости бортов карьеров и внутренних отвалов. Натурные наблюдения, выполняемые для решения этой задачи, должны обеспечивать оценку напряженного состояния водонасыщенных массивов, уточнение фильтрационных параметров и условий питания дренируемых горизонтов, оценку гидравлических характеристик дренажных устройств.

Глубина наблюдательных скважин определяется строением прибортового массива, проектной и достигнутой глубиной карьера. Скважины должны быть оборудованы отдельно на все водоносные пласты, залегающие в лежащем боку в пределах призмы возможного оползания прибортового массива, размеры которой примерно равны глубине карьера. В процессе бурения наблюдательных скважин следует замерять уровни воды в них на разных глубинах через каждые 5-10 метров с остановкой бурения на 10-15 минут. Диаметры наблюдательных скважин обычно составляют около 100 мм, скважины оборудуются обсадными трубами и фильтрами. При самоизливе воды из скважин необходимо замерять давление на их устьях и дебит скважин. Такие скважины должны быть оборудованы оголовками специальной конструкции, позволяющей производить замеры давления манометром и при необходимости осуществлять выпуск воды. Затрубное пространство пьезометрической скважины должно быть надежно зацементировано для герметизации исследуемого напорного пласта или водоносного интервала. В период между замерами давления нельзя допускать разлива воды из пьезометрических скважин.

Наблюдательные скважины могут быть использованы для проведения опытно-эксплуатационного водопонижения на изучаемом участке. Водопонижение осуществляется

путем выпуска воды из одной скважины с замерами ее дебита и с прослеживанием изменений напоров во времени по другим пьезометрам.

3.8.7. Для контроля напряженного состояния и оценки условий дренирования прибортовых массивов сложной структуры целесообразно оборудовать специальные наблюдательные станции-скважины с размещенным в них на разных интервалах датчиками гидростатического давления. Гирлянды датчиков позволяют установить наличие вертикальных потоков в дренируемом прибортовом массиве, определить условия питания и взаимосвязи водоносных пластов, параметры относительных водоупоров. Система датчиков обеспечивает контроль напряженного состояния пород в различных частях прибортового массива. Датчики порового давления (пьезометры) объединенные в многоярусные колонны и устанавливаемые в геотехнические или гидрогеологические скважины (впоследствии приобретающих статус наблюдательных), имеют различные конструкции. Существуют три основных варианта их установки:

1) стандартные пьезометры устанавливаются в отдельные вертикальные трубы и фиксируют давление в изолированных с помощью бентонитовой пробки (пакеров) интервалах. Интервалы установки датчиков заполнены песчаной и гравийной смесью;

2) вибрационные струнные пьезометры, установленные гирляндой в песчаных или гравийных фильтрах, чередуются с бентонитовыми изоляционными пробками;

3) вибрационные струнные пьезометры, собранные в гирлянду и установленные без использования фильтрующих интервалов. Данная схема подразумевает полное заполнение скважины цементно-бентонитовой смесью.

3.8.8 При установке колонны многоярусных пьезометров с бетонированием по третьему варианту гирлянда датчиков давления может быть размещена в скважине, пробуренной различными методами, включая традиционный метод бурения с использованием бурового раствора, метод (RC) с обратной промывкой, система одновременной обсадки и спуска колонны (Odex, Tubex, Barber), а также метод колонкового и алмазного бурения. Методы колонкового алмазного бурения и RC наиболее широко применимы.

При установке многоярусного пьезометра в вертикальной или наклонной скважине требуется фиксация или подвешивание каждого сенсора на определенной глубине. Критериями определения глубины установки датчика на борту карьера являются:

- глубина залегания грунтовых вод, и наличие верховодки;
- геологические условия - литология, структурные изменения и минералогия;
- структурные условия – трещиноватость, разломы, и другие нарушения;

- геомеханические параметры – частота нарушений, RQD (показатель нарушенности пород);
- глубина карьера (текущая, прогрессирующая, конечная);
- наличие ближайших водопонижающих скважин и другой дренажной инфраструктуры, потенциальный уровень понижения подземных вод с развитием карьера.

Сенсоры измеряют давление по высоте скважины над установленным инструментом. В связи с этим, для определения точного давления грунтовых вод и надежного анализа гидрологических условий, важно определить точное положение сенсора в скважине.

В настоящее время чаще всего используется метод скважинного бетонирования с помощью бетонопровода. Данный метод заключается в установке пьезометра на заранее определенную глубину скважины, где каждый сенсор связан с ведущей трубкой снаружи, которая одновременно служит бетонопроводом для цементирующего состава.

3.8.9. На рисунке 3.25 представлена типовая схема установки многоярусных пьезометров с использованием описанного метода. Трубы, ввиду их большого веса, опускаются на буровой лебедке.

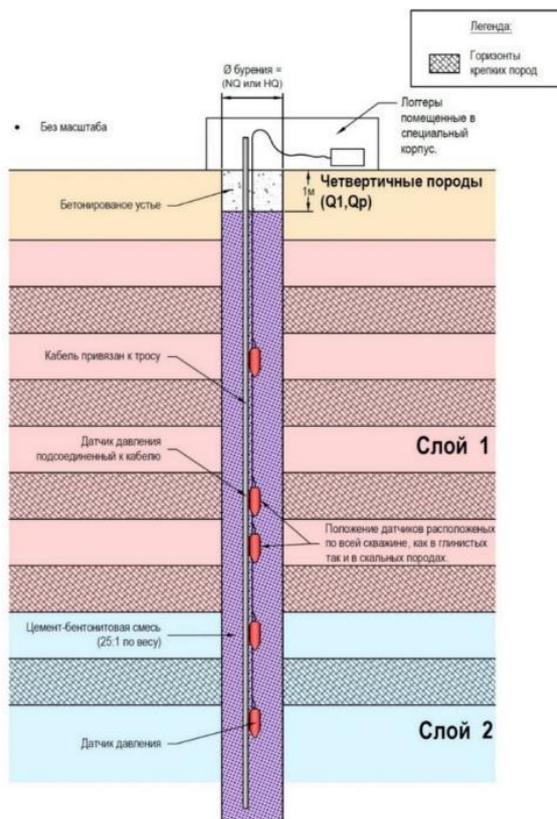


Рисунок 3.25 – Схема установки многоярусных пьезометров

На рисунке 3.26 представлен пример схемы установки пьезометров в гидрогеологическую скважину и ее расположение относительно контура карьера.

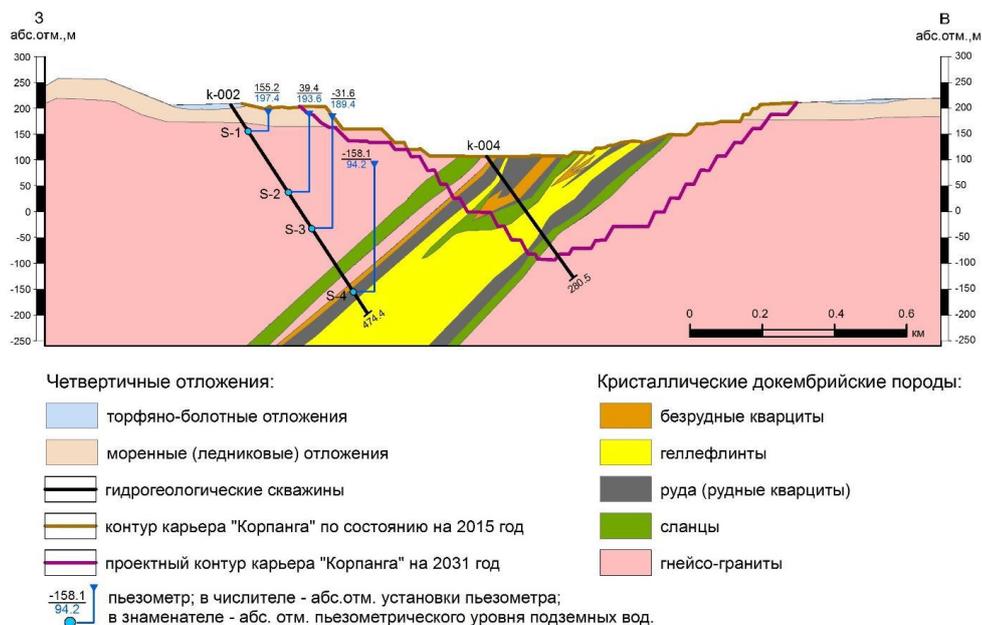


Рисунок 3.26 – Пример схемы установки пьезометров в гидрогеологическую скважину относительно контура карьера

3.9. Особенности мониторинга устойчивости отвалов

3.9.1. При наблюдениях за отвалами рабочие реперы закладываются на откосной части отвала, верхней площадке в призме возможного оползания и у нижней бровки отвала. Опорные реперы располагают вне зоны ожидаемых деформаций.

Места закладки наблюдательных станций на отвалах необходимо выбирать в зависимости от механизма деформирования отвалов:

- основание отвала прочное (надподошвенный оползень). Наблюдения производятся по реперам, установленным на верхней площадке отвала, где отвал свежееотсыпанный. В первое время после отсыпки отвала происходит оседание верхних реперов с затухающими скоростями в результате естественного уплотнения пород;

- в основании отвала залегает слабый контакт (пододошвенный оползень). Маркшейдерские наблюдения необходимо осуществлять по реперам, установленным вдоль верхней и нижней бровок отвала, с целью фиксировать сдвиги верхней площадки и пространственное положение нижней бровки отвала, которая при деформировании призмы упора будет смещаться в горизонтальном направлении;

- в основании отвала залегает мощный слой слабых пород (пододошвенный оползень). Сдвиг отвальных пород сопровождается выпором пород основания. Основным сигналом о начале сдвиговых деформаций являются поднятия нижних реперов с выпором пород основания.

Наблюдения за деформациями отвалов допустимо выполнять дистанционными способами, без установки наблюдательных реперов на площадках отвала.

3.9.2. Периодичность проведения серий инструментальных наблюдений при мониторинге отвалов выбирается исходя из скорости смещения отвальных пород (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Периодичность наблюдений за состоянием отвалов

Характеристика устойчивости	Скорость смещений, см/сут	Периодичность наблюдений	Примечание
Устойчивый. Соотношение скоростей ($V_{гор} > 0$, $V_{гор} \approx 0$; $V_{гор} \ll V_{вер}$)	Менее 0,3	Раз в квартал	Работы на отвале допускаются
Подвижный относительно (устойчивый) ($V_{гор} \approx V_{вер}$)	0,3 – 1,0	Раз в месяц	То же
	1,0 – 5,0	Раз в неделю	То же
	5,0 – 10	Два раза в неделю	То же
	10 – 20	Через день	То же
	20 – 30	Ежедневно	То же
	30 – 50	Дважды в смену	Работы на отвале допускаются в исключительных случаях
Неустойчивый ($V_{вер} > 0$, $V_{гор} \gg 0$; $V_{гор} \gg V_{вер}$)	Более 50	То же	Работы на отвале не допускаются

Точность определения координат наблюдательных пунктов должна быть не ниже ± 30 мм.

3.10. Критерии безопасности и система оповещения по результатам наблюдений

3.10.1. Для оценки состояния объектов по каждому из видов наблюдений используются критерии безопасности, соответствующие допустимому уровню риска аварии. По мере накопления информации и уточнения особенностей протекания процессов деформирования массива численные значения критериев безопасности могут меняться. Для пороговых значений критериев безопасности устанавливается система взаимодействия персонала по анализу, комиссионному обсуждению сложившейся ситуации и мерам реагирования.

3.10.2. Критерии безопасности индивидуальны для каждого месторождения и зависят от литологического и петрографического типа пород, деформационных свойств породного массива, структурных особенностей, технологии взрывания, грунтовых вод и др. Критерии устанавливаются геотехнической, маркшейдерской и геологической службами предприятия, а затем эмпирическим путем вводятся корректирующие поправки.

Критические скорости сдвижений и деформации возникают при переходе от скрытой (начальной) стадии деформирования к активной.

Скрытая стадия деформирования массива проявляется при величинах:

- абсолютные величины сдвижений – 1-10 мм/сутки;

- относительные величины деформаций – до 1 мм/м;

Активная стадия деформирования массива проявляется при величинах:

- абсолютные величины сдвижений – более 10 мм/сутки;
- относительные величины деформаций – более 5 мм/м.

Разрушение в реальном массиве происходит при величинах:

- относительные величины деформаций – более 10 мм/м;
- общие смещения прибортового массива бортов карьеров глубиной более 100 м

достигают величин - до нескольких метров

Критерием начала критической стадии деформации можно считать момент, когда процесс начинает развиваться с постоянным ускорением, либо, когда скорость смещения увеличивается более чем в три раза, обычно увеличивается в 3-4 раза по сравнению с равномерной за предыдущий период.

3.10.3. При долгосрочном мониторинге характер протекания деформаций прибортового массива зависит от степени устойчивости бортов и характеризуется следующими признаками (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Оценка состояния откоса при долгосрочном мониторинге

Показатель		Значение	Состояние откоса
1	коэффициент запаса - n	$\geq 1,3$	упругие деформации
	относительные горизонтальные деформации - ϵ	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	
2	коэффициент запаса - n	1,3 – 1,2	затухающие во времени смещения, возникновение микро- и макротрещин
	общие смещения поверхности бортов (в карьерах высотой более 100 м)	200-300 мм и более	
	относительные горизонтальные деформации - ϵ	$(1 \div 5) \cdot 10^{-3}$	
3	коэффициент запаса - n	1,2 – 1,1	значительные деформации прибортового массива: на поверхности возникают видимые заколы и трещины, деформации во времени преимущественно затухают
	относительные горизонтальные деформации - ϵ	$(5-20) \cdot 10^{-3}$	
4	общие величины смещений массива в пределах призмы оползания глубоких карьеров (в зависимости от высоты борта и его геологического строения)	1,5 – 2 м и более	предельное состояние откоса, со временем наблюдаются разрушения бортов
	коэффициент запаса - n	1,1 – 1,05 и менее	
	относительные горизонтальные деформации - ϵ	$(20-30) \cdot 10^{-3}$	

По результатам долгосрочного мониторинга должна осуществляться оценка состояния бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов. Состояние безопасности

эксплуатируемого объекта допустимо охарактеризовать качественно: надежное, удовлетворительное или аварийное:

- надежное состояние (показатели 1 и 2 из таблицы выше) – эксплуатация объекта осуществляется в нормальном режиме без необходимости разработки дополнительных мероприятий (упругие деформации).

- удовлетворительное (показатель 3) – эксплуатация объекта осуществляется, но при условии реализации специальных мероприятий внедрения и выполняется систематический анализ контролируемых показателей (не превышение установленных критериев мониторинга, не наблюдается тенденция ускорения скоростей смещений).

- аварийное / критическое (показатель 4) – эксплуатация объекта не допускается. Для принятия решения о продолжении работ, разработке мероприятий и о качестве их реализации привлекается специализированная организация (превышение установленных критериев мониторинга).

3.10.4. Для оперативного мониторинга устанавливается несколько уровней критериев безопасности, ориентировочные значения которых могут быть установлены как предварительные при не установленном процессе сдвижения, представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Ориентировочные уровни сигналов оповещения для оперативного мониторинга

Сигнал тревоги	Характеристика смещений	Смещения (автоматизированный мониторинг), мм/час	Смещения (дискретный мониторинг), мм/сут	
			Слабые, пластичные породы	Прочные, хрупкие породы
Нормальный режим	Неактивные, регрессивные	<2	<5	<3
Уровень 1- ВНИМАНИЕ	Постоянные	2÷5	5÷10	3÷8
Уровень 2- ОПАСНО	Прогрессирующие	5÷10	10÷50	8÷20
Уровень 3- Стоп	Критические	>10	>50	>20

3.10.5. Во всех случаях прогнозирования процесса деформирования прибортовых массивов и оценки степени опасности деформаций по наблюдаемым скоростям смещений и прироста деформаций следует руководствоваться следующими положениями:

- если наблюдаемые скорости смещения прибортовых массивов затухают во времени, а их величины не превышают минимальные значения (например, 1÷3 мм/сут), то при неизменных параметрах борта угроза его разрушения мало вероятна;

- при постоянной скорости смещения возникает реальная угроза смещения борта, тем большая, чем больше скорость смещения;

– при постоянно возрастающей скорости смещения прибортовой массив претерпевает опасные деформации прогрессирующего разрушения и неизбежно разрушится во времени, если не будут осуществлены противооползневые мероприятия.

3.10.6. В случае, если критерии безопасности не определены или не подтверждаются фактическим материалом наблюдений, то наработка сведений может производиться с использованием так называемых «пороговых точек»:

– первая пороговая точка характеризуется скоростью смещений, дважды превышающих точность инструмента по последним замерам. При выявлении подобной особенности производится контрольный замер. Если по данным проверки подтверждается динамика, то учащается частота замеров;

– второй пороговой точкой будет превышение скорости подвижек в два раза по сравнению с двумя предыдущими замерами. В этом случае следует обследовать область смещающихся реперов. Если не удастся установить причину подвижки, то приостанавливаются работы, учащается частота замеров. Продолжающееся ускорение подвижки потребует закрытия уступа карьера ниже неустойчивой области до полного прояснения ситуации;

– третья пороговая точка – смещения в 4 и более раз превышают ошибку измерений по всем реперам, в том числе и тем, на которых ранее не отмечалось смещений. Необходимо экстренное оповещение, эвакуация персонала и оборудования, обследование участка до прояснения ситуации.

3.10.7. Величины критериев безопасности и аварийного оповещения определяются каждой эксплуатирующей организацией индивидуально, с привлечением специализированных организаций, с учётом особенностей геологического строения, структуры прибортового массива, механизма предполагаемого обрушения и могут корректироваться по результатам изучения поведения массива в процессе мониторинга.

3.10.8. Допускается для прогнозирования момента разрушения откоса использовать анализ обратной скоростей смещений (инверсия скорости). Если смещения происходят с постоянной скоростью, это означает, что процесс сдвижения относительно стабилен. Если скорость смещений возрастает, следовательно, процесс сдвижения ускоряется, что грозит обрушением, то есть ситуация становится опасной. Принцип инверсии скорости состоит в том, что чем интенсивнее изменяется скорость деформации, тем ближе откос к фактическому разрушению, тем выше уверенность во времени прогнозирования разрушения. График инверсии от времени позволяет определить примерный момент обрушения при неизменности текущих условий.

3.10.9. При превышении критериев безопасности устанавливаются уровни оповещения и для каждого уровня назначается определенный круг лиц технического персонала карьера и устанавливаются меры реагирования.

Цель – наметить предварительно запланированный порядок мер, подлежащих выполнению в случае возникновения опасных ситуаций, за которым последует идентификация проблемы и ее устранение.

Порядок реагирования персонала на геотехнические риски связан с существующей системой мониторинга деформационных процессов в карьере. В момент создания проекта мониторинга (наблюдательных станций), техническому персоналу важно назначить структуру уровней опасности о разных стадиях развития деформации или появления признаков геотехнических опасностей (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Пример структуры уровней опасности и их описание

Уровень 1 Внимание	Опасности адекватно контролируются, горные работы не останавливаются. Работник может устранить опасность самостоятельно на уровне горного мастера. Производится контроль за изменением ситуации, работы выполняются согласно наряд-задания
Уровень 2 Опасно	Опасность требует приостановки горных работ и приведение участка в безопасное состояние. Опасность исключается на уровне линейного ИТР и начальника участка. Работы в забое приостановлены. Участок приводится в безопасное состояние в соответствии с указаниями горного мастера и начальника участка. Работы возобновляются по указанию главного инженера/технического руководителя карьера после приведения забоя в безопасное состояние, при необходимости вносятся изменения в локальный проект
Уровень 3 СТОП	Все виды работ на опасном участке и смежных, расположенных в зоне влияния опасного, должны быть остановлены. Опасность исключается или ее негативное влияние сводится к минимуму при незамедлительном вмешательстве комиссии в составе главных специалистов карьера – главный инженер/технический руководитель карьера, главные геолог, маркшейдер, геомеханик и начальник участка. Персонал выведен из опасной зоны. Создана комиссия в составе главных специалистов рудника. Разработан и утвержден План мероприятий на уровне главного инженера/технического руководителя карьера. При необходимости внесены изменения в проектные решения. Работы возобновляются указанию главного инженера/технического руководителя карьера после выполнения плана-мероприятий и изменениям проектных решений

Основной принцип - все случаи, когда нормальные рабочие условия начинают изменяться и там, где данные изменения могут привести к нежелательному или негативному влиянию на людей, установки и оборудования, цели ПБ, ОТ, ООС или

стратегические цели организации, должны быть замечены или измерены, после чего принят установленный порядком уровень реагирования. При ухудшении условий повышается уровень реагирования для тех лиц, которых необходимо уведомить и вовлечь в процесс принятия решений и последующих специальных мер. На последней стадии, при превышении критериев безопасности, вводится в действие соответствующая позиция Плана ликвидации аварий.

3.10.10. В основу принятия решения в части управления рисками при ведении горных работ в карьере положены индикаторы опасных факторов. Основные критерии уровня опасности – простые видимые явления, которые несложно определить, не требуя специальной подготовки и навыков у рабочих профессий. На каждый уровень опасности определен порядок действий, направленный как на устранение опасности, так и на предотвращение травм и минимизации негативных последствий на горнотехнические сооружения, оборудование и механизмы.

В качестве иницирующих оперативное реагирование событий выступают:

- результаты периодических обследований (обнаружение трещин отрыва, пучения, деформаций и др.);
- интенсификация обвально-осыпных процессов;
- обрушение уступа;
- обрушение группы уступов;
- обрушение и деформации автосъездов;
- высокая скорость деформаций (установленная по результатам инструментального мониторинга);
- повышенное поровое давление воды;
- землетрясения.

Обнаружение проявлений производится по результатам мониторинга и обследования рабочего участка до/во время производства работ. Примеры уровней некоторых геомеханических опасностей, которые могут быть оценены визуально работниками карьера на своих рабочих местах – представлены в Приложении Е.

4. Мероприятия по управлению устойчивостью

4.1. Выбор мероприятий по управлению устойчивостью откосов

4.1.1. Приоритетными участками для внедрения мероприятий являются:

- участки обнаруженных деформационных процессов.
- участки с потенциальными признаками возможных деформаций: выходы тектонических нарушений на контур откосов, повышенная степень трещиноватости пород, наличие зон ослабленных пород и др.
- особо ответственные участки: рабочая зона, внутрикарьерная инфраструктура и др.

4.1.2. По способу управления рисками неблагоприятных деформационных процессов мероприятия подразделяются на:

- стабилизирующие, направлены на поддержание состояния устойчивости бортов, уступов, откосов отвалов. Результатом является снижение или исключение вероятности деформаций;
- компенсирующие, направлены на снижение или исключение тяжести последствий от возможных деформаций.

Стабилизирующие мероприятия

4.1.3. К стабилизирующим мероприятиям относится оптимизация параметров буровзрывных работ вблизи предельного контура с минимизацией влияния взрывных работ на законтурный массив. Мероприятие применяется в массивах скальных и полускальных пород (раздел 4.3 настоящего руководства).

Для определения размеров зоны нарушенных пород от ведения взрывных работ проводятся опытные исследования. Достаточно простым способом определения зоны влияния взрывов является метод, который заключается в измерении смещений реперов, установленных непосредственно за взрывным блоком, во время ведения взрывных работ. Типовые представления о масштабах повреждений показаны на рисунке 4.1. Однако, в конкретных условиях размер зоны должен определяться натурными наблюдениями.



Рисунок 4.1 – Типовые представления о масштабах повреждения массива массовым взрывом за контуром отбойки

При подходе к проектному контуру, на расстоянии оцененной зоны негативного воздействия взрывов, необходимо применять специальные технологии ведения взрывных работ. Применяются такие методы как буферное взрывание, щадящее взрывание, предварительное или промежуточное щелеобразование, взрывание после щелеобразования и так далее.

Пример качественного проведения заоткосных работ представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Пример качественных результатов заоткосных работ

4.1.4. Повышение достоверности исходных данных, детализация и/или уточнение расчетных схем применяются для инженерно-геологического доизучения породного массива с целью снижения неопределенности при обосновании параметров откосов.

Инженерно-геологическое изучение породного массива должно проводиться на всех стадиях отработки месторождения, однако, может рассматриваться как отдельное мероприятие при доизучении конкретного участка карьера с последующей оптимизацией параметров откосных сооружений.

На рисунке 4.3 представлен пример, где борт проектного контура карьера во вмещающих породах является недоизученным ввиду отсутствия скважин или других геомеханических данных, поэтому требуется бурение скважин с геомеханическим описанием керна, по результатам чего возможно уточнение геологических структур и геомеханических показателей в законтурном массиве.

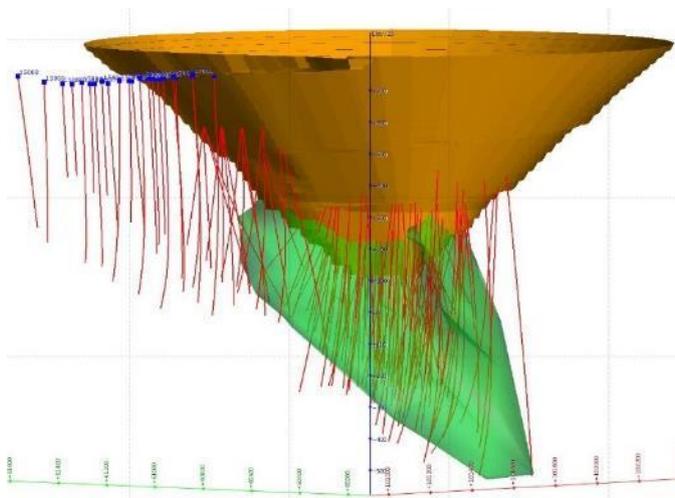


Рисунок 4.3 – Пример борта проектного контура карьера, для которого требуется доизучение прибортового массива геомеханическими скважинами

4.1.5. Корректировка проектных параметров, изменение направления и режима ведения горных работ. Мероприятие применяется при изменении инженерно-геологических условий, прогнозе неустойчивости и при выявлении признаков крупных деформаций по результатам мониторинга.

4.1.6. Для отвалообразования, помимо пунктов 2 и 3, дополнительно применяются следующие мероприятия:

- изменение режима отсыпки отвалов (порядок отсыпки). Применяется при появлении признаков неустойчивости по результатам мониторинга;
- в условиях криолитозоны при формировании на слабом основании отвалов формируется предотвал для предотвращения растепления пород основания;
- взрывание пород под основание отвала;
- выемка слабых пород в основании

4.1.7. Формирование призм упора (подпорные стены, контрфорсы, контрбанкеты, защитные стены). Мероприятие применяется в массивах сложной структуры с переслаиванием пород или в рыхлых породах, склонных к оползанию.

4.1.8. Механическое удержание уступов, отдельных участков борта (группа из нескольких уступов) применяется при необходимости долгосрочного поддержания устойчивости уступов, отдельных участков борта, при обрушении которых возможны значительные неблагоприятные последствия.

В зависимости от характеристик породного массива выбираются способы механического удержания:

- породный массив сложен крепкими крупноблоковыми, маловыветрелыми или сланцеватыми, слоистыми породами с падением в сторону выемки под углами 40-60° и более. Применяются анкеры, штанги, гибкие тросовые тяжи (тросовые анкеры);

- породный массив сложен крепкими слаботрещиноватыми породами с углом падения плоскости ослабления в выработанное пространство 20-50°. Применяются железобетонные сваи (иногда с последующей цементацией массива);

- породный массив мелкоблочный или высокая нарушенность приповерхностной части откосов взрывными работами. Для предотвращения риска камнепада применяются металлические сетки, которые могут дополняться другими типами крепления для одновременного удержания более крупных блоков потенциального обрушения.

4.1.9. Упрочнение пород, слагающих уступы применяется при необходимости долгосрочного поддержания устойчивости отдельных уступов, при обрушении которых возможны высокие последствия.

В зависимости от характеристик породного массива выбираются способы механического удержания уступов:

- породный массив сложен трещиноватыми скальными и полускальными породами, песчаные, лессовидные и глинистые породы. Применяется цементация, смолизация, силикатизация;

- породный массив сложен сильнотрещиноватыми породами, склонными к интенсивному выветриванию или выщелачиванию, песчано-глинистые откосы. Применяется набрызг-бетон по металлической сетке, агроомелиорация.

Более подробно мероприятия по поддержанию устойчивости откосов рассматриваются в разделе 4.2 настоящего руководства.

4.1.10. Дренаж породного массива применяют в обводненных массивах, при наличии напорных горизонтов, при отсутствии естественного дренажа и если установлено влияние

воды на устойчивость. Мероприятия рассматриваются в разделе 4.4 настоящего руководства.

Для оценки влияния воды на устойчивость и разработки дренажных мероприятий, проводится гидрогеологический мониторинг в скважинах и мониторинг мест скопления воды / высачивания на откосах

4.1.11. Промораживание массива в криолитозоне с организацией сохранения теплового режима массива в летний период с помощью специальных матов. Мероприятие применяется в условиях многолетнемерзлых массивов пород, при риске развития деформаций за счет потери прочности массива при его растеплении.

Компенсирующие мероприятия

4.1.12. Проектирование увеличенной бермы безопасности. Мероприятие применяется при риске развития деформаций на участках расположения инфраструктуры, а также при наличии высоких групп уступов между транспортными съездами, высотой более 180 метров. Широкая берма обычно проектируется двойной ширины от обычной бермы и составляет порядка 20-25 или более метров.

4.1.13. Создание резервного транспортного съезда. Мероприятие применяется при риске повреждения основного транспортного съезда.

4.1.14. Совершенствование системы мониторинга. Мероприятие применяется при риске высоких негативных последствий от возможных деформаций. В таких случаях, автоматизированные системы раннего оповещения способны заблаговременно подать сигнал для минимизации последствий от деформаций (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Радар контроля устойчивости откосов

4.1.15. Внедрение специальных мероприятий при работе в опасных зонах. Мероприятие применяется для особой организации работ в опасной зоне, если в ней

имеются геомеханические риски (проведение инструктажей, повышение квалификации работников в области геомеханических рисков, проведение аудитов/инспекций).

При риске камнепада и проскакивания камней на рабочий горизонт рекомендуется установить границу безопасной дистанции от основания откоса для персонала и горной техники (рис. 4.5, а). При выполнении работ в непосредственной близости к бровке откоса, например, при зачистке берм или оборке заколов, рекомендуется организация технологических схем таким образом, чтобы кабина горной техники располагалась в противоположную сторону от откоса, во избежание неблагоприятных последствий, по примеру рисунка (рис. 4.5, б).

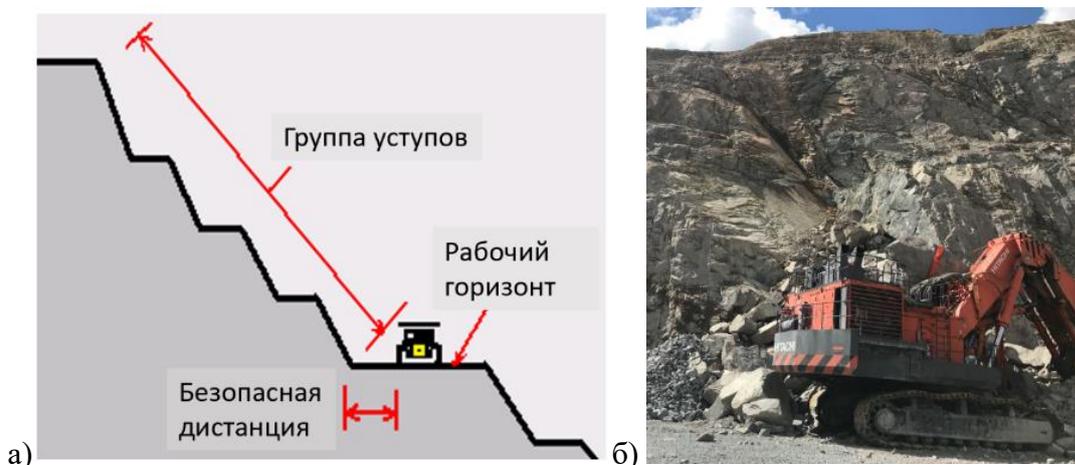


Рисунок 4.5 – Схема безопасной дистанции на рабочем горизонте (а) и пример неблагоприятных последствий при работе вблизи откоса (б)

4.1.16. Ведение горных работ только в период отрицательных температур. Мероприятие применяется при риске возникновения деформаций в результате снижения прочности массива при его растеплении.

4.1.17. Временное увеличение ширины улавливающей бермы. Мероприятие применяется при риске развития деформаций и недостаточной улавливающей способности существующих берм безопасности.

На рисунке 4.6 представлены основные расчетные схемы для обоснования увеличенной ширины бермы под ожидаемой деформацией плоского или клиновидного типа.

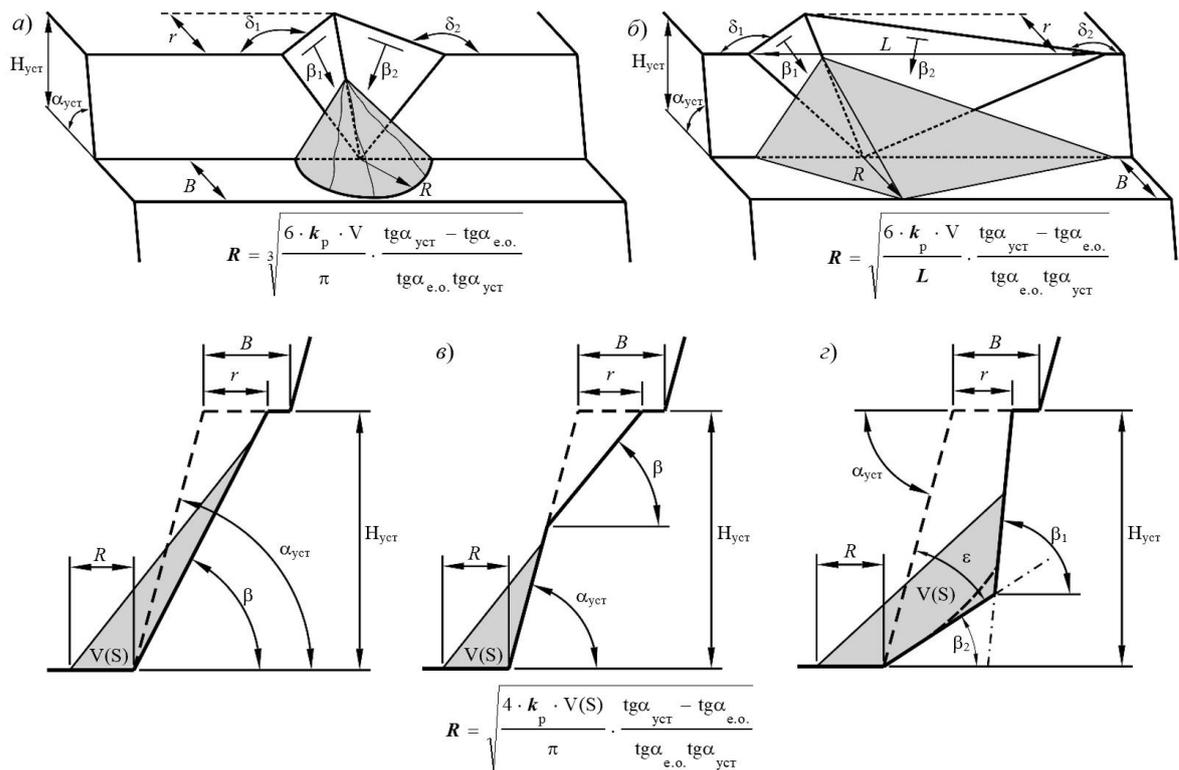


Рисунок 4.6 – Расчетные схемы для обоснования увеличенной ширины бермы под ожидаемой деформацией: $V(S)$, m^3 – объем дезинтегрированного породного блока; B – ширина предохранительной бермы, м; r – ширина призмы возможного обрушения, м; $H_{уст}$ – высота уступа, м; $\alpha_{уст}$ – угол откоса уступа, град.; R – радиус развала осыпи, м; k_p – коэффициент разрыхления, д.ед.; β_i – угол падения i -ой поверхности ослабления массива, град.; $\varepsilon = 45^\circ - \varphi/2$; L – длина зоны обрушения по фронту, м; $\alpha_{е.о.}$ – угол естественного откоса дезинтегрированного материала, град.; δ_i – угол разворота i -ой поверхности ослабления массива относительно плоскости откоса уступа, град.

На рисунке 4.7 представлен пример локальной корректировки проекта, так как проектная ширина бермы является недостаточной для удержания прогнозируемой крупной деформации. Для данного участка выполнен расчет объема и ширины развала потенциального вывала и при дальнейшем понижении горных работ оставляется берма, шириной, обеспечивающей улавливающую способность для данной деформации.

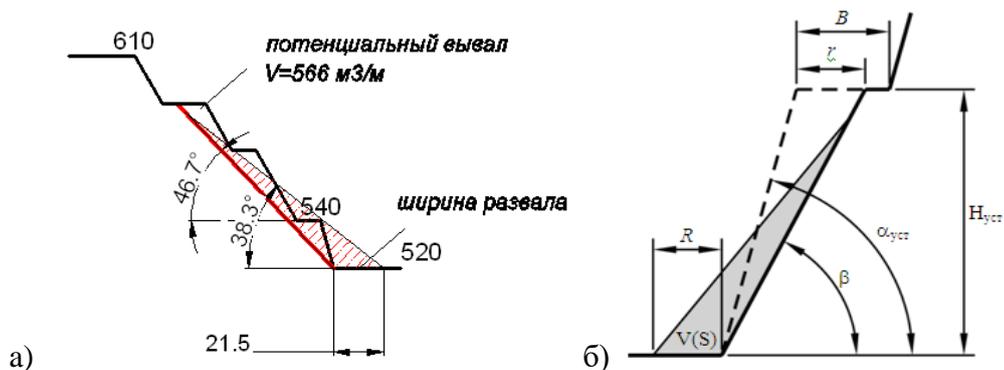


Рисунок 4.7 – Пример обоснования увеличенной ширины бермы под ожидаемой деформацией: а – ожидаемая деформация; б – расчетная схема

Расчет по определению ширины развала от ожидаемого вывала деформационного участка осуществляется по формулам:

$$V = \frac{H^2}{2} \cdot (\operatorname{tg}(90 - \beta) - \operatorname{tg}(90 - \alpha)), \quad (4.2)$$

$$R = \sqrt{\frac{4 \cdot K_p \cdot V}{\pi} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_{\text{учм}} - \operatorname{tg} \alpha_{\text{е.о.}}}{\operatorname{tg} \alpha_{\text{учм}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{е.о.}}}}, \quad (4.3)$$

где R - ширина развала вывала; $H=70$, м – высота участка деформации; α ($\alpha_{\text{учм}}$) = 51.5° – угол откоса; $\beta=46,7^\circ$ – угол падения поверхности ослабления в плоскости поперечного профиля; $\alpha_{\text{е.о.}}$ = 38.3° – естественный угол рыхлой породы; $K_p=1,3$ – коэффициент разрыхления; $V=566$, м³/м – объем потенциального вывала на 1 п.м, определен графически.

По результатам расчета в данном примере установлено, что ширина бермы должна быть не менее $R=21.5$ м.

4.1.18. Оборка заколов на уступах с применением специальной техники. Мероприятие применяется при наличии заколов и риске камнепада.

Оборка откосов может осуществляться механизированными способами и вручную. Ручная оборка допускается в исключительных случаях: при малых объемах работ, когда применение механизированных средств затруднено или невозможно. Для механизированной оборки и приведения откосов в безопасное состояние могут использоваться устройства гравитационного действия (якоря, барабаны, катки, цепи), подвешиваемые к экскаваторам, бульдозерам, автокранам, трубоукладчикам, экскаваторы с удлиненной стрелой и специальной насадкой, планировщики, гидроподъемники, средства гидромеханизации. В случае использования гидромеханизации для оборки откосов необходимо предусматривать меры, обеспечивающие сохранность поверхности откосов и массива от разрушения под воздействием воды.

Высокая эффективность по снижению уровня камнепада создается применением заколооборочных машин, а также с использованием экскаватора (рис. 4.8).



Рисунок 4.8 – Заколооборочная машина (а) и оборка уступов экскаватором (б)

4.1.19. Зачистка берм безопасности с применением специальной техники. Мероприятие применяется при наличии заколов и рисках камнепада.

Мероприятие по зачистке берм уменьшает объем обрушенной горной массы на бермах и существенно уменьшает риск камнепада на нижележащие горизонты. Ограничением является отсутствие доступности техники на все участки берм.

Для очистки предохранительных берм могут использоваться следующие технические средства: бульдозеры экскаваторы, скреперы, самоходные погрузчики, погрузочно-транспортные машины, автосамосвалы. Технологическая схема очистки предохранительных берм предусматривается проектом отработки месторождения.

Бульдозеры с прямым (неповоротным) отвалом целесообразно применять для очистки предохранительных берм от единичных кусков, глыб и зарождающихся осыпей (рис. 4.9). Очистка берм может быть осуществлена тремя методами: смещением горных пород к внутренней бровке и их отгрузкой, концентрацией засоряющих продуктов в отдельных пунктах на берме с последующей отгрузкой экскаваторами или погрузчиками, то же со сбросом продуктов на нижележащую площадку.



Рисунок 4.9 – Бульдозерная зачистка бермы

Бульдозеры с поворотным отвалом используются аналогично. Вместе с тем наличие поворотного отвала дает возможность совмещать очистку берм с устройством ограждающего вала вдоль верхней бровки откоса.

По сравнению с бульдозерами погрузчики и погрузочно-доставочные машины обеспечивают более высокую производительность очистки и более безопасные условия труда.

При использовании погрузчиков и погрузочно-доставочных машин очистка берм может быть организована методами, аналогичными бульдозерной очистке или по челночному принципу: набор материала в ковш в процессе движения – остановка – подъем ковша – транспортировка в направлении, обратном направлению движения при загрузке ковша – разгрузка в заданном пункте (в том числе непосредственно в автосамосвал или бункер).

Допустимая область применения экскаватора – все категории объектов по фактору засоренности продуктами выветривания откосов и деформировавшимися горными породами; рациональная область – очистка от высоких осыпей, завалов, уборка заколов нерабочих уступов.

При очистке предохранительных берм должна исключаться возможность падения кусков с объекта на нижележащие площадки, например, устройством ограждающих валов или установкой ограждений. Если падение кусков на нижележащие площадки предотвратить невозможно, необходимо остановить горные работы, вывести оборудование и закрыть доступ людей в зону камнепада.

В слабых породах, применению средств механизированной очистки берм, обладающих значительной собственной массой (экскаваторы, карьерные погрузчики), должна предшествовать проверка по условию устойчивости уступа с учетом дополнительных сосредоточенных нагрузок от оборудования.

4.1.20. Установка защитных противодеформационных сооружений, перехватывающих и камнеулавливающих систем (барьеры, стенки, тросовые и сетчатые завесы). Мероприятие применяется при риске камнепада, локальных обрушений.

Пример улавливающих заграждений в виде контейнеров с песком и сетей, которые применяются для увеличения высоты уступа и уменьшения ширины берм приведены на рисунках 4.10, 4.11. Они также применяются для защиты съездов и других сооружений, находящихся в основании потенциальных вывалов.



Рисунок 4.10 – Камнеулавливающие заграждения (контейнеры с песком)



Рисунок 4.10 – Камнеулавливающие сети

4.1.21. Установка защитных сооружений против лавин, селей, природных обвалов являются характерной проблемой для объектов в гористой местности.

Сели, в отличие от оползней, захватывают только приповерхностную часть наносов и рыхлообломочного материала и возникают в паводковый период, во время снеготаяния и продолжительных ливней.

Одним из мероприятий является организация водоулавливающих и водоотводных канав в верхних участках рельефа для снижения попадания вод в разрез.

Сход лавин обусловлен, как паводковыми периодами, так и сейсмичностью района.

По примеру борьбы с лавинами осуществляется обработка снежных карнизов техникой, а также ведется контролируемый сход лавин при помощи систем активного воздействия.

Из пассивных средств защиты применяются лавинорезы, которые представляют собой клинообразные в плане конструкции, направленные острием против движения лавины, снегоудерживающие и селеудерживающие барьеры и сетки (рис. 4.12, 4.13). Наиболее целесообразно размещение объектов в зонах зарождения лавин.

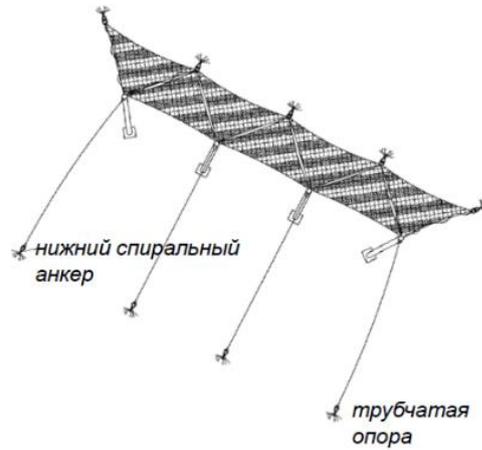


Рисунок 4.12 – Снегоудерживающие барьеры



Рисунок 4.13 – Камнеулавливающие и селеудерживающие сетчатые барьеры

Камнеулавливающие насыпи предназначены для защиты объектов инфраструктуры и строений, расположенных непосредственно у подножья скальных массивов (Рисунок 4.14).

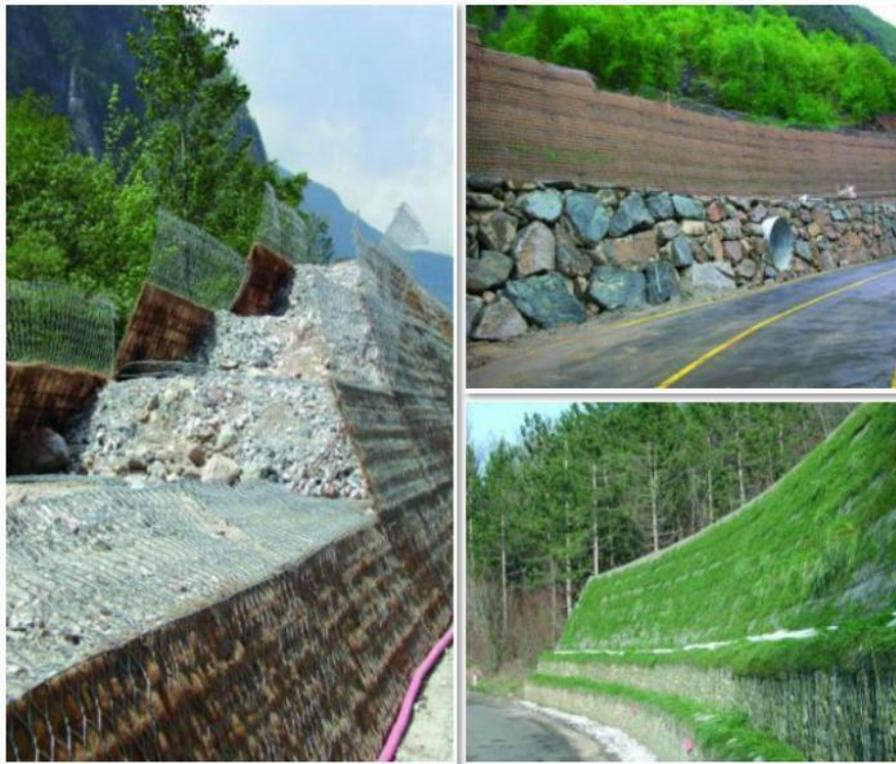


Рисунок 4.14 – Камнеулавливающие насыпи

Наиболее универсальным и простым способом борьбы с лавинами и селями являются лесопосадки на склонах, которые являются барьером для лавин, а также корни деревьев держат верхнюю часть почвы, что предотвращает возникновение селевых потоков.

4.2. Способы и схемы укрепления откосов

4.2.1. Отдельные участки откосов уступов в их положении на предельном (проектном) контуре, сложенные скальными и полускальными породами интенсивной трещиноватости или ослабленные неблагоприятно расположенными трещинами, дизъюнктивными нарушениями, слабыми контактами между слоями пород, могут укрепляться (табл. 4.1). Для укрепления откосов скальных и полускальных пород следует применять:

1) способы механического удержания призмы обрушения, к которым относятся укрепление штанговой крепью, шпунтами, железобетонными сваями, гибкими тросовыми тяжами, а также подпорными, защитными и контрфорсными стенками. Эти способы применяются самостоятельно и комплексно;

2) способы по улучшению прочностных свойств массива путем инъекции в массив укрепляющих растворов; из этих способов наиболее широко распространена цементация и смолинъекция;

3) способы, при которых слагающие откосы породы, склонные к быстрому и интенсивному выветриванию, выщелачиванию или дефляции, изолируются с помощью устойчивых покрытий торкрет - бетоном, шприц - бетоном, битумом, карбамидными, формальдегидными и эпоксидными смолами; способы могут применяться также в сочетании с металлической сеткой и штангами;

4) способы пригрузки откоса подпорными стенками и контрфорсами для интенсивно трещиноватых горных пород.

Комбинированные способы могут применяться в различных сочетаниях для условий горных пород, имеющих интенсивную трещиноватость, плоскости ослабления, склонные к выветриванию.

Таблица 4.1 – Способы укрепления откосов в скальных и полускальных породах

Применяемые способы	Метод укрепления	Условия применения способов
1. Способы механического удержания	Железобетонные сваи (иногда с последующей цементацией массива)	Массивы со слабо развитой трещиноватостью, поверхности ослабления падают в выработанное пространство под углами 20 – 50 °
	Анкеры, штанги и гибкие тросовые тяжи	Крупноблоковые маловыветрелые массивы и сланцеватые породы с падением сторону выемки под углами 40 – 60 °
	Защитные подпорные и контрфорсные стенки	Сильнонарушенные массивы сложной структуры с переслаиванием пород
2. Упрочнение пород	Цементация (иногда в комбинации с железобетонными сваями), нагнетание в массив укрепляющих растворов из полимерных веществ (смолоинъекция)	Гравий и крупнозернистые пески с удельным водопоглощением более 0,1 л/мин, трещиноватые скальные породы
3. Изолирующие покрытия	Торкретирование или набрызг, битумизация, изоляция с помощью полимерных смол, покрытие откосов сеткой и другими материалами	Породы, склонные к интенсивному поверхностному выветриванию или выщелачиванию, песчаные откосы
4. Пригрузка откоса	Подпорные стенки и контрфорсы	Интенсивно трещиноватые горные породы сложной структуры (зоны разломов, тектонические нарушения, рыхлые отложения)

Укрепление откосов в карьерах может применяться в следующих условиях:

- на отдельных участках уступов с низкими прочностными свойствами породного массива,
- при увеличении выемки дополнительных объемов руды,
- при создании искусственных берм безопасности и транспортных,
- при укреплении уступов на нижних горизонтах,
- при укреплении транспортных траншей (скиповых, конвейерных) и уступов в зоне расположения объектов внутрикарьерной инфраструктуры,
- при укреплении пород в зоне влияния подземных горных работ.

Укрепление железобетонными сваями

4.2.2. Железобетонные сваи применяются для укрепления уступов, сложенных скальными и полускальными породами при высоте уступа 24-45 м (рис. 4.15). Расстояние между рядами скважин 0,5-1,5 м, между скважинами в ряду 0,5-10 м. В качестве арматуры применяют стальные трубы, рельсы, стальные канаты. Для заливки скважин применяют бетон (вода, цемент и песок) в отношении 0,7:1:1.

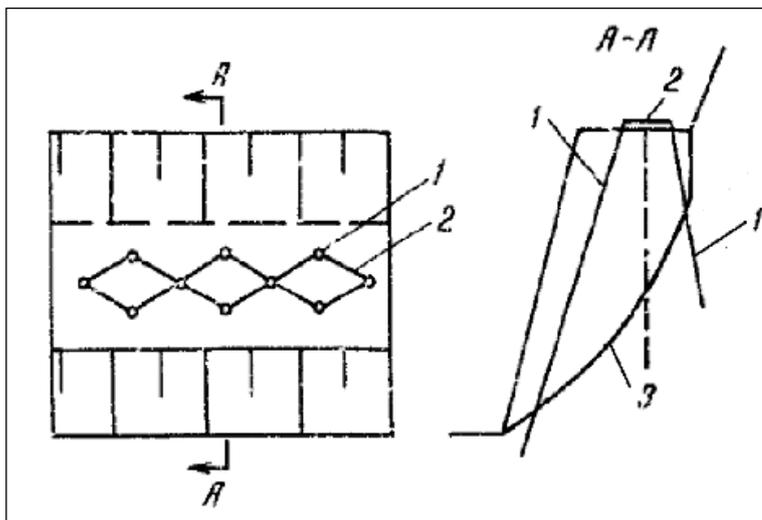


Рисунок 4.15 – Схема укрепления откоса железобетонными сваями: 1 – железобетонная свая; 2 – ригель; 3 – поверхность скольжения

Скважины под сваи бурятся станками, обеспечивающими диаметр скважин не менее 243 мм. После окончания бурения часть скважин, расположенных в сильно деформированных породах, обсаживаются стальными трубами. В скважины опускают арматуру, используя подъемные краны грузоподъемностью 3-5 т. Арматуру заготавливают в виде отрезков длиной 6-12 м. Поэтому при опускании в скважину концы отрезков должны быть соединены между собой: рельсы соединяются накладками и болтами, трубы, швелеры – сваркой. После опускания в скважины арматуры производят их заливку бетоном.

Бетон приготавливают на месте в бетономешалках или привозят в машинах с бетонного завода. Бетон заливают в скважины через специальные лотки. После заполнения скважины бетоном на верхнюю часть арматуры крепят электровибратор и уплотняют бетон. Затем повторяют цикл заполнения-уплотнения до полного заполнения скважины бетоном.

Верхние концы арматуры соединяют между собой ригелями. В качестве ригелей используют сталь различного профиля или стальной канат. Соединение ригелей с арматурой производят сваркой либо накладками, болтами, жимками.

После установки ригелей металлические части крепления покрывают антикоррозийной защитой и засыпают равномерным слоем глинистых пород для создания нормальных условий проезда горнотранспортных машин по берме.

Укрепление анкерами

4.2.3. Все анкеры по принципу работы разделяются на две основные группы:

- пассивные (анкеры без предварительного натяжения);
- активные (предварительно-напряженные анкеры).

По конструктивному исполнению и характеру работы анкеры можно разделить на три группы:

– анкерную крепь с анкерами длиной 1-5 м, несущей способностью до 100 кН ($\approx 10,2$ тс). Для быстрого включения в работу применяются клиновые и распорные анкеры, в других случаях – набивные и нагнетаемые. При необходимости клиновые и распорные анкеры могут иметь незначительную затяжку (затяжка в анкерах этих типов не должна рассматриваться как их предварительное напряжение) наружной гайкой;

– анкеры глубокого заложения длиной 6-30 м. Они могут быть двух типов: предварительно-напряженные и без предварительного напряжения. Анкеры глубокого заложения закрепляются в скважинах только с помощью инъекции вяжущими материалами;

– анкеры сверхглубокого заложения длиной от 30 м. Как правило, это анкеры на основе тросовой (канатной) конструкции, которые закрепляются в массиве только с предварительным натяжением с помощью инъекции вяжущими материалами.

Пассивные анкеры в основном предназначаются для работы на срез и изгиб, а активные анкеры – для случаев, когда преобладает нагрузка, вызывающая растягивающие напряжения в направлении оси анкера. Выбор пассивных или активных анкеров определяется ожидаемым механизмом деформирования закрепляемого участка.

Анкеры глубокого и сверхглубокого заложения имеют значительную несущую способность, достигающую 500-1000 кН ($\approx 51-102$ тс) и в разы больше (известен опыт закрепления скального массива анкерами с несущей способностью 1000 тс каждого).

Активные анкеры глубокого заложения применяются одновременно с устройством монолитных железобетонных опор (индивидуальных или групповых), оформленных в виде горизонтальных поясов, вертикальных ребер или контрфорсов, а также в виде железобетонных решеток, одевающих или подпорных стен. Пассивные анкеры глубокого заложения могут быть установлены с подхватами и опорными плитами аналогично анкерной крепи.

Для включения в работу пассивных анкеров скальному массиву необходимо претерпеть некоторую деформацию, поэтому зачастую предпочтение следует отдавать активным анкерам.

Анкерную крепь применяют для укрепления уступов, сложенных скальными и полускальными породами высотой 12-45 м (рис. 4.16). Количество скважин на 1 м откоса 1-3, диаметр скважин 60-300мм., глубина 5-30 м. Расстояние между скважинами по простиранию 1-3 м. В качестве анкера применяют круглую сталь диаметром до 50 мм или стальной трос диаметром 39-60 мм. Для заливки замка применяют бетон (цемент, песок, вода) в отношении 1:1:1.

Целесообразно ориентировать анкеры под углами 30-60° к поверхности вероятного смещения закрепляемого массива.

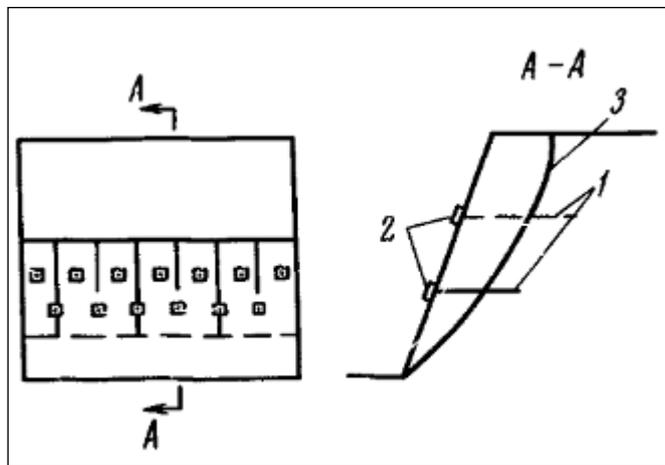


Рисунок 4.16 – Схема укрепления откоса анкерами: 1 – анкеры; 2 – опорная плита; 3 – поверхность скольжения

4.2.8. Формулы для расчета анкерного крепления при пассивных (4.4) и активных (4.5) анкерах:

$$n = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi' + C' \cdot L + T_N \cdot \operatorname{tg} \phi}{P \cdot \sin \beta - T_S}, \quad (4.4)$$

$$n = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi' + C' \cdot L + T_N \cdot \operatorname{tg} \phi + T_S}{P \cdot \sin \beta}, \quad (4.5)$$

где n – коэффициент запаса, P – вес призмы обрушения, т, β – угол падения контакта, град, L – длина плоскости скольжения, м, C' , φ' – прочностные свойства по контакту, т/м², град., $T_N \tan \phi$, T_S – нормальная и касательная компоненты удерживающего усилия анкеров, т.

Количество анкеров для закрепления или шаг закрепления (X , м) по фронту откоса определяется из выражений (4.6, 4.7):

$$n = \frac{X \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi' + X \cdot C' \cdot L + T_N \cdot \operatorname{tg} \phi}{X \cdot P \cdot \sin \beta - T_S}, \quad (4.6)$$

$$n = \frac{X \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi' + X \cdot C' \cdot L + T_N \cdot \operatorname{tg} \phi + T_S}{X \cdot P \cdot \sin \beta}, \quad (4.7)$$

Отсюда, расчетная формула имеет вид (5.8):

$$X = \frac{T_N \cdot \operatorname{tg} \phi + T_S}{P \cdot (n \cdot \sin \beta - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi') - C' \cdot L}, \quad (4.8)$$

4.2.4. Работы по укреплению откосов анкерами выполняются в следующей последовательности: оборка поверхности откоса от заколов и навесей, бурение скважин для установки анкеров, бетонирование скважин нагнетательной установкой, установка опорных плит, натяжения анкеров гидравлическими или механическими домкратами.

Для укрепления откоса анкерами используются различные приспособления и механизмы, позволяющие удержать на откосе рабочую платформу с людьми и оборудованием. Могут быть использованы лестницы, леса, подвесные люльки, гидроподъемники, самоходные полки. Зачастую уступ обрабатывается подступами с таким расчетом, чтобы с подступа можно было осуществлять укрепление. Если уступ поставлен в предельный контур, то на требуемую высоту отсыпается временный отвал пустых пород, с верхней площадки которого производят укрепление. Скважины под анкера бурятся станками, обеспечивающими диаметр не менее 100 мм. В скважины вводят арматуру и заливают бетоном. Бетон уплотняют вручную специальным досыльником. При большом объеме работ применяют специальные аппараты для нагнетания раствора в скважины. После заливки скважины цементным раствором, устанавливают опорные плиты и производят натяжение анкеров гидравлическими или механическими домкратами.

4.2.5. Пример проекта анкерного закрепления группы уступов в районе произошедшей деформации (рис. 4.17). Деформационный участок высотой 70 м с полной сработкой предохранительных берм. При дальнейшей углубке карьера ожидалось развитие данной деформации на соседние участки. Поэтому был рассмотрен способ анкерного закрепления и дополнительное закрепление сеткой для удержания как породных блоков, так и предотвращение камнепада на нижележащие горизонты и транспортные съезды.

дополнительным тросом, концы которого крепятся к бульдозерам и окончательно натягивают. После этого фиксируют стягивающий трос. После монтажа и натяжения тросов на них наносят антикоррозийное покрытие и засыпают слоем глинистых пород для обеспечения проезда горнотранспортных машин на берме.

4.2.7. Пример применения крепления тросовыми анкерами на рисунке 4.19.

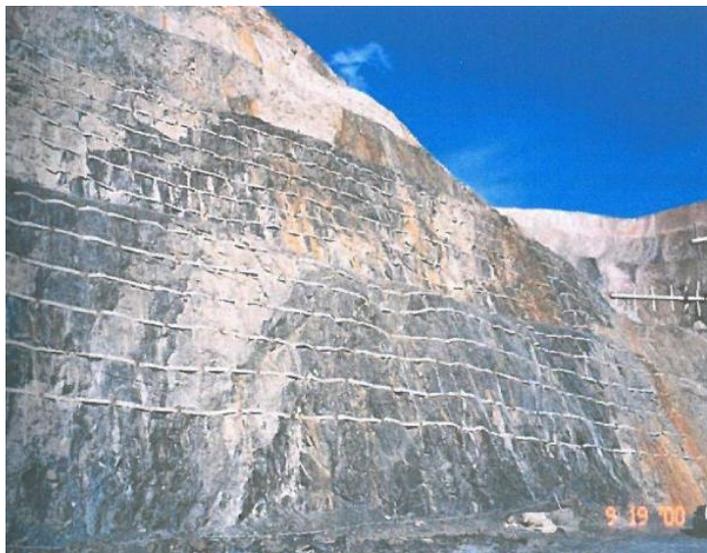


Рисунок 4.16 – Пример крепления откоса тросовыми анкерами с затяжками металлической лентой

Покрывтия откоса металлической сеткой

4.2.8. Покрывтие откосов сеткой устраняет деформации, проявляющиеся в виде осыпей и вывалов. Металлическую сетку крепят к откосу короткими анкерами (рис. 4.20). Применяются переносные лестницы, гидроподъемники, подъемные краны и другие механизмы, используемые при возведении анкерной крепи.

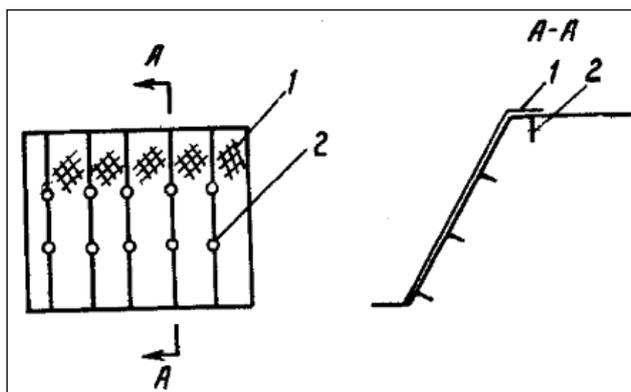


Рисунок 4.20 – Схема покрытия откоса металлической сеткой: 1 – металлическая сетка; 2 – анкер

Комбинированное крепление откоса применяют в виде сочетаний нескольких способов, например: железобетонные сваи-цементация, железобетонные сваи – тросовые тяжи – покрытие откоса сеткой. Комбинированный метод выбирают в соответствии со сложившейся горно-геологической обстановкой отдельного уступа.

4.2.9. Одним из принципиальных способов защиты от камнепадов являются системы укрепления откосов уступов и склонов сеткой.

Сетка крепится наверху анкерами, внизу она может оставаться незакрепленной. Ее необходимо расположить как можно ближе к неустойчивой зоне. Незакрепленная нижняя часть позволяет обломкам породы перемещаться к подошве, не скапливаясь за сеткой (рис.4.21).



Рисунок 4.21 – Защита откосов от камнепада металлическими сетками

Укрепление цементацией

4.2.10. Цементацию применяют в скальных породах при угле откоса $40-60^\circ$, высоте 20-45 м (рис. 4.22). Радиус цементации до 5м, количество скважин на 1 м откоса 0,2-1,5, расстояние между рядами скважин 2,5-5 м, между скважинами в ряду до 5 м. Угол наклона скважин $55-90^\circ$, диаметр скважин не менее 100 мм.

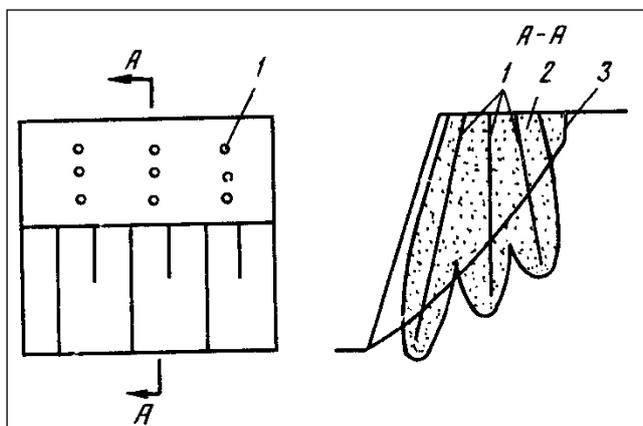


Рисунок 4.22 – Схема укрепления откоса цементацией: 1 – скважины; 2 – зона укрепленных пород; 3 – поверхность скольжения

Работы по цементации скважин проводятся в следующем порядке. Бурят скважины, в устье скважин бетонируется трубка-кондуктор с фланцем, к которому затем присоединяют цементационную головку с измерительной и запорной арматурой. Затем готовят раствор цемента и насосом через цементационную головку закачивают раствор в скважину.

Для цементационных работ применяются передвижные растворомешалки, поршневые и диафрагмовые насосы. Применяются также цементационные агрегаты, где насос и растворомешалка установлены на автомобиле. После нагнетания раствора в скважину цементационную головку снимают и устанавливают на очередную скважину. Возможно применение специальных иньекторов, однако основным условием их применения является наличие крепких устойчивых к вывалам отдельных кусков пород в скважине.

Начальная консистенция цементации 1 м откоса 5-30 т, воды 8-20 м³.
Дополнительные удерживающие усилия 10-50 кН.

Укрепление торкретбетоном

4.2.11. Для предотвращения деформаций в скальных и полускальных породах, склонных к выветриванию, применяются торкретирование поверхности откосов (рис. 4.23).

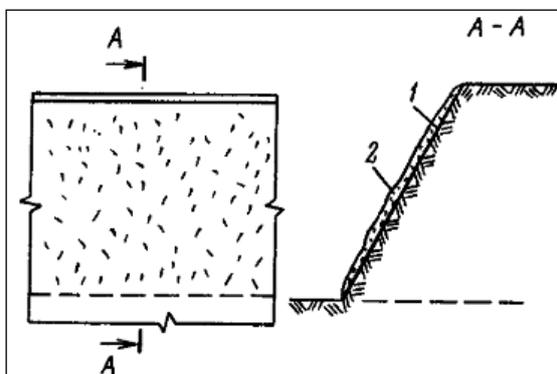


Рисунок 4.23 – Схема укрепления торкретбетоном: 1-поверхность откоса, 2-слой торкретбетона

Торкретбон представляет собой затворенную водой смесь цемента и мелкого заполнителя, наносимую на поверхность породы. Толщина покрытия определяется параметрами уступа (его высотой) и сроком службы. Для получения необходимой прочности торкретбетона рекомендуется применять марки цемента не ниже 400. Для ускорения сроков схватывания цемента в состав смеси вводят добавки – ускорителя твердения.

Наиболее употребительные составы для торкретирования (цемент: песок) по объему 1:3, 1:4, 1:5. Количество воды для затворения принимают в зависимости от состава сухой смеси из расчета получения водоцементного отношения в пределах 0,27-0,35.

Работы проводятся в следующем порядке. Перед торкретированием производят оборку откоса и смыв водой с его поверхности мелких фракций горных пород. Затем в специальной емкости приготавливают раствор, который наносят на поверхность откоса с помощью бетономашин различного типа.

Укрепления откоса подпорной стенкой

4.2.12. Подпорные стенки на карьерах применяются для восстановления транспортных и предохранительных берм. А также для локализации деформаций отдельных уступов. Каменные и бетонные стенки применяются чрезвычайно редко. В основном применяют тонкие заанкеренные подпорные стенки с засыпкой пространства между стенкой и откосом щебнем или скальной породой вскрыши (рис. 4.24). Высота стенки до 6 м, расстояние между вертикальными стойками 1-2,5 м, заглубление вертикальных стоек 1-2 м, количество анкеров на каждую стойку 1-2.

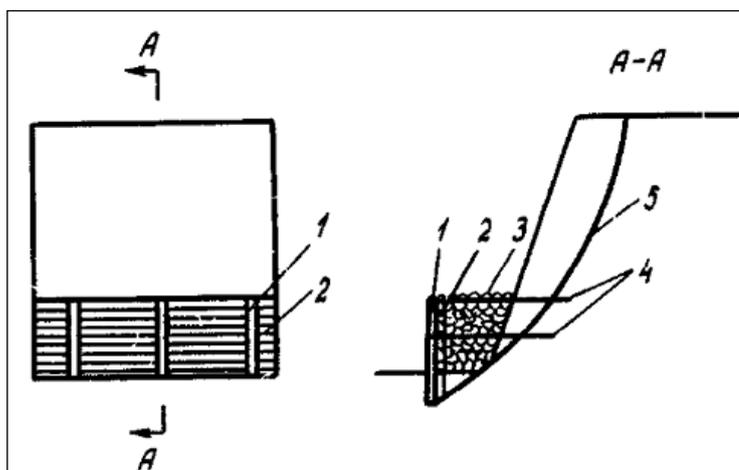


Рисунок 4.24 – Схема укрепления откоса подпорной стенкой: 1 – стойки; 2 – забивка; 3 – щебень; 4 – анкера; 5 – поверхность скольжения

Скважины под стойки бурятся на зачищенном основании, их диаметр должен в 1,5 раза превышать диаметр стоек. В скважины устанавливают стойки, основания их бетонируют, верхний конец стойки и середину соединяют с анкерами, которые закрепляют в откосе. Забивку стенки выполняют из шпал или круглого леса. Затем пространство между подпорной стенкой и откосом заполняется щебнем или пустой скальной породой.

Укрепление подпорными балками

4.2.13. Подпорными балками откосы уступов (рис. 4.25) укрепляются в скальных трещиноватых породах.

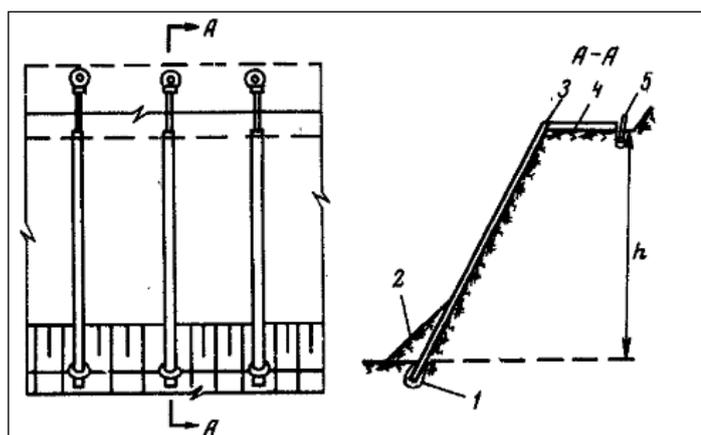


Рисунок 4.25 – Схема укрепления подпорными балками: 1-нижний замок; 2-целик; 3-балка; 4-канат; 5-анкер

Укрепление этим способом проводится после постановки уступа в проектный контур. С целью снижения силы активного давления в нижней части уступа оставляют ($1/3$ высоты уступа) породный целик. Подпорные балки из двутавра или железобетона устанавливаются по поверхности откоса через определенные промежутки на нижней берме в проемы породного целика. Нижняя часть каждой балки заделывается в массив на глубину $0,1$ м высоты уступа. Каждая балка на верхней берме притягивается к откосу канатом диаметром 39 мм, который закрепляется анкером за призмой возможного обрушения. Расстояние между подпорными балками определяют из условия создания необходимых дополнительных удерживающих сил, обеспечивающих заданный запас устойчивости, а также из несущей способности балки.

Работы выполняются в следующей последовательности. У основания откоса в породном целике мелкошпуровым способом делают проемы и замковые углубления. Одновременно на верхней берме бурят шпуры под установку анкеров для крепления канатов. Далее с помощью автокрана в замковые углубления устанавливают балки, верхние концы которых соединяют канатом с анкерами с помощью жимков, хомутов и т.д. Канат натягивают трактором или бульдозером. Перед натяжением каната нижний замок балки и анкер должны быть забетонированы.

Сооружение искусственной бермы

4.2.14. Для восстановления обрушившегося откоса или его части на карьерах сооружаются искусственные бермы. Этот способ укрепления применяют в основном для полного или частичного восстановления транспортных берм. Конструкции искусственных берм самые различные. В качестве материалов для их сооружения применяют трубы диаметром $100-260$ мм, круглый лес диаметром $18-25$ см или шпалы (рис. 4.26).

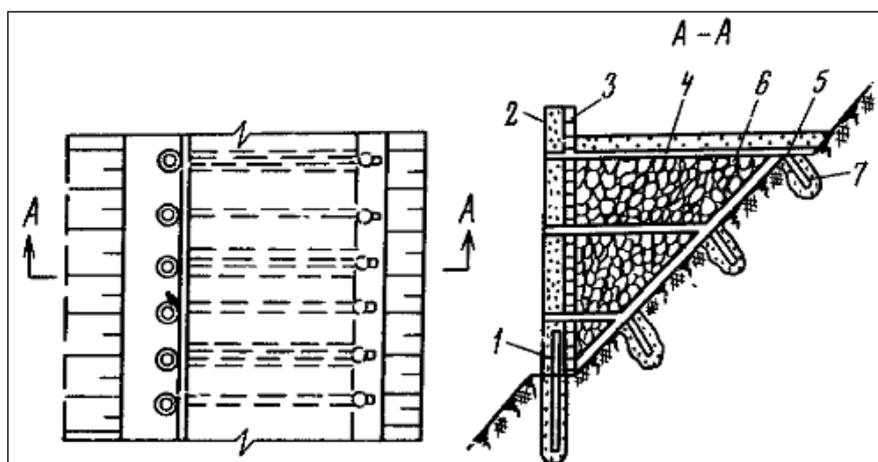


Рисунок 4.26 – Схема сооружения искусственной бермы: 1-стойки; 2 –трубы; 3-затяжка из шпал; 4-ригель; 5-лежан; 6-засыпка; 7-анкеры

Работы по сооружению искусственной бермы выполняются в следующей последовательности. В месте установки вертикальных стоек сооружают площадку для размещения станка и бурения скважин. Если площадку под буровой станок соорудить невозможно, то скважины под вертикальные стойки бурят станком, размещенным на специальной полке. В пробуренные скважины устанавливают анкера и бетонируют. Затем (после затвердения бетона) на анкера одевают трубы или буровые штанги заданной высоты и также заливают бетоном или цементным раствором. Вертикальные стойки (трубы или буровые штанги) с помощью горизонтальных растяжек (1-3 тт.) соединяют с лежаном, например сваркой. Лежан крепится штангами к массиву.

После сооружения каркаса станка пространство между вертикальными стойками зашивается шпалами или круглым лесом. Затем пространство между вертикальными стойками и поверхностью откоса заполняют скальной породой или щебнем до нужной отметки.

Укрепление глинистых участков откосов на карьере

4.2.15. Фильтрующие участки откосов песчано-глинистых пород укрепляются гравийно-щебеночной пригрузкой фильтрующего участка откоса. Схемы пригрузки изображены на рисунках 4.27, 4.28.

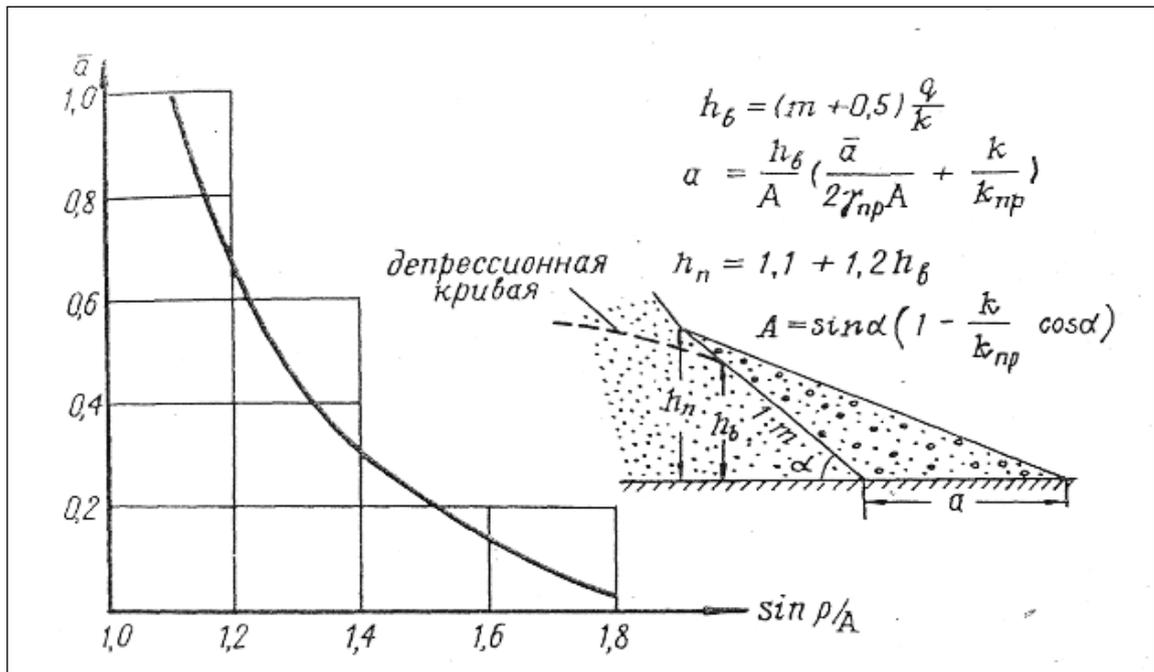


Рисунок 4.27 – Схема для определения параметров пригрузочной призмы: q - расход, притекающий к откосу; k и k_{np} – коэффициенты фильтрации грунта и материала пригрузки; γ_{np} - объемный вес материала пригрузки; ρ – угол трения грунта

Для откоса с углом наклона α рекомендуется коэффициент запаса, равный 1,2 - 1,4. Угол откоса на проницаемом основании возможно увеличить на 15 %.

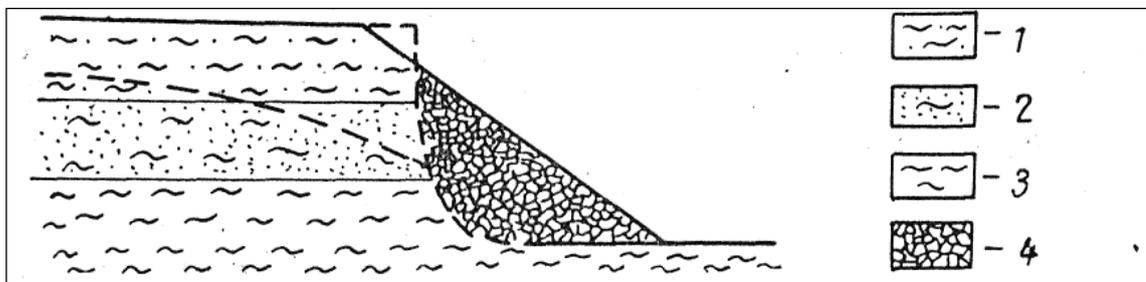


Рисунок 4.28 – Схема пригрузки фильтрующего песчано-глинистого откоса: 1 – суглинок, 2 - песок глинистый, водоносный; 3 - глина пластичная; 4 – щебенка

Отсыпаемые породы не должны содержать глинистых разностей более 20%. Отсыпку ведут таким образом, чтобы выемка рыхлых пород, заменяемых скальными, не приводила к недопустимому снижению устойчивости откоса.

Для предотвращения эрозии откосов песчаных и песчано-глинистых пород необходимо покрывать их растительным слоем или торфом с посевом трав. Предотвращение размывания и эрозии песчано-глинистых откосов стекающими потоками дождевых вод достигается также путем устройства упорядоченных стоков дождевых и талых вод с площадок уступов. Для этой цели площадкам уступов придается уклон в

сторону водоотводной канавы, расположенной в основании вышележащего откоса и имеющей уклон 3 - 5 % к поперечным канавам, в которых уложены железобетонные трубы для спуска воды на нижележащую площадку.

На дневной (земной) поверхности вблизи борта карьера на локальных участках выполняются планировочные работы с обратным уклоном от борта с отводом воды в нагорную канаву.

Размываемые участки водосточных канав укрепляются железобетонными или полимерными лотками.

4.3. Специальные способы буровзрывных работ при постановке уступов в предельное положение

4.3.1. Основным требованием, предъявляемым к технологии отбойки на предельном контуре карьера, является обеспечение максимальной степени сохранности формируемых породных уступов – как откоса, так и бермы. Это обусловлено необходимостью поддержания безопасного состояния уступов на протяжении достаточно длительного времени существования карьера. Основным путем выполнения указанного требования очевиден: необходимо снизить интенсивность техногенного воздействия на окружающий породный массив до минимально приемлемого уровня, который бы обеспечил, с одной стороны, достаточную степень сохранности законтурного массива, с другой, достаточную технологичность производства буровзрывных работ.

4.3.2. Наиболее эффективными методами снижения интенсивности техногенного воздействия взрывных работ являются:

1. Контурное взрывание;
 - предварительное щелеобразование;
 - последующее оконтуривание;
 - специальные методы контурного взрывания.
2. Буферное взрывание;
3. Дополнительные методы;
 - ограничение объема блоков, взрываемых за один прием;
 - изменение направления развития взрыва;
 - использование комбинированных зарядов.

Комплексное использование этих методов позволяет достичь желаемых результатов практически в любых условиях, характерных для большинства карьеров горнодобывающих предприятий.

4.3.3. В общем случае метод контурного взрывания применяют для образования гладкой поверхности отрыва и снижения степени нарушенности законтурного массива.

Характерной особенностью этого метода является реальная возможность защиты породы от растрескивания, благодаря чему она не теряет прочностных свойств. Качественно оформленные породные уступы, как правило не требуют дополнительных затрат на их оборку (обезопасивание) и укрепление. Кроме того, в ряде случаев использование контурного взрывания способствует сокращению притока воды благодаря уменьшению степени разуплотнения законтурного массива, характеризующегося блочным строением. По параметрам бурения, заряжания и очередности инициирования метод контурного взрывания можно разделить на предварительное щелеобразование, последующие оконтуривание и специальные методы.

4.3.4. Предварительное щелеобразование реализуется путем бурения вдоль проектной линии отрыва параллельных между собой и расположенных в плоскости отрыва скважин (рис. 4.29), которые заряжают линейными зарядами существенно меньшей, по сравнению с отбойными зарядами, линейной плотности, и взрывают одновременно с некоторым опережением по отношению к отбойным скважинным зарядам или отдельно от них в случае, когда щель формируется как отдельный технологический элемент до бурения отбойных скважин.

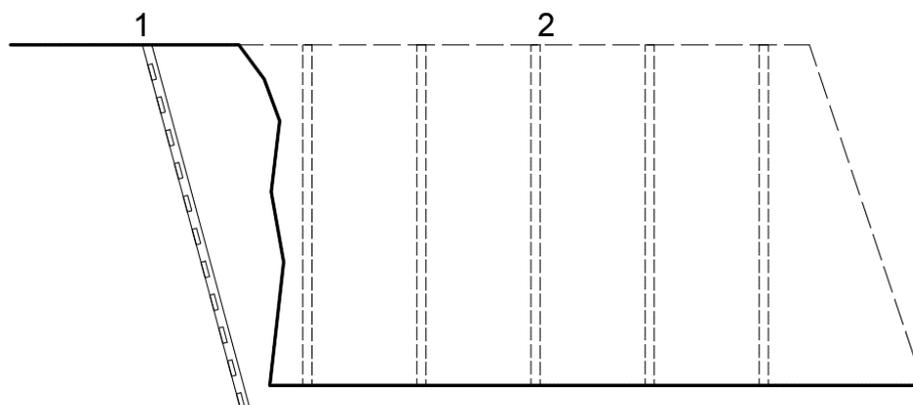


Рисунок 4.29 – Схема формирования отрезной щели одновременно с взрывом отбойных скважин с некоторым опережением по времени инициирования: 1, 2 – очередность взрывания

Основным преимуществом предварительного щелеобразования является возможность отделения взрываемого впоследствии технологического блока от окружающего массива, что в нормальных (сухих) условиях позволяет существенно снизить интенсивность сейсмического воздействия отбойных скважинных зарядов на массив. Кроме того, предварительное щелеобразование обеспечивает максимальную степень гладкости образованной поверхности. С технической точки зрения предварительное

щелеобразование является наиболее предпочтительным, поскольку может быть реализовано как в масштабах одного уступа, так и нескольких (сдвоенных, строенных).

4.3.5. Последующее оконтуривание реализуется путем бурения вдоль проектной линии отрыва или непосредственно перед ней (в слабых породах) параллельных между собой и расположенных в плоскости отрыва скважин, которые заряжают линейными зарядами существенно меньшей, по сравнению с отбойными зарядами, линейной плотностью и взрывают одновременно с некоторым отставанием по отношению к отбойным скважным зарядам на блоке (рис. 4.30), т.е. отбойку породы контурными зарядами производят на свободное пространство. В зависимости от структурных особенностей массива качество образованной поверхности уступа в этом случае может быть таким же, как и при предварительном щелеобразовании или несколько хуже, что обусловлено условиями работы контурных зарядов. Последующее оконтуривание может быть реализовано в пределах только одного уступа и не защищает окружающий породный массив от сейсмического действия взрыва отбойных скважных зарядов, поэтому данный метод не нашел широкого применения на открытых работах.

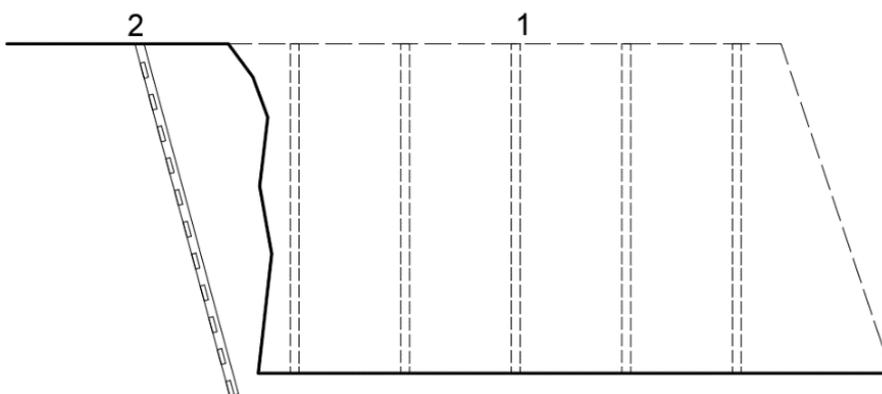


Рисунок 4.30 – Схема формирования отрезной щели одновременно с взрывом отбойных скважин с некоторым отставанием по времени инициирования: 1, 2 – очередность взрывания

4.3.6. **Специальные методы контурного взрывания**, основанные на использовании холостых (незаряженных) контурных скважин, расположенных на расстоянии друг от друга, равном 2-4 диаметра (рис. 4.31), на практике применяются очень редко (тем более в карьерных условиях).

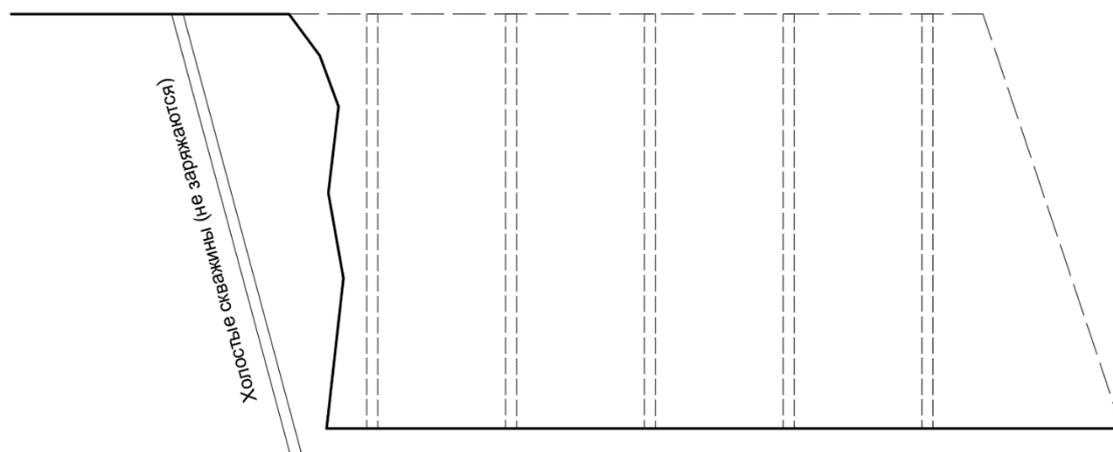


Рисунок 4.31 – Формирование отрезной щели посредством бурения холостых контурных скважин

4.3.7. Помимо контурного взрывания для снижения интенсивности разрушения окружающего массива может быть использован метод буферного взрывания. Суть метода заключается в том, что последние два-три ряда отбойных скважин размещают по сгущенной сетке и заряжают соответственно меньшим количеством ВВ, уменьшая величину заряда по мере приближения к проектному контуру формируемого уступа и используя забойку и оставление воздушного промежутка между зарядом и забойкой (рис. 4.32). Схему инициирования на блоке организуют таким образом, чтобы последовательное взрывание буферных зарядов производилось на свободную поверхность (после взрыва расположенных впереди основных отбойных зарядов).

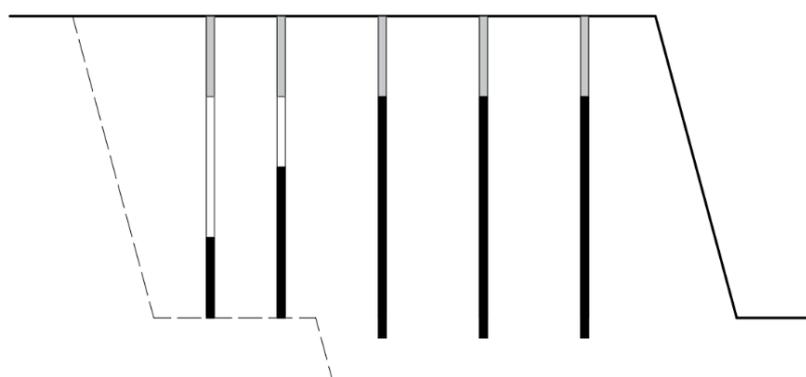


Рисунок 4.32 – Схема размещения скважин при буферном взрывании

Буферное взрывание является достаточно эффективным методом формирования породных уступов с непродолжительным сроком службы. Если же при этом использовать дополнительно и контурное взрывание (рис. 4.33), то срок службы сформированных уступов может быть существенно увеличен.

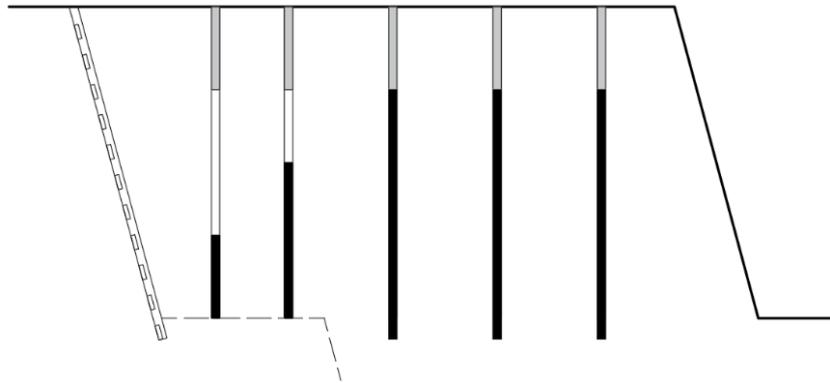


Рисунок 4.33 – Схема размещения скважин при буферном взрывании с отрезной щелью

Использование буферных скважин уменьшенного по отношению к основным отбойным скважинам диаметра позволяет, с одной стороны, существенно упростить технологию их заряжания за счет формирования заряда сплошной колонковой конструкции без оставления воздушного промежутка, с другой, добиться значительного снижения интенсивности сейсмозрывного воздействия на окружающий породный массив.

4.3.8. К дополнительным методам снижения техногенных нарушений относятся ограничение объема блоков, взрывааемых за один прием, изменение направления развития взрыва и использование комбинированных зарядов.

Ограничение объема блоков, взрывааемых за один прием, производится с учетом нескольких факторов:

- фактической конфигурации блока на момент взрыва;
- условий сейсмической безопасности охраняемых объектов;
- структурных особенностей окружающего породного массива;
- наличия на вышележащих горизонтах потенциально опасных неустойчивых участков, могущих повлечь за собой значительные обрушения после производства взрыва;
- имеющихся в распоряжении типов ВВ и средств взрывания;
- выбранной технологической схемы отбойки (предполагается ли использование контурного взрывания, буферных скважин, комбинированных схем взрывания и т.д.).

Изменение направления развития взрыва осуществляется путем изменения схемы инициирования и очередности взрывания отбойных скважинных зарядов, например, применения комбинированных схем взрывания с увеличенными интервалами замедления между рядами и использованием короткозамедленного взрывания отдельных скважин в ряду; использования диагональных или поперечных схем отбойки (отброса) породы. Применение поверхностных схем развития взрыва, позволяющих направить развитие взрыва в сторону противоположную от опасного участка.

Использование комбинированных зарядов позволяет регулировать интенсивность динамического нагружения окружающего породного массива в зависимости от условий размещения скважинных зарядов на блоке. Например, на основной отбойке применяются скважинные заряды сплошной колонковой конструкции из высокоплотных ВВ повышенной мощности (с применением или без применения забойки); при существенно нарушенной верхней части блока основные отбойные скважины могут заряжаться ВВ разной мощности (нижняя часть - ВВ повышенной мощности, верхняя - ВВ средней или низкой мощности); в буферных отбойных скважинах применяются укороченные заряды сплошной колонковой конструкции из низкоплотных ВВ средней мощности (с оставлением воздушного промежутка между верхним концом заряда и нижним концом забойки) или заряды сплошной колонковой конструкции (при уменьшенном диаметре буферных скважин); в контурных скважинах большого диаметра (200-250 мм) на участках крепких монолитных и слаботрещиноватых пород возможно использование линейных зарядов разного диаметра и разных типов ВВ (например, нижняя половина скважин заряжается шланговыми зарядами ШЗ-4, верхняя - гирляндовыми зарядами аммонита 6ЖВ с оставлением недозаряда в устьевой части скважин; такая конструкция позволяет снизить интенсивность разрушения кромки образуемой бермы безопасности).

4.3.9. Методика определения основных параметров щадящего взрывания приконтурных блоков.

При производстве буровзрывных работ на предельном контуре карьера существуют некоторые требования и ограничения, направленные на обеспечение сохранности формируемого в конечном положении уступа.

Основные принципы, которые необходимо соблюдать при разработке конкретных технологических решений, заключаются в следующем (рис. 4.34).

С целью обеспечения сохранности породного массива в объеме будущего уступа (в его предельном положении) граница (1) основной массовой отбойки не должна приближаться к проектному контуру уступа (при отсутствии контурной щели) на ширину охранной зоны $L_{охр}$, определяемую из условия отсутствия остаточных деформаций за пределами проектного контура уступа;

После формирования контурной щели отбойка породы в пределах охранной зоны должна производиться в щадящем режиме, для чего охранный блок разбивается на две зоны отбойки: зону переходного блока, в пределах которого допустимо использование отбойных скважин основного рабочего диаметра, и зону приконтурного блока, в пределах которого необходимо использование отбойных скважин уменьшенного диаметра (например, 165-200 мм);

Удаление границы (2) от контурной щели (ширина приконтурного блока) определяется исходя из двух условий: во-первых, она не должна быть меньше размера зоны нарушений при взрыве скважин основного рабочего диаметра, и во-вторых, она не должна быть меньше размера предохранительной бермы, разделяющей уступы в их предельном положении.

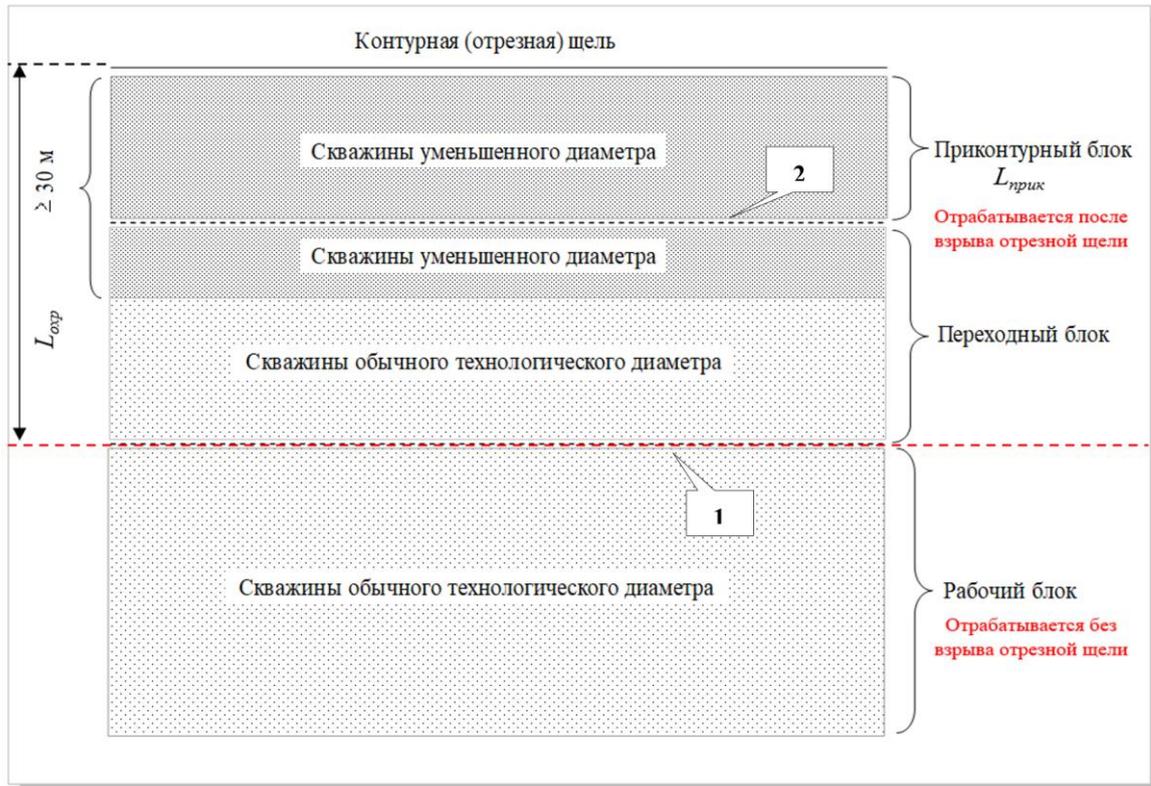


Рисунок 4.34 – Схема организации шадящего взрывания

4.3.10. Основные расчётные формулы для определения ширины охранной зоны и ширины приконтурного блока:

$$L_{оxp} > 0,534 \cdot [(1 - \eta_{ост}) \cdot U_{y\delta}]^{1/6} \cdot \frac{Q^{1/3}}{f^{1/150}} \cdot \left(\frac{5}{K_{np}} \right) \quad (4.9)$$

$$L_{прик} > L_{оxp} \cdot \left(v \cdot \frac{1 - 2 \cdot v}{1 - v} \right)^{2/3} \quad (4.10)$$

$$\eta_{ост} = \frac{\gamma_0 - 1}{k - 1} \cdot \frac{373}{\gamma_{вв}} \cdot \left(\frac{\sigma_{сж}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (4.11)$$

$$\gamma_0 = \sqrt{1 + (k^2 - 1) \cdot \left(\frac{\gamma_{вв}}{373} \right)^{\frac{k+1}{2}}} \quad (4.12)$$

$$P_0 = (\gamma_0 - 1) \cdot \gamma_{вв} \cdot U_{y\delta} \quad (4.13)$$

где $\eta_{ост}$ – доля начальной энергии, оставшейся в продуктах детонации на момент полного расширения котловой полости, ед.; $U_{уд}$ – удельная энергия ВВ ($U_{уд} = 427 \cdot Q_T$, Q_T – удельная теплота взрыва, ккал/кг; 427 – механический эквивалент тепловой энергии, кгм/ккал), кгм/кг; Q – количество взрывчатого вещества в скважине, кг; $f = \sigma_{сж}/10^6$ – коэффициент крепости породы по шкале Протождяконова М.М., ед.; $K_{тр}$ – категория взрываеваемых пород по трещиноватости (табл. 4.2), ед.; ν – коэффициент Пуассона породы, ед.; γ_0 – начальный показатель адиабаты расширения высокоплотных продуктов детонации, ед.; k – показатель адиабаты расширения равновесной части продуктов детонации в рамках модели идеального газа ($k = 1.4$), ед.; $\gamma_{вв}$ – объемный вес ВВ, кг/м³; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, кг/м²; P_0 – начальное давление продуктов детонации, кг/м².

Таблица 4.2 – Характеристика степени естественной трещиноватости пород по классификации Межведомственной комиссии по взрывному делу

$K_{тр}$	Характеристика степени трещиноватости	Среднее расстояние между трещинами, м
1 (I)	Чрезвычайно трещиноватый (мелкоблочный)	до 0,1
2 (II)	Сильнотрещиноватый (среднеблочный)	0,1 ÷ 0,5
3 (III)	Среднетрещиноватый (крупноблочный)	0,5 ÷ 1,0
4 (IV)	Слаботрещиноватый (весьма крупноблочный)	1,0 ÷ 1,5
5 (V)	Сохранный	более 1,5

4.3.11. В качестве иллюстрации проектных решений (рис. 4.35) представлен график изменения ширины расчётной $L_{охр}$ охранной зоны и ширины $L_{прик}$ приконтурного блока в зависимости от коэффициента крепости пород f . В расчетах принято: $\nu = 0,21$; $\gamma_{вв} = 1200$ кг/м³; $Q_T = 654$ ккал/кг (эмульсионное ВВ). Диаметр скважин принят 244,5 мм с длиной заряда 12 м. Расчет выполнен для двух категорий пород по трещиноватости III и V.

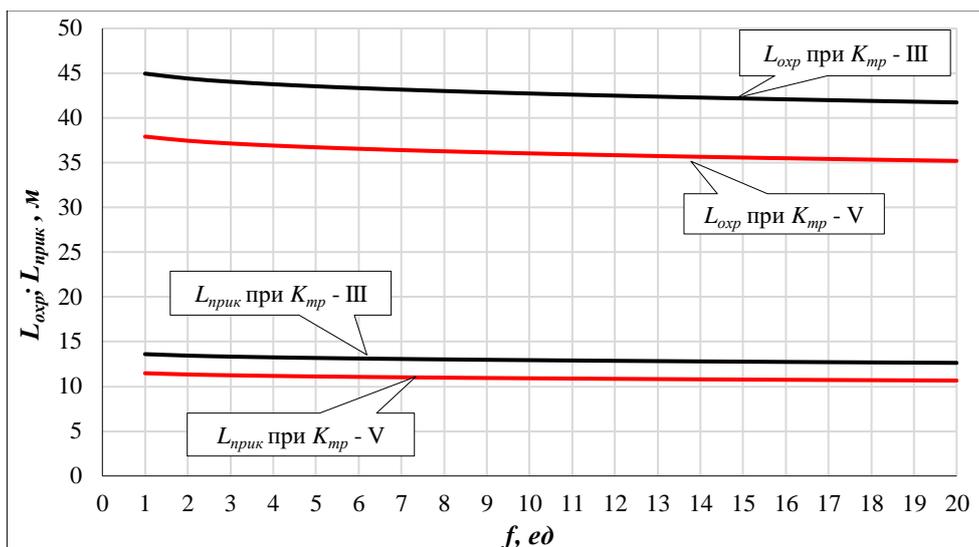


Рисунок 4.35 – Изменение ширины $L_{опр}$ охранной зоны и ширины $L_{прик}$ приконтурного блока в зависимости от коэффициента крепости пород f

Как можно отметить на рисунке выше (рис. 4.35), ширина $L_{опр}$ охранной зоны для категорий пород по трещиноватости III и V составляет 40-44 м и 34-37 м соответственно. Это означает, что в отсутствии контурной щели граница блоков технологической массовой отбойки с использованием скважин диаметров 244,5 мм не должна приближаться к проектному контуру уступа в его предельном положении ближе, чем на указанное расстояние. После образования контурной щели граница применения отбойных скважин диаметром 244,5 мм может быть приближена к проектному контуру уступа на расстояние не более ширины $L_{прик}$ приконтурного блока, которая составляет 11-13 м и 9-11 м соответственно для III и V категорий пород по трещиноватости. Дальнейшая отбойка породы в пределах приконтурного блока должны производиться только скважинами уменьшенного диаметра с обязательным поскважинным инициированием.

4.3.12. Если блок целиком обрабатывается отбойными скважинами обычного технологического диаметра (244,5 – 250,8 мм), то размер зоны разупрочнения составляет 29 – 30 м. В случае, когда основной объем блока обрабатывается отбойными скважинами обычного технологического диаметра, а последние 2 – 4 ряда обурены отбойными скважинами уменьшенного (165 – 171,4 мм) диаметра, размер зоны разупрочнения составляет 18 – 20 м. Если же весь блок обрабатывается отбойными скважинами уменьшенного диаметра и используется их поскважинное взрывание, размер зоны разупрочнения составляет всего 9 – 10 м. С учетом качественно выполненного предварительного щелеобразования, которое способно фильтровать до 50% энергии взрыва

скважин приконтурного блока, применение скважин уменьшенного диаметра является оптимальным решением для формирования уступов в предельное положение.

4.4. Снижение влияния подземных и поверхностных вод на устойчивость бортов и уступов карьеров и разрезов

4.4.1. Одним из основных факторов, снижающих устойчивость бортов карьеров, является их обводнение поверхностными и подземными водами.

Средства по защите карьера от поверхностных вод включают нагорные каналы и валы, водоспускные каналы и валы, планировку территории и берм, водонепроницаемые покрытия, водоперепускные скважины, создание водосборников.

Регулирование стока дождевых, талых, технических и подземных вод, выходящих в виде источников на откосы карьера, сводится к планировке прилегающей к карьере поверхности и берм, строительству необходимой сети водосборно-водоотводных устройств, борьбе с инфильтрацией воды и размывным действием текущей воды.

Регулировка поверхностного стока целесообразна на расстоянии от предельного контура карьера, не меньше его глубины.

Территорию, прилегающую к карьере, планируют путем засыпки ям, выравнивания бугров и создания общего уклона от предельного контура карьера.

Нагорные каналы и валы служат для перехвата поверхностных вод и направления их в сторону от карьера. Канавы устраивают с достаточно большими уклонами, но безопасными от разливов. Минимальный уклон дна канавы должен быть не менее 3-4%. В соответствии со скоростями течения воды укрепляют дно и откосы канавы.

Полная глубина канавы в каждом расчетном сечении должна быть равна:

$$H_k = h_H + 0,25 \text{ м}, \quad (4.14)$$

где H_k – глубина канавы, м; h_H – глубина наполнения русла, м.

В местах большого скопления снега как временный водосток необходимо использовать снеговые каналы и валы. Снеговые каналы, пройденные в снеговом покрове, предназначены для сбора талых вод и быстрого их удаления.

Снеговые валы позволяют направить талые воды в обход слабоустойчивых участков борта или оползней.

Сброс талых и дождевых вод должен осуществляться в пониженные места рельефа, имеющие выход в речную систему или водоем.

На неустойчивых участках уступов, бортов целесообразно укладывать сборные железобетонные или деревянные лотки, способные выдержать продольные взаимные смещения отдельных звеньев без разрушения конструкции в целом.

Меры против инфильтрации воды предусматривают применение древесно-кустарниковых насаждений, дренавание, мощение камнем, покрытие поверхности непроницаемым экраном.

На дне карьера необходимо создавать водосборники. Емкость которых позволяла бы принимать весь объем воды поверхностного стока, и организовывать откачку воды на поверхность за пределы карьера.

4.4.2. Классификация систем дренажа применительно к осушению бортов карьеров представлена в таблице 4.3.

Опережающий дренаж предполагает, что развитие депрессионной воронки происходит обязательно во время строительства карьера, а в период эксплуатации она получает или дальнейшее развитие, или поддерживается в стабильном состоянии. В соответствии с этим дренажные системы сооружают до начала горных работ, а в дальнейшем мероприятия проводят с опережением во времени.

Таблица 4.3 – Классификация систем дренажа применительно к осушению бортов карьеров

Борт карьера	Последовательность сооружения дренажных устройств по отношению к сооружению борта	Схема дренажа	
		По расположению в плане	По расположению в разрезе
Рабочий	Опережающие, параллельные, совмещенные	Линейные, реже контурные, кустовые	Одноярусные, реже двухярусные
В предельном положении	Опережающие, совмещенные	Линейные, контурные, реже кустовые	Одноярусные, двухярусные, многоярусные

При параллельном дренаже депрессионная воронка должна развиваться параллельно с проведением горных работ, так как дренажные системы сооружают одновременно с проведением горных работ.

Совмещенный дренаж подземных вод предусматривает введение дренажных устройств в работу до начала горных работ, а затем во время строительства и эксплуатации дренажные мероприятия проводят как с опережением, так и одновременно с проведением горных работ. При этом наложение депрессионных воронок происходит в период строительства при опережающем дренаже, а затем при параллельном дренаже во время эксплуатации происходит или дальнейшее наложение депрессионных воронок, или они поддерживаются в стабильном состоянии.

Рациональные пределы дренажа устанавливают исходя из допустимых уровней подземных вод, при которых возникновение деформаций откосов маловероятно.

Уровень подземных вод и поддержание их на заданных отметках в бортах карьеров зависит от дренажных устройств, применяемых для выбранной системы дренажа.

Дренаж подземных вод осуществляют открытым водоотливом или с применением дренажных устройств, которые в соединении образуют поверхностные и подземные дренажные системы.

4.4.3. Способы защиты карьера от подземных вод представлены на рисунке 4.36.

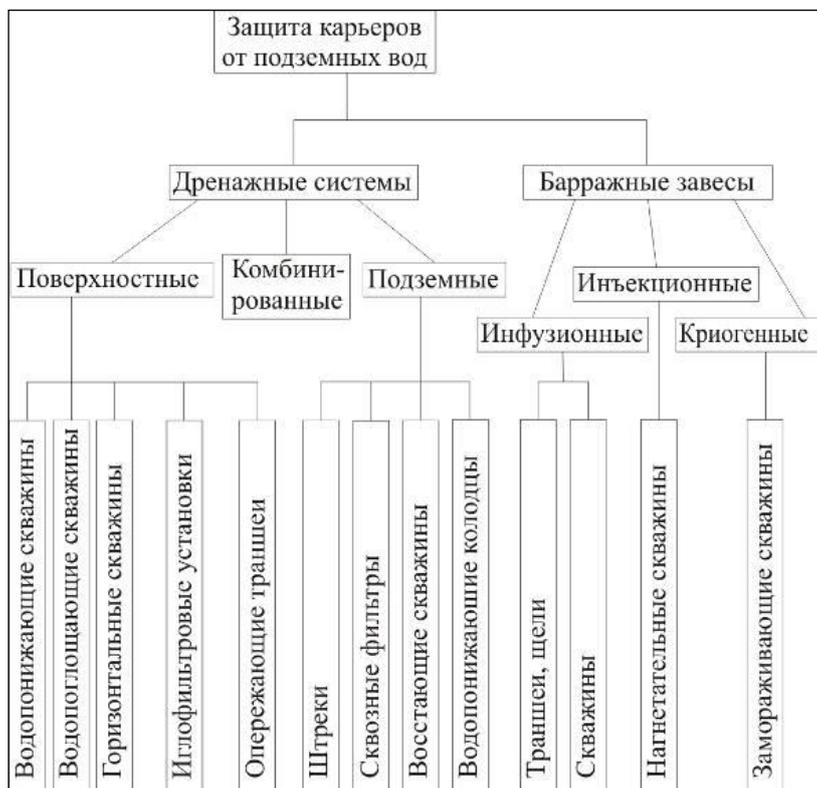


Рисунок 4.36 – Схема классификации способов защиты карьера от подземных вод

Поверхностные дренажные системы оборудуются скважинами (водопонижающие, водопоглощающие и самоизливающие, горизонтальные), иглофильтровыми установками, а также опережающими траншеями.

Скважинами дренируются водоносные горизонты в широком диапазоне проницаемостей, при этом горизонтальные, водопоглощающие и самоизливающие не требуют применения насосного оборудования.

Сооружение скважин возможно с поверхности борта, внутри карьера на бермах. Небольшой промежуток ввода в действие, относительно техническая простота сооружения скважин, учет изменения условий дренирования бортов карьеров, возможность осушения прибортовой зоны небольшим количеством скважин являются их достоинствами.

4.4.4. Для дренажа подземных вод в уступах возможны комбинированные варианты водопоглащающих скважин или создание зон повышенной проницаемости взрыванием вертикальных скважин.

Для временного локального понижения уровня подземных вод в песчаных и песчано-глинистых породах применяют иглофильтровые установки (передвижные, легкие, эжекторные). Их используют в породах со сравнительно малыми коэффициентами фильтрации.

Для дренажа маломощных и неглубоких водоносных горизонтов (10-15 м) в песчано-глинистых породах применяют опережающие траншеи.

Подземные дренажные устройства можно использовать в различных по проницаемости породах. Основными элементами являются штреки, штольни, квершлагги, галереи со сквозными и восстающими фильтрами, водопонижающими колодцами и разгрузочными скважинами (рис. 4.37).

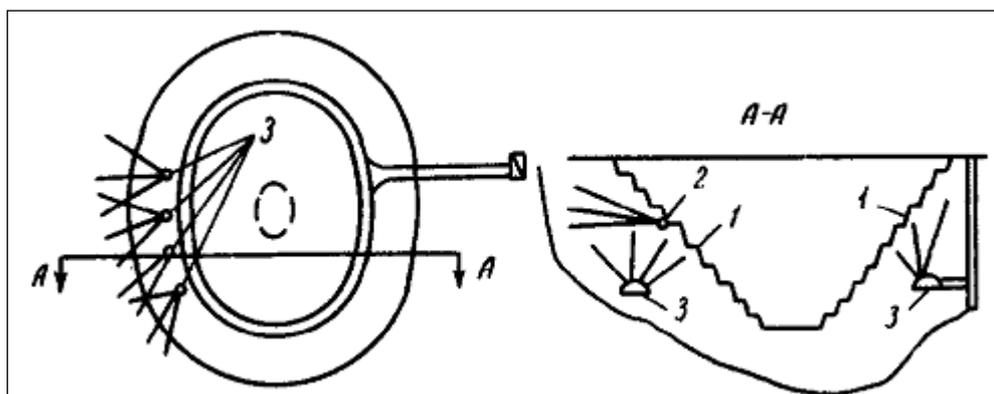


Рисунок 4.37 – Комбинированная схема дренажа: 1 – борт карьера; 2 – кусты горизонтальных скважин; 3 – подземные дренажные выработки

При не глубоком залегании водоносных горизонтов с достаточно высокими фильтрационными свойствами рекомендуется применять барражные завесы, имеющие низкие фильтрационные свойства. Завесы сооружают на поверхности бортов и на уступах.

4.4.5. По расположению в плане дренажных устройств схемы дренажа классифицируются на дуилинейные и однолинейные, контурные, сетчатые или кустовые (рис. 4.38).

При крутом и наклонном залегании слоев и высокой водопроницаемости пород дренажные устройства располагаются в виде рядов (линейная схема). Эффективность их работы возрастает при ограниченной ширине потока. Применяется поверхностная дренажная система (водопонижающие, водопоглащающие и горизонтальные скважины, иглофильтры, барражные завесы).

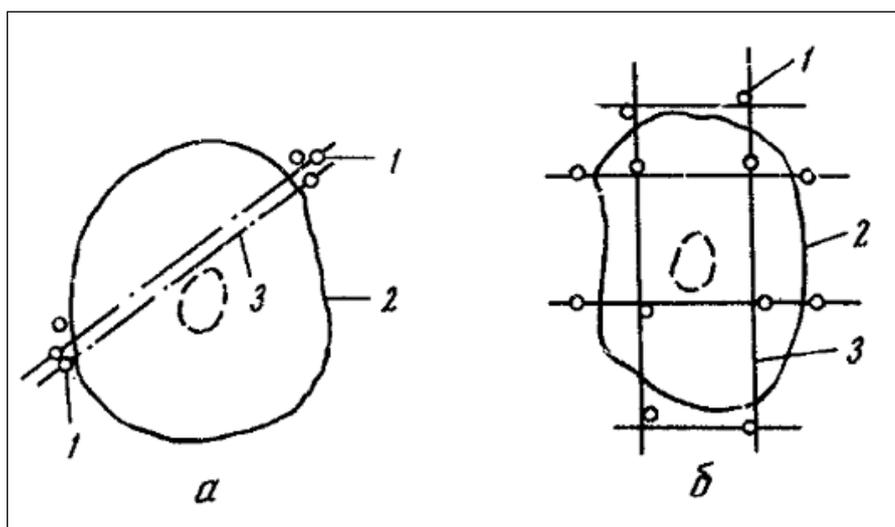


Рисунок 4.38 – Схема расположения дренажных устройств: *а* – *кустовая схема* (1 – дренажные скважины; 2 – контур карьера; 3 – тектонические трещины); *б* – *контурная схема* (1 – дренажные скважины; 2 – контур карьера; 3 – профили)

При горизонтальном залегании водоносных пород, имеющих различную водопроницаемость, дренажные устройства располагаются по периметру карьера в виде окружности, эллипса, многоугольника (контурные схемы дренажа). Применяются как подземные, так и поверхностные системы дренажа, возможны комбинации, а также барражные завесы. При относительно равномерной обводненности и слабой водопроницаемости пород, дренажные устройства могут располагаться по сетке, отдельные ряды которой имеют более или менее правильную форму (сетчатая схема). Эта схема применяется когда линейная или контурная схема не дает нужного эффекта.

При линзообразном залегании водоносного горизонта или наличии водообильных зон тектонических нарушений, закарстованности водоносных пород сооружают кустовую схему дренажа в виде отдельных групп. Применяются поверхностные дренажные системы.

Выбор дренажной системы в зависимости от геологических, гидрогеологических и структурных условий месторождений предварительно может быть сделан по аналогии с типизацией карьеров цветной металлургии. Окончательный выбор дренажной системы необходимо проводить на основании гидрогеологических расчетов, устанавливающих пределы и эффективность дренажа подземных вод.

4.5. Ликвидация карьеров и отвалов

4.5.1. После полной отработки карьера производятся мероприятия по ликвидации карьеров и отвалов. При проведении данных работ должна обеспечиваться устойчивость откосов.

4.5.2. При выполнении расчетов устойчивости откосов на момент ликвидации карьеров и отвалов должны учитываться возможные негативные сценарии, которые могут возникнуть при:

- прекращении работ по дренированию подземных вод;
- локальном обрушении уступов, участков бортов и откосов отвалов.

4.5.3. При заполнении выработанного пространства вскрышными породами, хвостами обогащения или водой необходимо производить оценку устойчивости откосов с учетом этапов работ по заполнению выработанного пространства.

4.5.4. При заполнении карьера породой устойчивость бортов карьера повышается. После полной засыпки карьера в течение продолжительного времени будет происходить уплотнение горной породы, вследствие чего может образовываться просадка внутри карьерного поля. Для осуществления строительства капитальных зданий и сооружений, а также других различных объектов инфраструктуры, необходимо оценить возможность дальнейших просадок при привлечении специализированной организации.

4.5.5. При полном затоплении карьера верхняя часть борта превращается в берег водоема. Под воздействием воды происходит переформирование берега из-за разуплотнения поверхностного слоя до текучего состояния и динамического действия прибойной волны. Необходимо оценить ширину зоны поверхностного слоя и время, через которое она будет сработана образовавшимся водоемом.

4.5.6. При неполном затоплении карьера, в зоне влияния которого находятся объекты инфраструктуры, необходимо разработать критерии безопасности, а также осуществлять мониторинг за устойчивостью бортов карьера на основе инструментальных маркшейдерских наблюдений, включающую в себя периодичность и точность выполняемых съемок. Дополнительно необходимо определить промежуток времени после ликвидации, в течение которого необходимо производить мониторинг. Разработка критериев безопасности и системы мониторинга производится специализированной организацией для каждого рассматриваемого объекта индивидуально.

4.5.7. При неполном затоплении карьера необходимо создать ограждения по периметру карьера за зоной влияния возможной призмы обрушения во избежание случайного попадания людей в потенциально опасную зону.

4.5.8. В случае, когда выработанное пространство остается незаполненным вскрышными породами или водой, борта карьеров, разрезов со временем могут подвергаться деформациям, оползням и обрушениям из-за физического и/или химического выветривания пород, слагающих массив, а также за счет повышения уровня воды в борте карьера. Для каждого карьера необходимо определить условия содержания карьера.

4.5.9. При ликвидации карьера дренирование подземных вод прекращается (если оно осуществлялось), вследствие чего произойдет естественное затопление карьера. При затоплении карьера в большинстве случаев наиболее опасный уровень воды составляет $1/3$ высоты борта.

4.5.10. При допустимом обрушении бортов карьера вследствие поднятия уровня воды необходимо обеспечить устойчивость бортов до момента вывода всех людей за зону влияния возможных деформаций при обрушении. Для этого производится расчет параметров ожидаемой деформации, максимальные смещения и их скорости, и определяется время начала активной стадии оползня.

5. Приложения

Приложение А – Примеры геомеханических рисков

А1. Деформации осыпания и камнепад

Риск камнепада часто имеет место в случае крутых углов уступов и/или участков борта между транспортными съездами или при большой высоте уступов. Чем большее количество уступов располагается между транспортными съездами, тем больше риск попадания камней на транспортный съезд или рабочий горизонт (рис. А1).



Рисунок А1 – Участок осыпания и камнепада на Ковдорском месторождении магнетит-апатитовых руд

Камнепады на высоких крутых уступах имеют большую скорость и кинетическую энергию, чем камнепады на низких пологих уступах. Камнепады на крутых откосах между съездами в большинстве своем скачкообразны и сохраняют темп. На более пологих откосах количество отскоков больше и движение в большей степени катящееся.

Одним из основных средств контроля данного риска является проектирование берм безопасности достаточной ширины, либо применения средств инженерной защиты (предохранительных валов или камнеулавливающих барьеров различной конструкции). Моделирование камнепада возможно осуществлять в специализированном программном обеспечении (рис. А2), при этом необходима калибровка с натурными условиями.

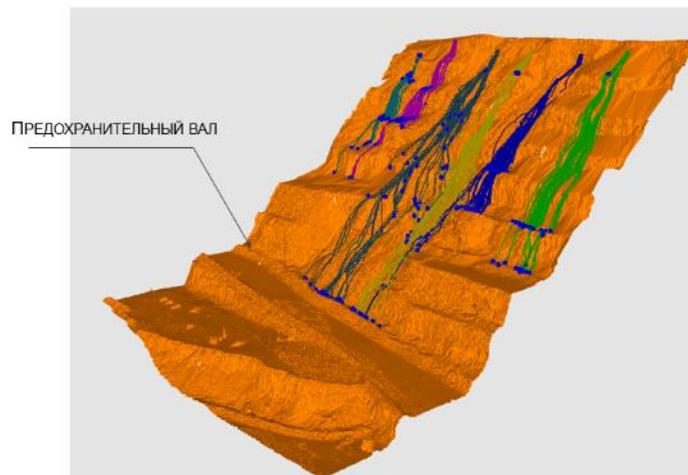


Рисунок А2 – Моделирование камнепада в программном обеспечении

Регулярные осмотры уступов и берм помогают определить эффективность улавливания камнепадов вдоль определенного уступа и выявить очаги их образования.

При эксплуатации карьера его сектора картируются по интенсивности/опасности камнепада и выносятся на общую карту геомеханических опасностей. Пример районирования по интенсивности камнепада представлен на рисунке. А3.

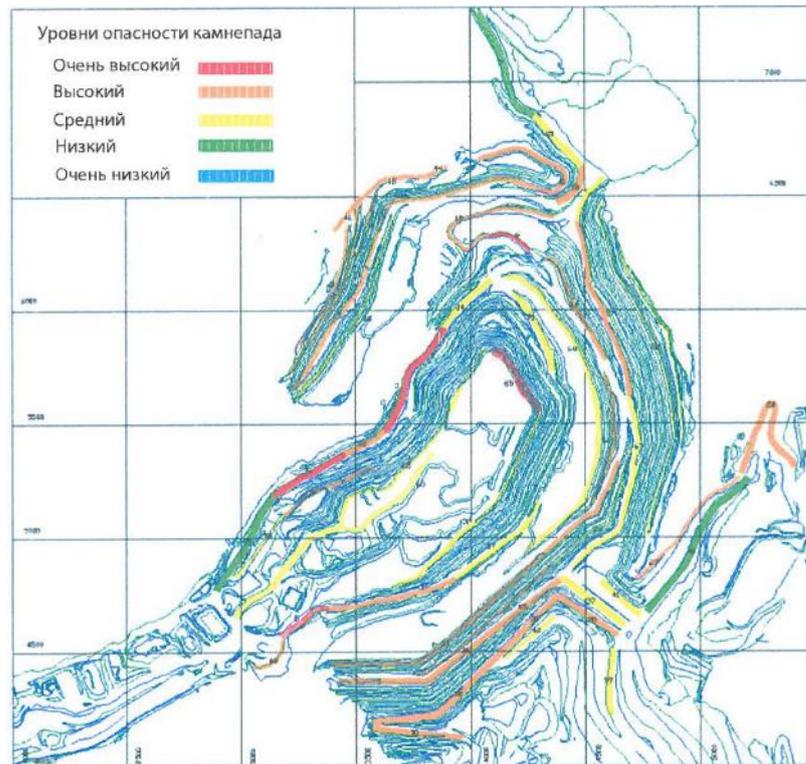


Рисунок А3 – Районирование по степени опасности камнепада

Данные уровни опасности камнепада оцениваются по совокупности следующих критериев:

- высота и угол откосов;
- проведение на вышележащих горизонтах горных работ;
- состояние улавливающих берм и проведение бульдозерных зачисток берм;

- состояние откосов уступов и интенсивность оборки;
- наличие и эффективность камнеулавливающих сооружений.

По мере изменения контура карьера результаты районирования периодически уточняются для общей оценки эффективности контроля камнепадов и определения необходимости дополнительных мероприятий по снижению рисков, которыми могут являться задание границы опасной зоны у нижней бровки откоса; установка камнеулавливающих и защитных сооружений и т.д.

В качестве примера выбора уровней опасности камнепада, приведена классификация в таблице А1.

Таблица А1 - Пример классификации опасностей камнепада

Ведутся ли выше горно-добычные работы?	Состояние уступов и бортов уступов	Состояние камнезащитной стенки	Уровень опасности
	ВЫБЕРИТЕ НАИХУДШИЙ ВАРИАНТ СОСТОЯНИЯ А ИЛИ Б		
НЕТ или на расстоянии более 40 м от верхней бровки	А Уступы не нарушены и зачищены	Хорошее	Очень низкий
	Б Хорошая оборка, нет неблагоприятной структуры	Среднее	Низкий
		Плохое	Средний
	А Уступы разрушаются и/или завалены до половины	Хорошее	Низкий
	Б Посредственная оборка, есть неблагоприятная или открытая структура	Среднее	Средний
		Плохое	Высокий
ДА	А Уступы не нарушены и зачищены	Хорошее	Низкий
	Б Хорошая оборка, нет неблагоприятной структуры	Среднее	Низкий
		Плохое	Средний
	А Уступы разрушаются и/или завалены до половины	Хорошее	Низкий
	Б Посредственная оборка, есть неблагоприятная или открытая структура	Среднее	Средний
		Плохое	Высокий
ДА	А Уступы разрушены и/или полностью завалены	Хорошее	Средний
	Б Плохая оборка, обрушения в пределах уступа, нависающие глыбы	Среднее	Высокий
		Плохое	Очень высокий

Для использования данной таблицы применяются следующие характеристики:

Оборка:

- хорошая – нет заколов, чистая бровка;
- удовлетворительная – некоторое количество заколов, чрезмерное увеличение породы у бровки;
- плохая – большое количество заколов, неровная и обрушающаяся бровка.

Состояние камнезащитной стенки:

- хорошее – стенка высотой >2 м. на расстоянии >5 м. от подошвы уступа;
- среднее – стенка высотой >2 м. на расстоянии 1-5 м. от подошвы уступа;

– плохое – отсутствие стенки или прерывающаяся стенка или стенка высотой 0,5 м или на расстоянии < 1 м. от подошвы уступа.

Данная классификация может быть модифицирована применительно к условиям месторождения. Необходимость установки камнезащитной стенки или применение других мероприятий для защиты от камнепада определяется по решению эксплуатирующей организации.

A2. Деформации уступов

В крепких скальных породах максимально достижимый генеральный угол борта во многом обуславливается конструктивными параметрами уступов и берм, в таких условиях обеспечение локальной устойчивости уступов имеет первостепенное значение. Для обеспечения минимальных рисков уступы не должны обрушаться слишком часто, а ширина берм должна быть достаточной, чтобы обеспечивать улавливающую способность в случае обрушения. В качестве примера - деформации уступов на карьере, глубиной 260 м (рис. А4).



Рисунок А4 – Деформации уступов на карьере

Основная проблема с устойчивостью данного карьера связана с обрушением уступов в западном борту. Это явилось результатом неблагоприятных структур под углом 55° . Потеря устойчивости по этим структурам в сочетании с ведением взрывных работ приводит к вывалам, объем которых может составлять от нескольких десятков, до нескольких тысяч м^3 .

Принципиальная схема расположения неблагоприятных структур для подобных месторождений представлена на рисунке рис. А5. При этом, деформации являются приповерхностными и затрагивают только уступы, так как угол борта карьера близок к

залеганию структур. При увеличении угла наклона борта возможна подрезка больших объемов породного массива.



Рисунок А5 – Структурная схема неблагоприятных структур для месторождений слоистого типа

Для своевременного реагирования на такие обрушения и остановку работ в опасных зонах, персонал карьера выполняет следующие меры:

- проводятся регулярные тренировки по эвакуации;
- визуальный осмотр карьера (каждая рабочая бригада после смены записывает свои наблюдения в журнал);
- геотехническое обследование бортов карьера (при помощи специализированного оборудования).

Другой пример устойчивого состояния уступов – вид участка борта карьера на месторождении магнетит-апатитовых руд (рис. А6). Даже при хорошем оформлении уступов в крепких скальных породах и при относительно благоприятном залегании структур могут происходить мелкие вывалы, нарушающие верхнюю бровку уступов. Однако, такие деформации не представляют геомеханических рисков, так как обеспечивается улавливающая способность берм.

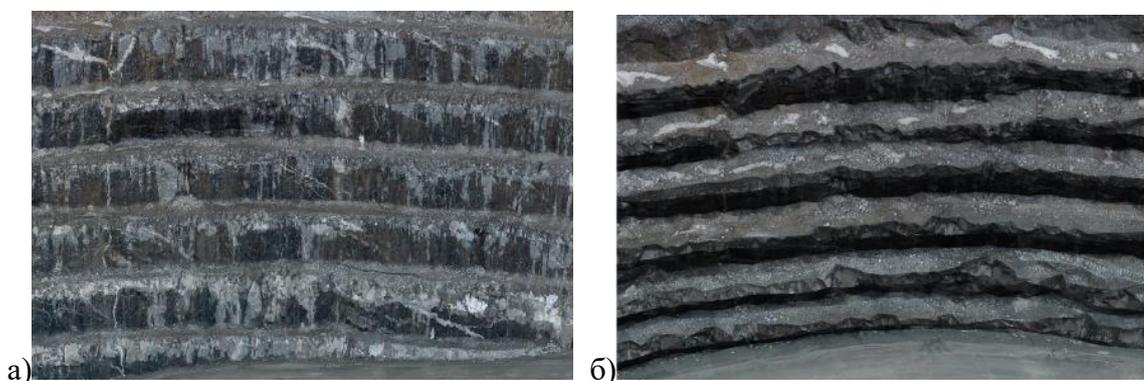


Рисунок А6 – Пример устойчивого состояния уступов: а) фронтальный вид, б) вид сверху

Одной из основных мер по снижению рисков обрушения уступов являются специальной технологии производства БВР в приконтурной зоне, которые заключаются в следующем:

- параметры БВР при обработке приконтурных зон и при формировании поверхности откосов погашаемых уступов должны гарантировать сохранность скального массива за плоскостью откоса формируемого уступа;
- угол наклона откоса уступа не должен иметь существенных (более 3...5°) отклонений от проектного значения;
- наибольшее распространение при формировании скальных откосов с крутыми углами наклона, обеспечивающих долговременную устойчивость, получил метод предварительного щелеобразования.

Для оценки результатов постановки уступов в предельное положение может использоваться метод контроля исполнения проектных параметров, который заключается в оценке корректности проектирования, ведения работ по рыхлению и выемке горных пород.

Методика работ заключается в определении следующих компонент:

- показатель результатов проектирования конфигурации уступа, (Df);
- фактическое состояние откосов (Fc).

Критерии оценки данных компонент в пределах 0-100% представлены в таблице А2 и наносятся на диаграмму на рисунке А7.

Таблица А2 – Компоненты оценки постановки уступов в проектное положение (Df, Fc)

Результаты проектирования (Df) конфигурации уступа			Состояние борта (Fc)							
Компонент (взвешенная величина)	Присвоенные величины	Примечания	Компонент (взвешенная величина)	Присвоенные величины	Примечания					
Угол откоса уступа (50%)	≥ проектной величины	50	Видимые следы оставшихся скажин (20%)	≥ 80%	20	Если следы оставшихся скажин видны только в нижней части уступа, снизить значение на 5-10 пунктов				
	Проектная величина – 3°	25		70-80%	15					
	Проектная величина – 5°	10		60-70%	12					
	Проектная величина – 10°	0		50-60%	8					
Ширина бермы (40%)	≥ проектной величины	40	30-50%	5	Повреждение ненарушенных пород (15%)	< 1/м³	15	Субъективная оценка, интерполяция в интервале 0-15		
	Проектная величина – 1 м	35	10-30%	2						
	Проектная величина – 2 м	25	< 10%	0						
	Проектная величина – 3 м	15	Открытые трещины (10%)	Все закрытые — 10 Много открытых — 0					10	Субъективная оценка, интерполяция в интервале 0-10
	Проектная величина – 5 м	0								
Положение подошвы уступа (10%)	По проекту	10	Профиль борта (20%)	Прямой Твердая подошва Зависание породы на бровке Неровная поверхность борта	20 1 5 0	Форма поверхности борта и основания для изменений				
	Проектная величина – 1 м	8					Состояние бровки уступа (15%)	Достигнуто необходимое состояние Разрушение < 1 м Разрушение 1-2 м Разрушение 2-3 м Разрушение > 3 м	15 12 1 5 0	При наличии несвязанных пород на бровке вычсть еще 0-5 пунктов
	Проектная величина – 2 м	5								
	Проектная величина – 3 м	0								



Рисунок А7 – Диаграмма для оценки результатов постановки уступов в проектное положение

Хорошим результатом считается, если оба коэффициента имеют значения выше 70%. Эта система является общей, ее необходимо корректировать применительно к специфическим условиям каждого объекта работ.

Рекомендуется составлять планы карьера с нанесением результатов оценки постановки уступов в проектное положение и при необходимости разрабатываются мероприятия по корректировке технологии ведения горных работ.

А3. Деформации групп уступов (макроблоки потенциального обрушения)

Наличие неблагоприятно ориентированных крупных геологических структур может привести к нарушению устойчивости породного массива в масштабе группы уступов и в масштабе всего борта. Примеры крупных деформаций откосов приведены на рисунке А8.

Макродеформации представляют наибольшую опасность для персонала и могут серьезно нарушить производственный процесс, в особенности, если они захватывают транспортные бермы и/или рабочие уступы.

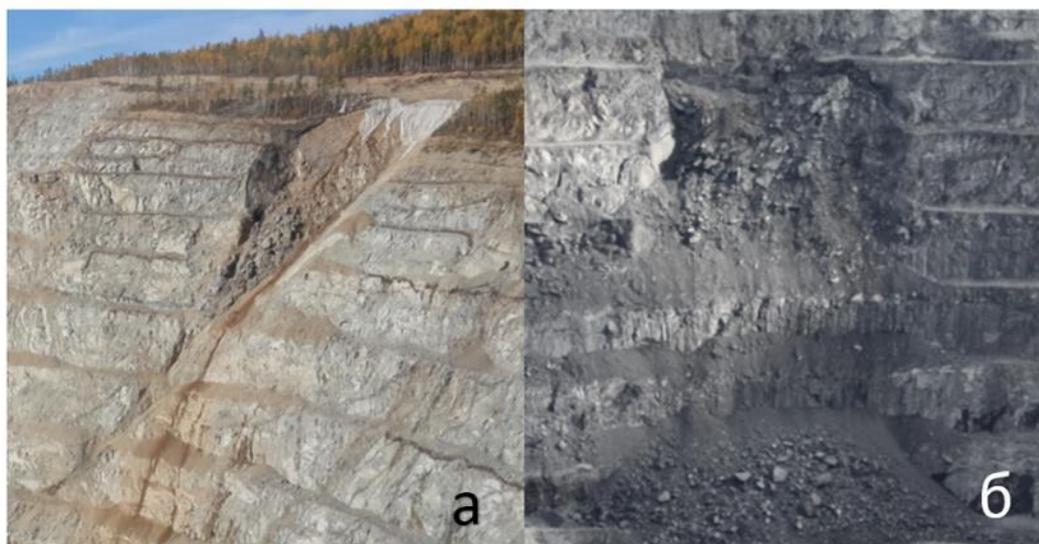


Рисунок А8 – Пример фактических макродеформаций: а, в - клиновидные деформация; б – деформация опрокидывания, г – плоская деформация

Пример макродеформации на карьере медно-цинкового месторождения представлен на рисунке А9.



Рисунок А.9 – Макродеформация на карьере медно-цинкового месторождения

На месторождении с глубиной разработки 525 м на участке Юго-Западного борта карьера в результате глубинного смещения массива сдвигание пород происходило по «желобу», образованному косесекущими крупными тектоническими трещинами. По вертикали деформация охватила массив с гор. 225 м до гор. 70 м; по горизонтали - до 30 м. Сцепление пород по тектоническим трещинам и между отдельными блоками почти отсутствует, деформирующиеся породы мелкотрещиноватые. Дальнейшее развитие этих деформаций привело бы к уничтожению капитального съезда на южном фланге карьера, для их прекращения был оставлен рудный целик в нижней части борта от гор. -20 м и ниже.

Пример макродеформации на карьере месторождении магнетит-апатитовых руд представлен на рисунке А10.

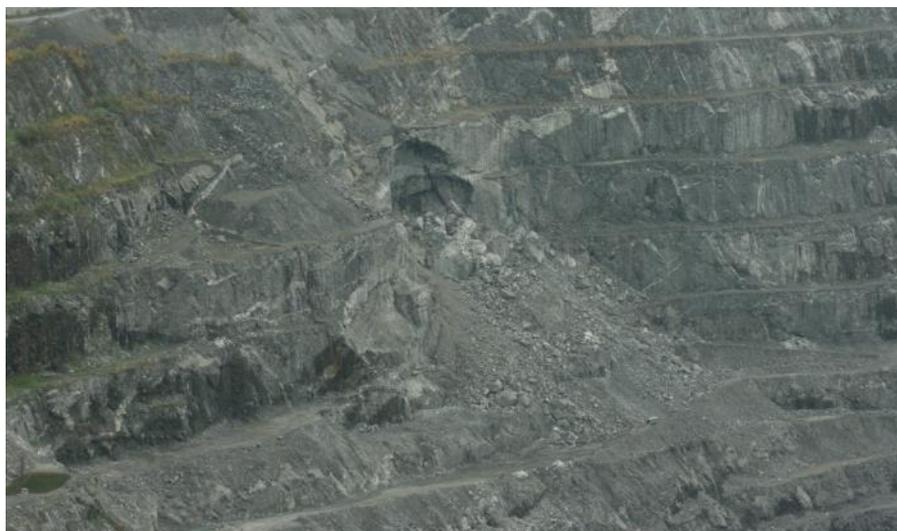


Рисунок А10 – Макродеформация на карьере магнетит-апатитовых руд

На месторождении с глубиной разработки 400 м (на момент происшедшей деформации) произошло обрушение участка восточного борта со следующими параметрами: длина по верхнему фронту 100 м, длина по нижнему фронту 170 м, высота обрушения 105 м, глубина 15 м, объём обрушившейся горной массы 100 тыс.м³. При этом персонал был своевременно выведен, однако нарушен режим работы на данном участке, создана угроза безопасности ведения горных работ. Обрушение произошло по плоскостям ослаблений, подсечёнными горными работами.

Основным методом для обобщения, интерпретации и визуализации геолого-структурных условий месторождений является каркасное геолого-структурное моделирование.

Макроклинья потенциальных обрушений могут формироваться как сочетанием разломов, так и сочетанием разлома с протяженными системами трещин. Также могут

возникать более сложные механизмы деформирования с участием различных поверхностей ослабления и слабых слоев.

В процессе анализа макродеформаций, все потенциальные макровывалы картируются на плане карьера (рис. А11) и по результатам оценки устойчивости даются рекомендации по необходимым изменениям в параметрах конструктивных элементов уступов или геометрии бортов карьера.

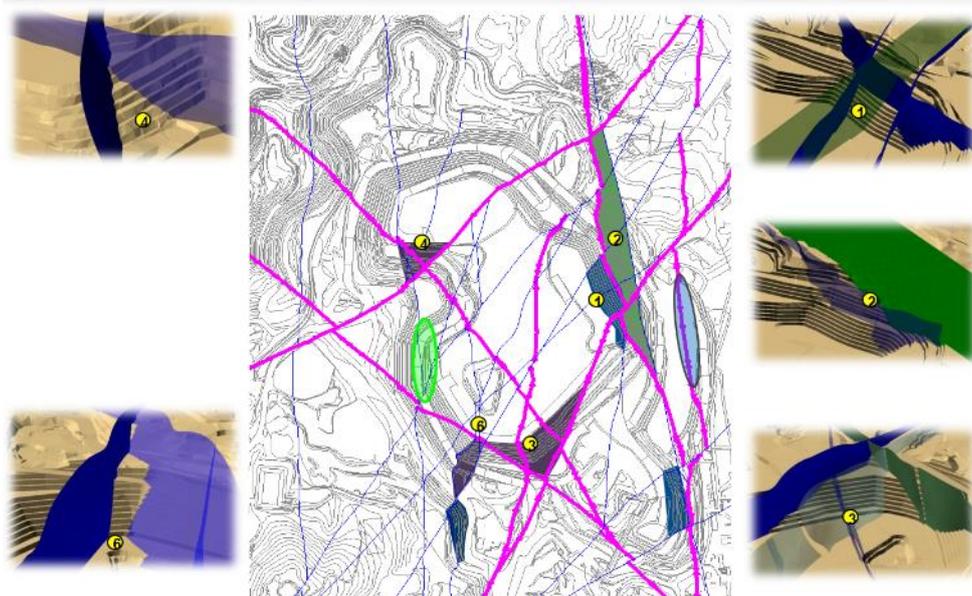


Рисунок А11 – Картирование потенциальных макровывалов в бортах карьера

В случае развития крупномасштабного нарушения устойчивости наиболее важным является документирование происходящих изменений для понимания механизма разрушения, а также для разработки планов мер по снижению рисков и корректирующих мероприятий. Тщательный мониторинг и фоторегистрация важны для правильной калибровки и подтверждения первоначальных моделей потенциальных деформаций.

В примере на рисунке А12 по результатам анализа устойчивости всех возможных макроблоков потенциального обрушения в поле проектного контура карьера выделены участки с малым, средним и высоким уровнем потенциального риска. Такой анализ может быть выполнен как количественно, с расчетом вероятности обрушения, так и качественно, на основе экспертных оценок наиболее неблагоприятных структур и поверхностей ослабления.

Данная карта с результатами районирования учитывается при организации мониторинга и выработке мероприятий по снижению геомеханических рисков.

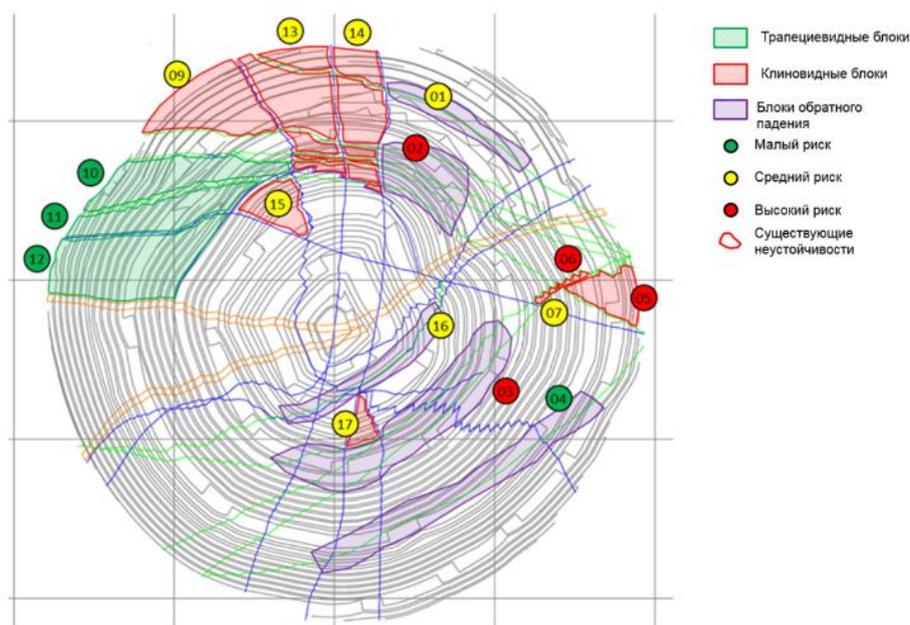


Рисунок А12 – Пример районирования карьера по уровню рисков макродеформаций

В рассмотренном примере величина геомеханического риска зависит от вероятности обрушения, которая может рассчитываться количественно для каждого макроблока потенциального обрушения. Потенциальное воздействие последствий от обрушений примерно одинаково в разных секторах карьера и характеризуется как средняя тяжесть последствий в связи с одним равномерно расположенным кольцевым транспортным съездом и отсутствием внутрикарьерной инфраструктуры в контуре карьера.

В примере на рисунке А13 неблагоприятный разлом F3_4 приводит к неустойчивому состоянию откоса (по разрезу S02) проектного контура карьера (рис. А13 слева). После корректировки борта в плане (рис. А13 справа) влияние разлома уменьшено, так как простирание откосов диагонально к простиранию разлома и по разрезам S02b, S02c подтверждено устойчивое состояние для данного участка карьера.

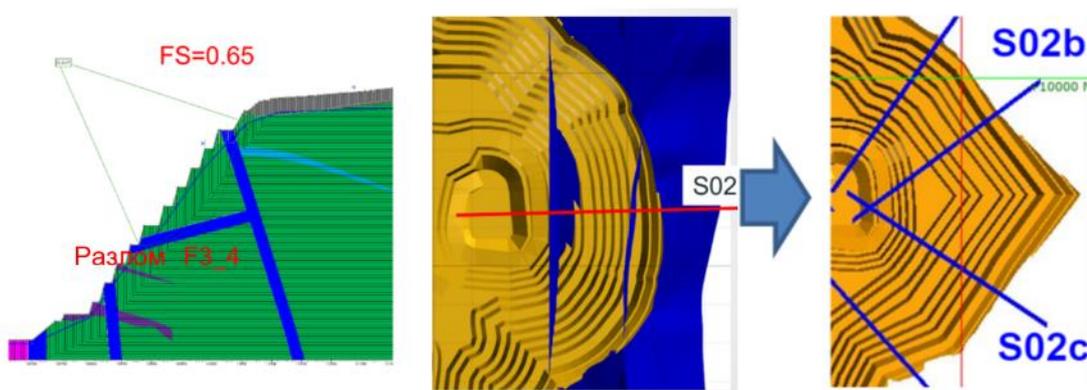


Рисунок А13 – Пример корректировки конфигурации борта в плане

А4. Деформации бортов карьера

Деформации бортов карьера могут иметь наиболее масштабные последствия.

В качестве примера, деформация борта полиметаллического карьера, имеющего глубину разработки: 1200 м. Горняки были готовы к неблагоприятному развитию событий, так как информация об опасном движении борта карьера поступала задолго до деформации, но принятые меры по её стабилизации результатов не дали и объем деформации превысил прогнозные значения, в результате чего пострадала техника и внутрикарьерная инфраструктура. После произошедшей деформации были предприняты меры по переносу некоторых административных зданий, находящихся у борта карьера и созданию дополнительного съезда (рис. А14).

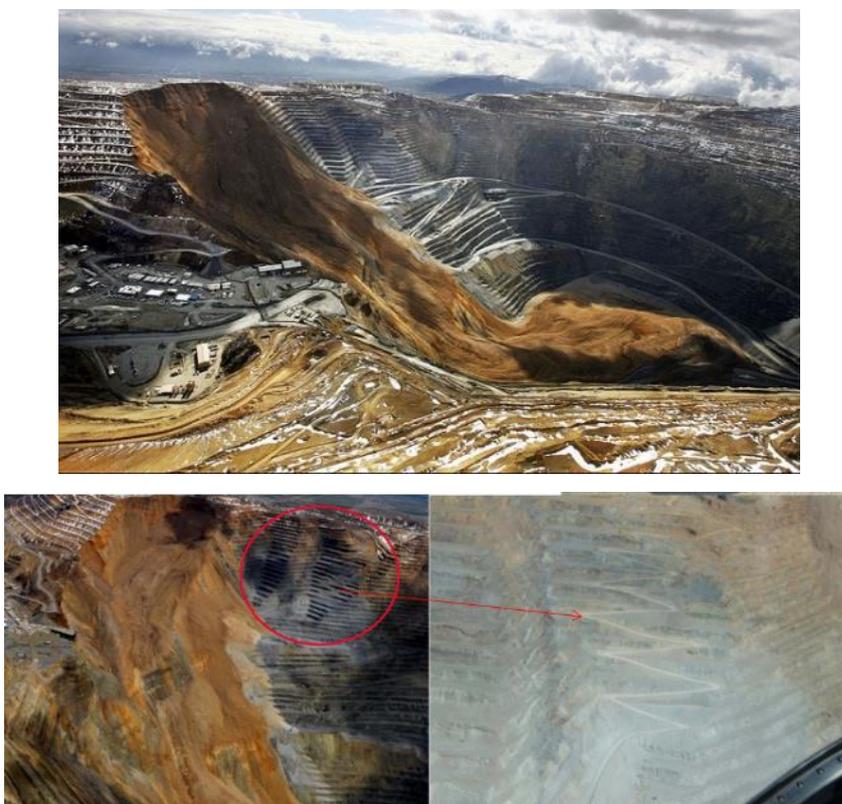


Рисунок А14 – Деформация борта полиметаллического карьера

После произошедшей деформации была усилена система мониторинга, в том числе с применением систем автоматизированного и глубинного мониторинга.

На рисунке А15 представлен пример расчета борта карьера, для которого на этапе проектирования был получен неустойчивый коэффициент запаса методом конечных элементов 0.78 в обводненном состоянии борта. После моделирования дренажных мероприятий (вертикальные скважины из топографической поверхности и горизонтальные скважины в центральной части борта) уровень подземных вод понизился, и коэффициент запаса увеличился до приемлемого значения 1.44.

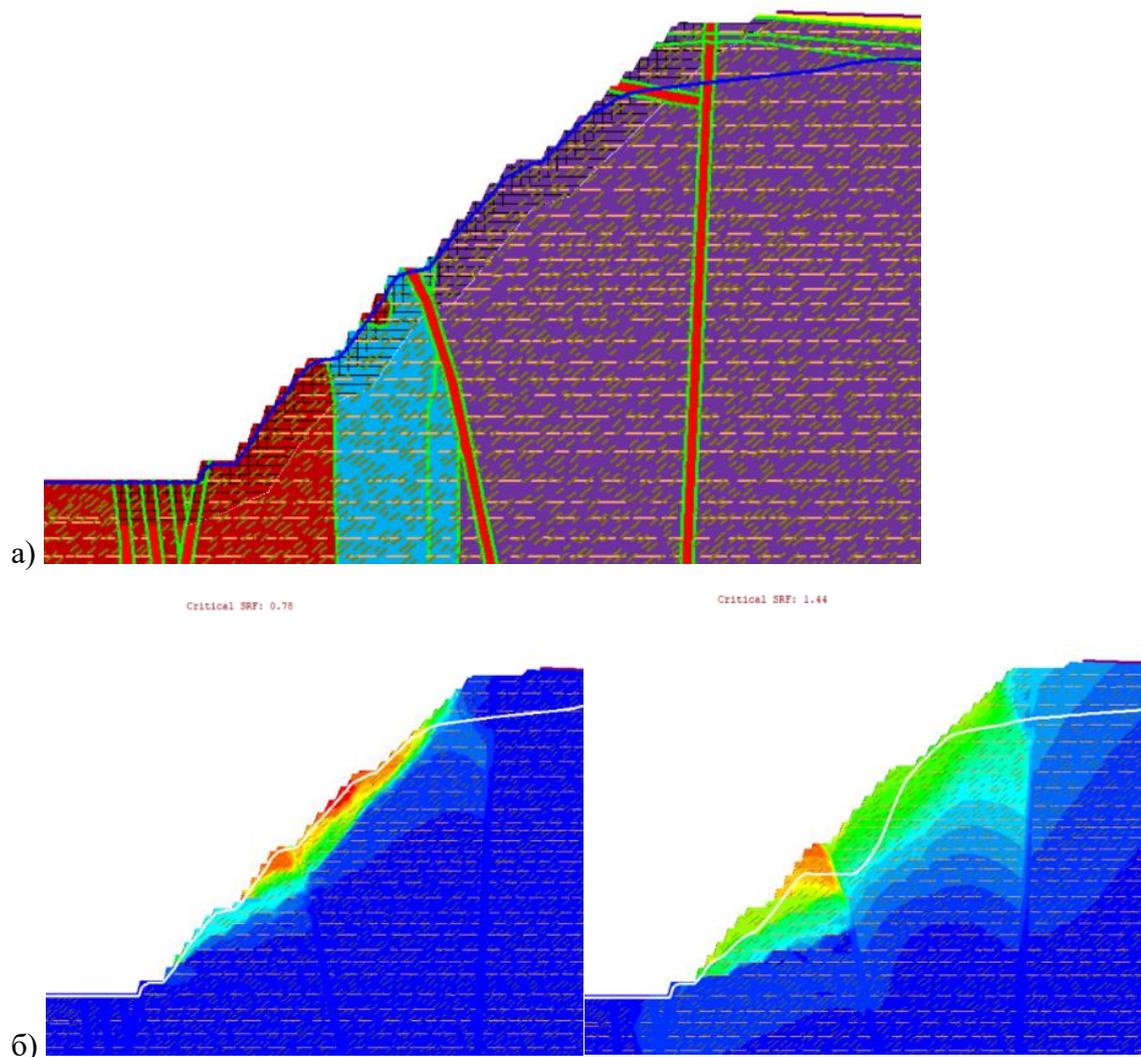


Рисунок А15 – Анализ устойчивости борта карьера с учетом внедрения дренажных мероприятий с изменением уровня подземных вод: а – расчетная модель, б – результаты расчетов в обводненном и дренированном состоянии борта (цветовой заливкой показаны максимальные смещения)

А5. Оползневые и бесконтактные деформации

На кимберлитовом месторождении глубиной разработки 320 м произошел оползень горной массы по контакту руда-порода (контактный оползень) (рис. А16), зона контакта была представлена системой субвертикальных трещин в переходной зоне (кимберлитовая трубка – вмещающие породы). Объем оползня составил сотни тыс. м³ на высоту 3х уступов (около 100 м). Деформация устранена путем последующей разnosки борта.

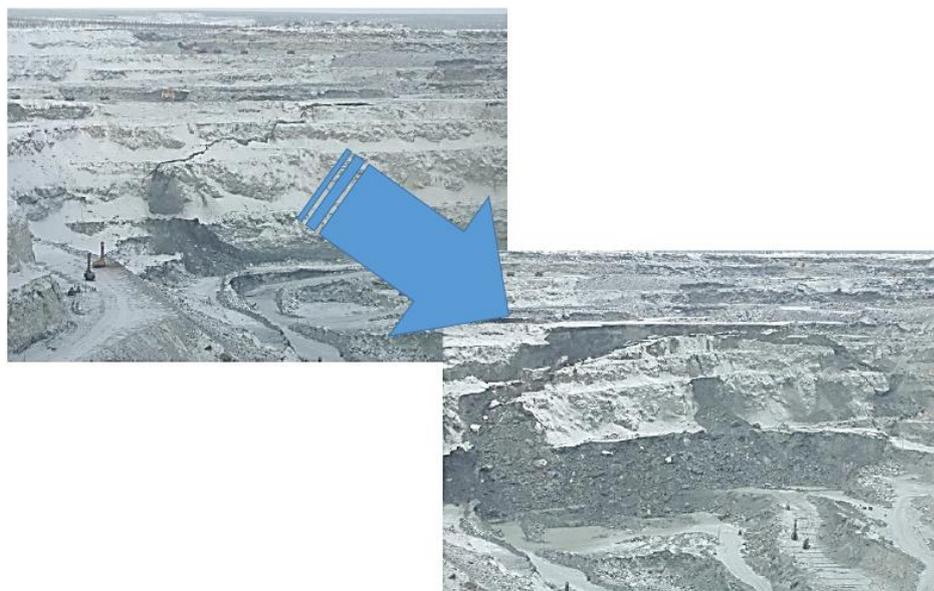


Рисунок А16 – Контактный оползень на карьере кимберлитового месторождения

После произошедших двух крупных оползней на угольном разрезе (рис. А17) были приняты превентивные меры контроля деформаций в виде организации системы непрерывного контроля с использованием радара. В дальнейшем, установленной системой в месте оползня фиксировались новые подвижки. Использование системы позволило персоналу управлять геомеханическими рисками во время ликвидации аварии.



Рисунок А17 – Оползень на угольном разрезе

Другой пример фиксирования крупных оползневых процессов на угольном разрезе показан на рисунке А18.



Рисунок А18 – Оползень на угольном разрезе

Для снижения рисков оползневых явлений на карьерах необходимо уточнять свойства породного массива ослабленных участков с обоснованием их устойчивости. Оползням зачастую способствует обводнение откоса, поэтому организация дренажных мероприятий является одним из основных мероприятий по стабилизации откоса.

Другим мероприятием по стабилизации оползней является пригрузка бортов и уступов в рыхлых отложениях скальной дробленой породой (рис. А19).

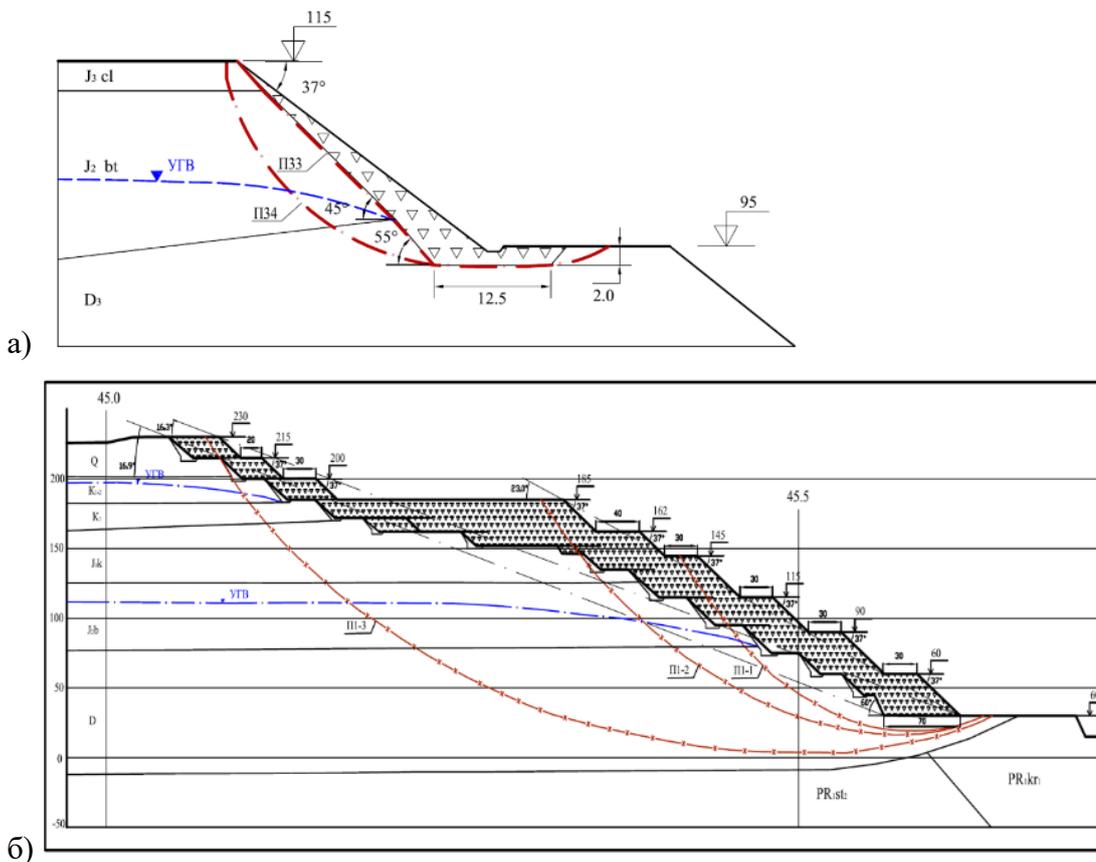


Рисунок А19 – Пример пригрузки уступа (а) и борта (б) в рыхлых породах скальными породами

А6. Деформации, связанные с наличием подземных горных выработок (пустот)

Деформация, связанная с подземной подработкой, произошла в борту карьера медного месторождения глубиной разработки около 800 м (рис. А20).

В результате перехода с открытого на подземный способ разработки с применением метода блокового обрушения в карьере возник обвал борта карьера (130 млн. т). На этапе перехода к подземному способу разработки при моделировании параметров зон сдвижений (воронки обрушения, обрушений и заколов, трещинообразований, опасных сдвижений, зоны сдвижения земной поверхности) были недооценены деформации породного массива, в том числе и по причине не корректного учета влияния крупной разломной структуры. Это в итоге привело к деформациям стенок стволов, расположенных в борту карьера.



Рисунок А20 – Деформация, связанная с подземной подработкой на карьере медного месторождения

На карьере полиметаллического месторождения (отработка меди, железа) глубиной разработки 410 м из-за подрезки горными работами предохранительного целика в основании северного борта карьера произошёл крупный оползень шириной более 400 м для борта высотой 200 м. Объём оползня составил 3,5 млн.м³ (рис. А21).

В настоящее время карьер законсервирован в связи с происходящими на северном борту оползневыми явлениями. Оставшаяся часть рудного тела обрабатывается подземным способом.



Рисунок А21 – Пример оползня, связанного с подземной подработкой на карьере полиметаллического месторождения

На месторождении с обработкой открыто-подземным способом для исключения взаимовлияния открытого и подземного способа предусмотрено оставление предохранительного целика.

В связи с принятой на месторождении системой обработки этажного принудительного обрушения, на земной поверхности стали образовываться просадки и провалы до 5,5 м (рис. А22).

Особо крупные провалы впоследствии были засыпаны. Максимальные скорости смещения по профилям наблюдательной станции составляли порядка 400 мм/год.

Провалы на земной поверхности повлекли за собой увеличение водопритоков в выработки, достигающие 5200 м³/час. Провалы преимущественно имели место в пределах распространения сквозных таликов, что в свою очередь обуславливает значимость качества данных, используемых для картирования контуров границ таликовых зон.

В таких случаях требуется изучать информацию о провалах совместно с данными о водопритоках и оценивать влияние отработки на гидродинамический режим подземных вод.

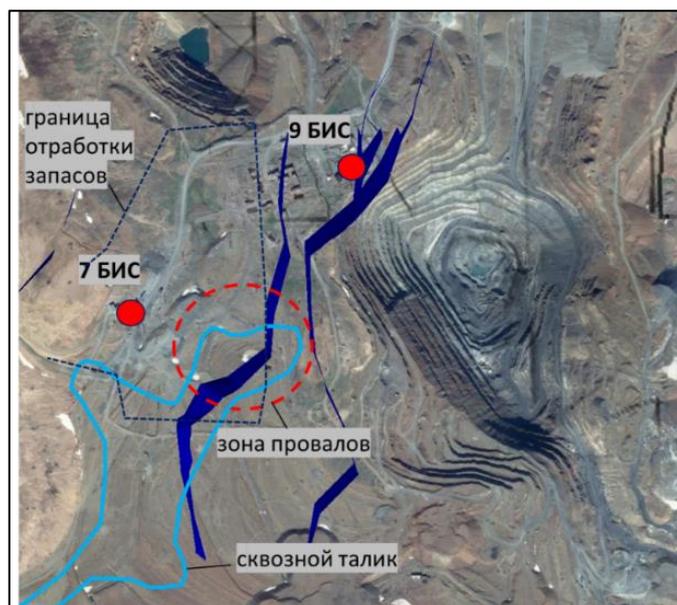


Рисунок А22 – Зона провалов на земной поверхности месторождения с отработкой открыто-подземным способом

На рисунке А23 представлен пример, когда обрушение старой угольной выработки (камерно-столбовая система разработки) привело к деформациям дна разреза месторождения.



Рисунок А23 – Обрушение дна карьера из-за заброшенных подземных выработок

Для контроля геомеханических рисков связанных с наличием подземных горных выработок (пустот) необходимо иметь полную информацию об их расположении в пространстве по отношению к проектному контуру карьера.

Зона влияния подземных выработок на борта карьера оценивается путем отстройки от них углов сдвижений. Возможность подработки борта подземными горными работами оценивается по результатам численного моделирования.

А7. Фильтрационные деформации

В качестве примера, на карьере полиметаллического месторождения (разработка меди, золота, серебра), глубиной разработки 550 м, в период дождей произошло обрушение южного борта карьера (рис. А24). На некоторое время после инцидента работы на руднике были прекращены, велось расследование по установлению причин аварии в результате случившегося оползня.



Рисунок А24 – Фильтрационная деформация на полиметаллическом карьере

В результате обрушения добываемые руды оказались разубоженными грязевой массой с катастрофически низкими содержаниями золота и меди. На ликвидацию последствий аварий потребовалось длительное время и финансовые ресурсы.

При склонности пород к размоканию и фильтрационным деформациям важна организация дренажа бортов карьера.

А8. Природные обвалы, снежные лавины, сели

Такие геомеханические риски могут возникнуть в условиях гористого рельефа, при отработке нагорного участка. Риски природных обвалов, лавин, селей фиксируются если они могут образоваться в пределах горного отвода.

Для снижения таких рисков может использоваться комплекс мероприятий, связанный с искусственным укреплением приповерхностной части откосов, частичным изменением геометрических элементов бортов, использованием перехватывающих и улавливающих систем (рассмотрены в разделе 4.1 настоящего руководства).

А9. Деформации в многолетнемерзлых породах

Пример деформации борта карьера в многомерзлых породах (отработка золота) представлен на рисунке А25.



Рисунок А25 – Деформации борта карьера в многомерзлых породах

Деформация произошла с обрушением горной массы на экскаватор ЭКГ-5А. Согласно выводам комиссии, основной причиной аварии явилось насыщение грунтовыми водами талых слоев породы прибортового массива, что привело к внутреннему сдвигу пород под мерзлой коркой откоса.

Для контроля подобных геомеханических рисков необходимо уточнение гидрогеологических условий месторождения, выявление напорных горизонтов, установление границ зоны промерзания пород и учет этих факторов при обосновании устойчивости.

А10. Деформации отвалов

Пример оползня на отвале угольного разреза представлен на рисунке А26.



Рисунок А26 – Оползень на отвале угольного разреза

Пример деформации отвала карьера по добыче золота представлен на рисунке А27. Отвал расположен непосредственно над государственной трассой. Высота отвала 128 м, угол откоса 18 град.



Рисунок А27 – Деформация породного отвала карьера

Геомеханические риски возникают на действующих отвалах в зоне ведения горных работ и в случае, если в зоне возможного оползания отвала располагается инфраструктура обрабатываемого месторождения.

На угольных разрезах при отсыпке отвалов со стороны лежачего бока типичной формой деформации является сдвигание по угольным пластам в основании отвала (рис. А28). Выдавливание основания у нижней бровки является индикатором

возникновения сдвиговых деформаций. Факторы, которые могут существенно увеличить риск деформирования отвала при такой схеме – это слабые свойства породной перемычки в основании отвала, обводненность тела отвала и его основания.

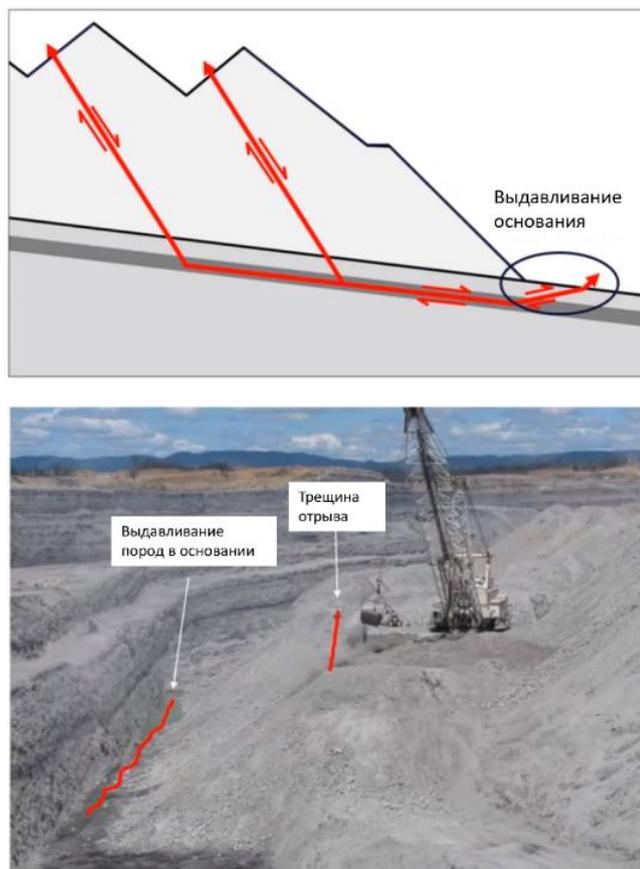


Рисунок А28 – Схема деформирования породного отвала угольного разреза

А11. Деформации при сейсмическом воздействии землетрясений

В качестве примера данного геомеханического риска представлена деформация при сейсмическом воздействии землетрясения на южном борту карьера (разработка золота, серебра) при глубине разработки 400 м (рис. А29). Обрушение перекрыло движение к подземным порталам месторождения, но не повлияло на подземную отработку, которая была остановлена только на период расследования, в то время как добыча открытым способом продолжалась.

Предположительно, подвижка борта явилось следствием небольшого землетрясением за 2 дня до обрушения. Землетрясение было 3,4 балла по шкале Рихтера и находилось в 34 километрах к северу от карьера.



Рисунок А29 – Деформация при сейсмическом воздействии землетрясения на карьере

Геомеханические риски на карьерах, связанные с сейсмическим воздействием землетрясений относительно редки, поэтому их учет необходим только в районах с сейсмичностью 7 и более баллов по шкале MSK-64.

Приложение Б – Пример идентификации рисков

Примерная форма реестра выявленных рисков представлена в таблице Б1. Оценка риска с определением категории по матрице рисков может быть показана как до, так и после успешного реализации мер по снижению риска.

Таблица Б1 – Пример реестра рисков

Риски деформаций	Потенциально опасные факторы	Категория риска (по матрице рисков)	Планируемые меры по уменьшению риска	Примечание
Группа уступов в восточном борту проектного контура карьера (гор. +340 - +280)	<ul style="list-style-type: none"> Разлом неблагоприятного залегания к откосу 	Высокий	<ul style="list-style-type: none"> Бурение геомеханических скважин для уточнения положения разлома Геомеханический анализ устойчивости после доизучения участка Организация автоматизированного мониторинга 	По результатам внедрения мероприятий планируется снижение уровня риска. При отсутствии ожидаемого эффекта может потребоваться локальная корректировка проекта.
Уступы в юго-западном борту	<ul style="list-style-type: none"> Слоистость, подсекающая откосы уступов 	Средний	<ul style="list-style-type: none"> Организация специальных методов взрывания при подходе к проектному контуру Отбор образцов и доизучение свойств контактов по слоистости Зачистка берм, оборка заколов. Установка заградительных барьеров 	При интенсификации вывалов, на рабочей площадке устанавливается опасная зона и работы производятся по специальным нарядам-допускам
Группа уступов высотой 210 м. в северном борту проектного контура карьера (гор. +300 - +90)	<ul style="list-style-type: none"> Камнепад Возможность проскакивания обрушаемого материала на рабочую площадку / транспортный съезд 	Средний	<ul style="list-style-type: none"> Визуальный мониторинг и фотограмметрия участка Установка камнеулавливающих сооружений и заградительных барьеров Крепление откосов сеткой. При увеличении объема обрушений дополнительно предусмотреть анкерное крепление 	При интенсификации камнепада, на рабочей площадке устанавливается опасная зона и работы производятся по специальным нарядам-допускам
Деформирование отвала (южный сектор)	<ul style="list-style-type: none"> Размещение отвала на слабом слое в основании Обводненность основания 	Средний	<ul style="list-style-type: none"> Геомеханический анализ устойчивости Технология отсыпки отвала, обеспечивающая уплотнение нижнего слоя (предотвал) Организация водоотводных канав по контуру отвала Организация мониторинга 	-

Пример плана опасных участков по видам и уровням основных геомеханических рисков представлен на рисунке Б1. Районирование осуществлено на основе комплексного анализа, состоящего из визуального и инструментального мониторинга, исследования геологических структур и программного моделирования деформаций.

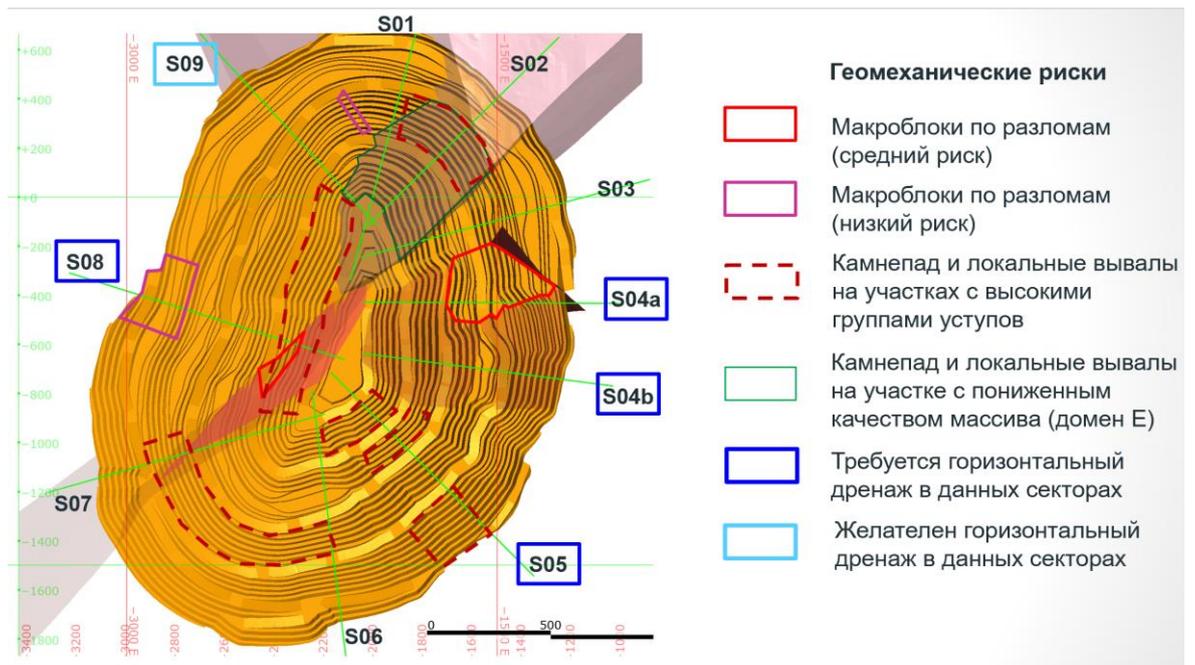


Рисунок Б1 – Пример плана опасных участков карьера по видам и уровням геомеханических рисков

Приложение В – Методика оценки риска для персонала, техники, объектов инфраструктуры

При оценке риска для персонала, техники, объектов инфраструктуры геомеханический риск может быть оценен по расширенной формуле:

$$P(\text{год}) = \text{ВО} * \text{ВН} * \text{ВВ} * \text{ТП}, \quad (\text{В.1})$$

где: $P(\text{год})$ – годовой риск (потери жизни, потери оборудования, экономических потерь); ВО – вероятность существования источника геотехнической опасности (обрушения, вывала, оползня, камнепада); ВН – вероятность нахождения человека (техники, части инфраструктуры) на пути возможной траектории источника опасности; ВВ – временная вероятность контакта человека (техники, части инфраструктуры) с источником опасности; ТП – тяжесть последствий, уязвимость (человека) или стоимость (техники, инфраструктуры, простоя по причине зачистки, остановки предприятия на длительный срок) или последствия от деформаций.

По мере углубления карьеров и увеличения их площади отработка ведется на нескольких участках, что увеличивает вероятность попадания людей в зону потенциальных деформаций. Если не контролировать растущие опасности и увеличение количества персонала в карьере, это может привести к увеличению риска.

Если рассчитанный по приведенной формуле геомеханический риск на каком-либо участке борта карьера или подземной выработки (при её наличии) превышает критерий приемлемости, принятый для данного карьера, разрабатываются соответствующие мероприятия по минимизации риска до тех пор, пока критерий приемлемости не будет удовлетворен. Уровень риска для персонала, техники, объекта инфраструктуры определяется на основе матрицы рисков с частотной характеристикой (рис. В1).

Матрица рисков		Последствия					
		Незначительные	Низкие	Средние	Высокие	Чрезвычайные	
Вероятность риска		1	2	3	4	5	
Качественная		Теоретическая частота	1	2	3	4	5
A	Очень высокая – Событие происходит постоянно с высокой степенью определенности. Произойдет с очень высокой степенью определенности.	>10 раз за год	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий	Очень высокий
B	Высокая – Событие происходит часто с высокой степенью определенности. Произойдет с высокой степенью определенности	От 1 до 10 раз за год	Низкий	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий
C	Средняя – Событие может произойти. Происходило ранее.	1 раз в 1-10 лет	Низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
D	Низкая – Маловероятное событие. Может произойти в определенный момент.	1 раз в 10-100 лет	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
E	Очень низкая – Разумная уверенность, что событие не произойдет. Может произойти в исключительных обстоятельствах.	1 раз за более, чем 100 лет	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Высокий

Рисунок В1 – Матрица рисков для анализа безопасности персонала

При анализе последствий для безопасности персонала их тяжесть имеет следующие качественные характеристики:

- незначительный – отсутствие травм;
- низкий – оказание первой помощи;
- средний – травмы, требующие медицинского вмешательства;
- высокий – обширные травмы/ постоянная нетрудоспособность;
- чрезвычайный – летальный исход.

Оценка рисков для персонала может использоваться при эксплуатации опасного производственного объекта при организации риск менеджмента и основывается на имеющейся статистике травматизма и несчастных случаев с целью снизить эти значения в последующие периоды отработки.

При оценке геомеханических рисков на этапе проектирования, наличие потенциальной угрозы жизни и здоровью людей должно характеризоваться чрезвычайной категорией последствий и полностью исключаться внедряемыми мероприятиями.

Наиболее надежный метод снижения геотехнического риска – это уменьшение величин ВН и ВВ. Для управления параметром ВН необходимо локализовать источники опасности в карьере с целью минимизации нахождения персонала или особый режим работы в таких участках (рис. В2).



Рисунок В2 – Управление рисками путем минимизации нахождения персонала в конкретном месте, где происходит опасное событие (параметр ВН)

Для управления параметром ВВ необходимо потенциально опасные участки покрыть системой оперативного мониторинга устойчивости. В современных условиях наиболее эффективным методом является радарное сканирование (рис. В3).



Рисунок В3 – Управление рисками путем прогнозирования точного времени момента обрушения, чтобы вовремя эвакуировать персонал (параметр ВВ)

Полное исключение риска достигается обнулением этих двух параметров ВН и ВВ, что возможно при полном выводе людей из опасной зоны и использования автономного оборудования.

Значительно более сложным с позиции управления риском является параметр ВО – вероятность существования источника опасности. Его можно выразить численно только в результате проведения значительного объема геомеханических исследований породного массива в целях оценки геолого-структурного строения, порового давления, граничных условий, а также выполнив расчеты устойчивости с применением различных методов – аналитических, вероятностных, численных. Это именно тот параметр, на изучение которого выделяется наибольший объем средств и затрачивается наибольшее количество времени, поскольку именно он влияет на принятие решений по проектированию конструктивных элементов выработок в самом начале отработки месторождения, следовательно, он должен быть оценен как можно раньше и с максимально возможной достоверностью в целях обеспечения проектной устойчивости горной выработки. Один из принципиальных, но затратных способов минимизации параметра ВО является крепление откоса (рис. В4).



Рисунок В4 – Управление рисками путем устранения опасности (параметр РН)

Для снижения уязвимости (тяжести последствий - ТП) используются средства индивидуальной защиты и карьерная техника, в исполнении по стандартам пассивной безопасности оператора (ROPS-FOPS), способные защитить от мелких вывалов. Однако, эти меры далеко не всегда оказываются достаточными для защиты от негативного воздействия деформаций (рис. В5).



Рисунок В5 – Управление рисками путем снижения уязвимости (последствий) от возможных деформаций (параметр ТП)

В разделе 4 настоящего руководства рассмотрены стабилизирующие и компенсирующие мероприятия, внедрение которых способно снизить вероятность и последствия от возможных деформаций.

Приложение Г – Рекомендации по созданию геомеханической службы

Для решения геомеханических задач нужны квалифицированные специалисты, обладающие широким кругозором, обширными специальными знаниями, практическим опытом в области геомеханики.

Геомеханическая служба решает следующие задачи:

- обследование карьера для оценки текущей геомеханической ситуации, соответствия проектных решений реальным горно-геологическим условиям;
- сбор геомеханических данных с поверхности откосов карьера и по керну скважин;
- анализ физико-механических свойств пород и параметры трещиноватости массива;
- систематизация собранных данных в базу данных по месторождению;
- расчеты устойчивости бортов и уступов карьера, разреза и отвалов;
- установление причин произошедших деформаций, анализ их общих закономерностей, прогноз и тенденции их дальнейшего развития;
- изучение источников опасных факторов, оценка рисков развития деформаций и разработка рекомендаций по управлению ими;
- организация наблюдения за устойчивостью бортов и уступов карьера, за сдвижением земной поверхности, сохранностью подрабатываемых объектов и сооружений на ней;
- участие в планировании, проведении и оценке результатов опытно-промышленных работ по изменению параметров горных выработок, технологии добычи;
- оценка качества заоткосных работ и повреждения законтурного массива взрывными работами.

Геомеханическую службу на месторождении подразделяется на группу мониторинга и аналитическую группу. Пример структуры геомеханической службы минимальной комплектации представлен на рисунке Г1.

Группа мониторинга располагается непосредственно на объекте (полевая группа), тогда как аналитическая группа может находиться в удалении от месторождения.

Состав группы и должностные обязанности утверждает технический руководитель эксплуатирующей организации. Специализированные организации могут привлекаться к работе группы по решению технического руководителя эксплуатирующей организации.

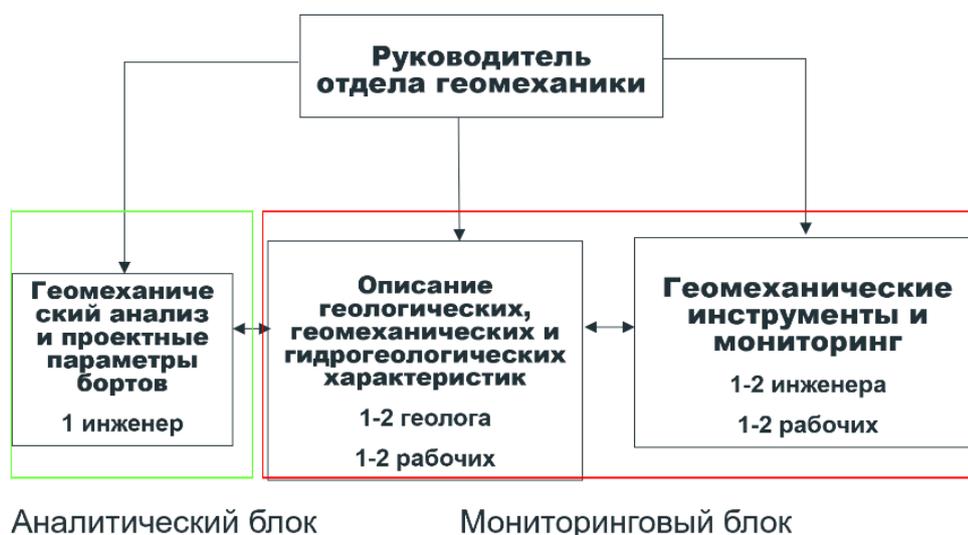


Рисунок Г1 – Пример структуры геомеханической службы

Для проведения геомеханического анализа рекомендуется предусмотреть приобретение программных продуктов, обеспечивающих решение геомеханических задач, примерный перечень которых представлен ниже:

- анализ и обработка прочностных свойств пород и руд;
- анализ и обработка структурных данных с возможностью кинематического анализа;
- анализ различных механизмов обрушения откосов: по одной плоскости, клиновидный, обратное обрушение;
- детерминированный или вероятностный анализ обрушений уступов;
- анализ устойчивости откосов методом предельного равновесия с возможностью использования анизотропии (2D);
- анализ устойчивости методом конечных элементов (2D);
- сбор и обработка структурных данных фотограмметрическим способом.
- визуализация и трехмерное представление геомеханической модели месторождения.

Персонал геомеханической службы должен обладать техническими навыками работы с программными продуктами, а также владеть общими знаниями и принципами в той или иной области. Специалистам геомеханической службы рекомендуется проходить курсы повышения квалификации по различным направлениям – структурная геология, геомеханика, буровзрывные работы, мониторинг и другие.

Приложение Д – Паспортизация деформаций

При визуальной или инструментальной фиксации на наблюдаемом участке составляется паспорт деформации, который должен содержать всю накапливаемую информацию о развитии деформаций, ведении горных работ на участке, изменении инженерно-геологических условий и степени устойчивости борта, уступа или отвала. Документируются все нарушения устойчивости откосов карьеров, разрезов и отвалов, а также нарушения устойчивости прилегающих природных склонов, объемом свыше 1 тыс. м³ или площадью более 500 м².

Паспорт составляется геолого-маркшейдерской или геомеханической службой, на основании инструментальных маркшейдерских, инженерно-геологических и гидрогеологических съемок и проектно-изыскательской документации не позднее чем в месячный срок с момента возникновения деформации. По мере развития деформаций этот паспорт периодически пополняется.

Паспорт деформации должен включать следующую информацию:

- объект деформации, его месторасположение, дата возникновения деформации, вид деформации, обстоятельства возникновения деформации;
- краткая инженерно-геологическая характеристика участка и горнотехнические условия его отработки;
- линейные размеры зоны деформации, объем нарушенного участка массива, величины смещений;
- проектные и фактические параметры откоса в районе деформации, время стояния откоса или отвала до появления деформаций;
- наблюдения, проводимые на участке;
- ущерб, причиненный деформацией;
- причины возникновения деформаций и меры, принятые для предупреждения развития деформации;
- должностные лица, привлеченные к выяснению причин и разработке по ликвидации опасной зоны.

К паспорту деформации прилагаются графические приложения (план, геологические разрезы с нанесением горной обстановки, графики смещений, деформаций, скоростей смещений и т.д.), фотоматериалы, при наличии – трехмерные цифровые модели участка до и после развития деформационных процессов.

Пример Паспорта деформации:

1. Объект деформации: уступ горизонта 369 м северо-восточного борта.
2. Дата: 17.08.20 г.

3. Размеры обрушения:

- длина по фронту 80 м;
- глубина развития ср.3,0 м, макс.5,0 м;
- величина смещения ср.3,0 м, макс.10,0 м;
- объем - 2000 м³.

4. Параметры деформированного откоса:

- проектные: высота 20 м, угол откоса уступа 60°;
- фактические: до деформации 20 м, угол откоса уступа 51-56°, отдельные участки уступа до 62°.

5. Время стояния откоса до обрушения: 2 часа.

6. Скорость движения деформированных масс: свободное обрушение.

7. Наблюдения, проводимые на участке: линейные промеры и нивелировка профильных линий.

8. Ранее имевшиеся нарушения устойчивости на этом участке, горизонте: обрушение верхней части уступа горизонта 369 м объемом 150 м³, произошедшее 15.05.20 г.

9. Ущерб, причиненный обрушением: уборка горной массы, ремонт экскаватора.

10. Горнотехнические условия отработки участка: рабочие уступы высотой 10 м отрабатываются экскаватором ЭКГ-4,6; при погашении уступы сдвигаются; транспорт автомобильный.

11. Краткая инженерно-геологическая характеристика участка: участок обрушившегося уступа сложен выветрелыми серпентинитами зеленовато-серого цвета, слабой крепости, без прожилков и желваков магнезита; породы характеризуются повышенной влажностью.

12. Причины обрушения: несоответствие проектного угла откоса физико-механическим свойствам пород.

13. Меры, принятые для предупреждения и ликвидации обрушения: произведена оборка и заоткоска уступа; ограничен объем одновременно взрываваемой горной массы; применяется короткозамедленное взрывание; произведена уборка обрушенной массы. Предлагается: изменить схему расположения автомобильного заезда, расположив его в наиболее устойчивой юго-восточной части карьера; произвести отвод вод, откачиваемых из карьера; произвести исследования устойчивости откосов уступов карьеров рудоуправления.

14. Дополнительные сведения.

15. Должностные лица, привлеченные к выяснению причин и разработке мер по ликвидации обрушения.

16. Графические приложения к паспорту деформации: план участка, разрезы, фотографии.

Приложение Е – Примеры уровней геомеханических опасностей для визуальной оценки

Индикаторы опасных факторов	Уровень 1 - Внимание	Уровень 2 - Опасно	Уровень 3 - СТОП
1. Трещины отрыва (заколы)	Трещины немногочисленные. Раскрытие до 5 см. Ширина раскрытия трещин без изменений с течением времени.	Раскрытие существующих трещин от 5 до 10 см, формирование новых трещин отрыва у верхней бровки/на откосе/у нижней бровки уступа за короткий период.	Резкое повышение ширины раскрытия (более 10 см), обрушение отдельных блоков пород у верхней бровки/на откосе/у нижней бровки уступа за короткий период. Угроза обрушения.
2. Повышение частоты осыпей	Редкие осыпи по уступу/участку борта (1-2 за смену). Высота уступа 5 метров и меньше.	Частые осыпи по уступу/участку борта (1-2 за час)	Частые осыпи по уступу/участку борта (1-2 за 30 мин). Осыпания происходят и на соседних участках уступа/борта.
3. Наличие обрушившихся пород в основании уступа, на съезде	Количество обрушившейся горной массы незначительно, размер обломков до 10 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы.	Значительное количество обрушившейся горной массы в основании уступа, размер обломков 10-50 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы и более.	Значительное количество обрушившейся горной массы в основании уступа, размер обломков более 50 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы и более. Угроза обрушения.
4. Наличие нетипичных водопритоков	Откос уступа на участке работ увлажнен, места высачивания вод или источник водопритока визуально определить сложно. Незначительное скопление воды на берме.	Откос уступа на участке работ интенсивно увлажнен, места высачивания вод или источник водопритока виден визуально. Значительное скопление воды на берме. Образование небольших промоин, трещин на участке работ.	Обильное скопление воды на откосе, места высачивания вод или источник водопритока виден визуально. Значительное скопление воды на берме. Имеется резкое расширение промоин. Формирование поверхности обрушения в массиве. Угроза обрушения.
5. Обрушения, оседания, связанные с подземными горными выработками (ПГВ)	ПГВ вскрыты в борту. Отсутствует водоприток, незначительное отслоение массива, не появляются трещины вокруг ПГВ.	ПГВ вскрыты в борту. Присутствует водоприток, появляются трещины вокруг ПГВ. ПГВ находятся под почвой. Видно просадку пород в почве. С течением времени просадка увеличивается, появляются новые трещины вокруг.	ПГВ вскрыты в борту. Присутствует обильный водоприток, появляются крупные трещины и обрушения вокруг ПГВ. Подземные выработки находятся под почвой. Выход на поверхность воронки обрушения, образование трещин вокруг.
ПЛАН ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ НАРУШЕНИЙ И ОПАСНОСТЕЙ			
Работник карьера	Выполнение работ согласно наряд-задания	Прекращает все работы и покидает опасный участок. Оповещает горного мастера	



Уровень 1 – Внимание!

Трещины немногочисленные. Раскрытие до 5 см. Ширина раскрытия трещин без изменений с течением времени.

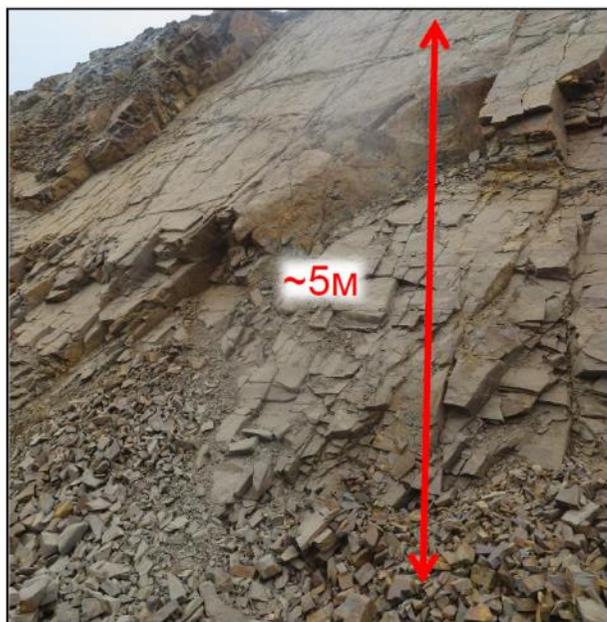
Уровень 2 – Опасно!

Раскрытие существующих трещин от 5 до 10 см, формирование новых трещин отрыва у верхней бровки/на откосе/у нижней бровки уступа за короткий период.

Уровень 3 – Стоп!

Резкое повышение ширины раскрытия (более 10 см), обрушение отдельных блоков пород у верхней бровки/на откосе/у нижней бровки уступа за короткий период. Угроза обрушения.

Рисунок Е1 –Трещины отрыва (заколы)



Уровень 1 – Внимание!

Уровень 2 – Опасно!

Уровень 3 – Стоп!

Редкие осыпи по уступу/участку борта (1-2 за смену). Высота уступа 5 метров и меньше.

Частые осыпи по уступу/участку борта (1-2 за час)

Частые осыпи по уступу/участку борта (1-2 за 30 мин)
Осыпания происходят и на соседних участках уступа/борта.

Рисунок Е2 – Повышение частоты осыпей



Уровень 1 – Внимание!	Уровень 2 – Опасно!	Уровень 3 – Стоп!
<p>Количество обрушившейся горной массы незначительно, размер обломков до 10 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы.</p>	<p>Значительное количество обрушившейся горной массы в основании уступа, размер обломков 10-50 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы и более.</p>	<p>Значительное количество обрушившейся горной массы в основании уступа, размер обломков более 50 см. Разлет обломков в пределах ширины бермы и более. Угроза обрушения.</p>

Рисунок Е3 – Наличие обрушившихся пород в основании уступа, на съезде



Уровень 1 – Внимание!	Уровень 2 – Опасно!	Уровень 3 – Стоп!
Откос уступа на участке работ увлажнен, места высачивания вод или источник водопритока визуально определить сложно. Незначительное скопление воды на берме.	Откос уступа на участке работ интенсивно увлажнен, места высачивания вод или источник водопритока виден визуально. Значительное скопление воды на берме. Образование небольших промоин, трещин на участке работ.	Обильное скопление воды на откосе, места высачивания вод или источник водопритока виден визуально. Значительное скопление воды на берме. Имеется резкое расширение промоин. Формирование поверхности обрушения в массиве. Угроза обрушения.

Рисунок Е4 – Наличие нетипичных водопритоков



Уровень 1 – Внимание!	Уровень 2 – Опасно!	Уровень 3 – Стоп!
<p>ПГВ вскрыты в борту. Отсутствует водоприток, незначительное отслоение массива, не появляются трещины вокруг ПГВ.</p>	<p><u>ПГВ вскрыты в борту.</u> Присутствует водоприток, появляются трещины вокруг ПГВ. <u>ПГВ находятся под почвой.</u> Видно просадку пород в почве. С течением времени просадка увеличивается, появляются новые трещины вокруг.</p>	<p><u>ПГВ вскрыты в борту.</u> Присутствует обильный водоприток, появляются крупные трещины и обрушения вокруг ПГВ. <u>ПГВ находятся под почвой.</u> Выход на поверхность воронки обрушения, образование трещин вокруг.</p>

Рисунок Е5 – Оседание, провал почвы над подземными пустотами

