МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ И ОТВАЛОВ, ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПРОГНОЗУ УСТОЙЧИВОСТИ

Ленинград
1987

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ И ОТВАЛОВ, ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПРОГНОЗУ УСТОЙЧИВОСТИ

Ленинград
1987

УДК 622.271.3:624.131.537

Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л., 1987, 118 с. (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела)

На основе анализа накопленного опыта изучения деформаций и применяемых методов наблюдений за деформациями бортов изложены рекомендации по созданию наблюдательных сетей и закладке наблюдательных станций, описаны схемы и методика наблюдений за деформациями бортов карьеров, освещены вопросы обоснования точности и периодичности наблюдений, методика обработки и интерпретации результатов наблюдений, а также вопросы оценки устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям.

Работа рассмотрена на Ученом совете ВНИМИ, принята Управлением Главного маркшейдера Минуглепрома СССР.

Ил. 33, табл. 17, библиогр. 19.

© Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела ВНИМИ. 1987.

ВВЕДЕНИЕ

Действующая в настоящее время «Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» (ВНИМИ, Л., 1971) не содержит рекомендаций по методам наблюдений с использованием современной измерительной аппаратуры.

За последние годы достигнуты значительные успехи в области создания маркшейдерско-геодезических приборов и применения ЭВМ для решения различных маркшейдерских задач. Накоплены дополнительные результаты исследований разрушающих деформаций бортов карьеров и отвалов, прочностных и деформационных свойств горных пород, процесса развития различного типа деформаций бортов во времени.

Настоящая работа имеет цель восполнить недостающее в содержании названной Инструкции.

В Методических указаниях на основе анализа накопленного опыта изучения деформаций и применяемых методов наблюдений за деформациями бортов изложены рекомендации по созданию наблюдательных сетей и закладке наблюдательных станций, описаны схемы и методика наблюдений за деформациями бортов карьеров, в том числе с использованием светодальномеров, рассмотрены вопросы обоснования точности и периодичности наблюдений, а также методика обработки и интерпретации результатов наблюдений.

Специальный раздел посвящен вопросам оценки устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям и вопросам маркшейдерского контроля за деформациями бортов при погашении карьеров.

Методические указания предназначены для специализированных маркшейдерских групп и геолого-маркшейдерских служб горных предприятий, а также для проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся проектированием открытых горных работ, наблюдениями за деформациями и оценкой устойчивости бортов угольных разрезов и карьеров.

«Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости» следует рассматривать как дополнение к действующей «Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» (ВНИМИ, Л., 1971).

1. ТИПЫ РАЗРУШАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

1.1. В естественном состоянии горные породы находятся в условиях всестороннего сжатия. Ведение открытых горных работ изменяет исходное напряженное состояние массива горных пород. В окрестности открытых горных выработок в результате перераспределения напряжений нарушается установившееся состояние равновесия пород, что вызывает деформирование бортов и подошвы карьеров.

1.2. Изменение напряженного состояния в прибортовом массиве горных пород захватывает широкую зону, а величины деформаций зависят от параметров открытой горной выработки, физико-механических свойств горных пород и геологического строения горного массива. В зоне прибортового массива создается поверхность с максимумом касательных напряжений и соответствующим им максимумом деформаций, которая при предельных напряжениях превращается в поверхность скольжения.

1.3. При общих средних напряжениях вдоль наиболее напряженной поверхности, не превышающих предела ползучести, прибортовой массив испытывает лишь упругие и затухающие пластические деформации, которые активизируются при отработке каждого нового горизонта; при напряжениях более предела ползучести развиваются деформации с постоянной и возрастающей скоростью, заканчивающиеся разрушением борта.

1.4. На карьерах различают следующие типы разрушающих деформаций прибортовых массивов горных пород: осыпи, обрушения, оползни, просадки, оплывины и фильтрационные деформации (табл. 1).

1.5. Все типы разрушающих деформаций можно подразделить на приповерхностные и глубинные.

Приповерхностные разрушающие деформации (осыпи, фильтрационные деформации — оплывание, выпор, поверхностная эрозия) поражают приповерхностную часть откосов на карьерах и фиксируются визуальными и простейшими инструментальными наблюдениями — упрощенными наблюдениями.

Глубинные разрушающие деформации (оползни, обрушения, крупные оплывины) захватывают большие объемы прибортовых массивов, а зарождение разрушений при их формировании происходит в глубине массива в зоне наибольших касательных напряжений, которая при своем расширении лишь со временем достигает земной поверхности. Поэтому формирование глубинных разрушающих деформаций в начале развития процесса фиксируют с помощью фундаментальных или временных инструментальных маркшейдерских наблюдений и наблюдениями за деформациями внутри прибортового массива.

1.6. Из всех видов разрушающих деформаций оползни и обрушения оказывают наибольшее влияние на горные работы

Таблица 1

Классификация разрушающих деформаций откосов уступов, бортов карьеров и откосов отвалов

Типы разрушений и их характеристика	Условия и причины возникновения разрушений
1. ОСЫПЬ — отрыв, скатывание или скольжение обломков горных пород в результате выветривания по откосу при угле наклона его больше угла естественного откоса под влиянием гравитационных сил. Осыпь поражает приповерхностную часть крутых откосов, развивается в течение длительного времени и приводит к выполаживанию откосов, разрушению, а иногда к полной сработке предохранительных и транспортных берм между уступами. Различают осыпи откосов:	
— мягких связных пород, несвязных пород;	Под влиянием выветривания крутых откосов; осыпание происходит более интенсивно при отсутствии специальной заоткоски уступов
— трещиноватых твердых пород	Под влиянием взрывов и выветривания, при отсутствии заоткоски наклонными скважинами
2. ОБРУШЕНИЕ — отрыв и быстрое смещение вниз горных пород (блоков и пачек пород), слагающих откос, сопровождающееся дроблением смещающегося массива, по поверхности, совпадающей с различного рода нарушениями сплошности массива (крупные трещины, слоистость, тектонические нарушения и т. п.) и залегающей под углом, большим угла трения контактирующих по поверхности отрыва пород, когда, оторвавшись после преодоления сил сцепления, массив не может удерживаться на поверхности отрыва силами трения и смещается вниз к подошве откоса, активная стадия обрушений протекает практически мгновенно. Обрушения представляют собой наибольшую опасность для людей и горного оборудования на карьерах. Различают обрушения:	
— по подрезанным контактам слоев, дизъюнктивам и сланцеватости;	При падении слоев и дизъюнктивных нарушений в сторону выемки круче 25—30°
— по поверхностям, ослабленным трещинами;	При падении трещин в сторону выемки круче 35—40°

Продолж. табл. 1

Типы разрушений и их характеристика	Условия и причины возникновения разрушений
— по криволинейным поверхностям;	При завышенных углах или высотах откосов
— по сложным поверхностям ослабления массива	При наличии в прибортовом массиве сочленяющихся поверхностей ослабления
3. ОПОЛЗЕНЬ — отрыв и перемещение отделившегося прибортового массива горных пород в виде скользящего движения по пологой поверхности неподвижного массива под влиянием силы тяжести. Наиболее крупный по размерам тип разрушения бортов карьеров и откосов отвалов. Объемы оползневого тела достигают от нескольких тысяч до десятков и сотен миллионов кубических метров. В ряде случаев оползни приводили к полному прекращению работ в карьере. Различают оползни:	Оползни возникают при наличии в толще пород пластичных прослойков, слоев и слабых контактов; происходят при углах наклона бортов положе 25—35°
— изотропных массивов;	При обводнении откосов (подток грунтовых вод к откосам и скоплении атмосферных осадков в прибортовой зоне)
— покровные;	При залегании рыхлых отложений на склоне твердых пород и отсутствии регулирования стока атмосферных и подземных вод
— контактные;	При наличии контактов пологозалегающих слоев глинистых пород и дизъюнктивных нарушений, заполненных глинкой трения; при подрезке контактов, с углами трения, меньшими угла их наклона ($\varrho' < \beta$)
— надвиги;	При наличии в горном массиве слабых контактов или слоев пластичных глин и подрезке контактов или вскрытии слоев
— глубинные слоистых пород лежачего бока	При наличии слоев пластичных глин и напорных вод и углублении карьеров без дренажных работ, обеспечивающих снятие напоров подземных вод
— выпирания;	При наличии в подошве бортов карьеров невскрытых слоев пластичных глин
— отвалов:	
надподошвенные;	При наличии прочного основания и низких прочностных характеристик отвальной смеси и дополнительном увлажнении отвалов
подошвенные;	При наличии слабого контакта отвал-основание
подподошвенные (выпирания)	При наличии прочных пород отвала, слабого основания, невскрытых слабых контактов и напорных вод в основании отвала

Окончание табл. 1

Типы разрушений и их характеристика	Условия и причины возникновения разрушений
4. ПРОСАДКИ — вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения. Различают просадки:	
пород естественной структуры;	При увлажнении (замачивании) высокопористых отложений (лессов, лессовидных суглинков, выщелоченных пород)
пород нарушенной структуры (отвалов);	При уплотнении отвалов рыхлых пород
пород от влияния подземных горных работ	При подработке прибортового массива подземными горными выработками, например, при совместной отработке месторождения открытым и подземным способом
5. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ	
оплывание — отрыв, перенос и переотложение грунтовых частиц подземными водами;	При высачивании подземных вод на откос в песчаных и песчано-глинистых породах
оплывина — перемещение в виде потока насыщенных водой до текучего состояния некоторых разновидностей песчано-глинистых пород нарушенной структуры (пылеватых песков и глин, лессовидных суглинков и лессов), развивающееся довольно интенсивно, часто с катастрофическим характером;	При насыщении водой рыхлых пород и высокопористых отложений, обладающих сцеплением упрочнения, до консистенции текучести
выпор — разрушение частично подтопленных песчаных откосов, проявляющееся в виде вывала некоторого объема горных пород под влиянием сил тяжести и гидродинамического давления;	При высачивании на откос подземных вод и высоком градиенте гидродинамического давления
механическая суффозия — вынос мелких частиц из массива горных пород под влиянием гидродинамических сил;	Под влиянием гидродинамических сил в песчаных грунтах с высоким коэффициентом неоднородности
фильтрационный вынос вдоль трещин — размыв и вынос частиц слабосцементированных пород, носящий эрозионный характер и приводящий к образованию подземных пустот и провальных воронок;	Под влиянием размыва в слабосцементированных породах с характерной естественной трещиноватостью
поверхностная эрозия — размыв песчано-глинистых рыхлых пород прибортового массива поверхностными потоками атмосферных вод и подземных вод, вытекающих на откос;	При стекании по откосу концентрированных потоков атмосферных и подземных вод
выщелачивание и растворение — процесс химической переработки горных пород, связанный с растворением и выносом продуктов растворения подземными водами, приводящий к образованию карстовых полостей	Под влиянием растворения в карбонатных трещиноватых породах; наиболее существенное влияние на устойчивость бортов оказывает соляной карст, формирующийся в результате быстрого растворения солей (галита, ангидрита и др.)

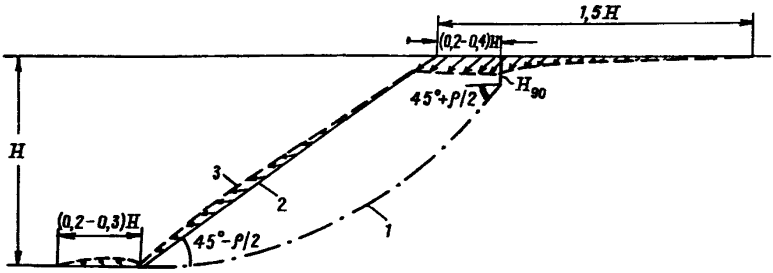

Рис. 1. Схема деформирования однородного прибортового массива:

1 — положение потенциальной поверхности скольжения; 2 — исходный контур борта; 3 — контур сдеформированного борта

в карьере и, представляя опасность для людей и горного оборудования, в отдельных случаях носят катастрофический характер и приводят к полному прекращению горных работ на карьерах. Поэтому маркшейдерские инструментальные наблюдения выполняют прежде всего с целью выявления начала процесса оползнеобразования и его развития во времени.

1.7. В развитии оползневого процесса выделяют несколько стадий (стадии развития оползня (СРО) — различные периоды оползневого процесса, проявляющиеся в деформациях прибортового массива и смещении оползня).

Скрытая СРО — период развития деформаций прибортового массива, протекающий без визуально прослеживаемых признаков смещения массива; смещения массива в этот период фиксируют высокоточными инструментальными наблюдениями и для высоких бортов карьеров они достигают нескольких сантиметров; относительные горизонтальные деформации прибортовой поверхности в этой стадии не превышают 1—2 мм/м ($1—2 \cdot 10^{-3}$).

Начальная СРО — период деформирования прибортового массива, характеризующийся проявлением визуально прослеживаемых признаков разрушения горных пород (проявлением и развитием трещин, заколов, ступенчатообразного проседания отдельных блоков, расслоения и запрокидывания крутопадающих слоев и других нарушений сплошности массива) и началом формирования поверхности скольжения и оконтуривания оползня трещиной отрыва; смещения прибортового массива высоких бортов карьеров в начальной СРО достигают величин от сантиметров до нескольких метров; скорости смещения прибортового массива затухают во времени, если не происходит дальнейшего снижения коэффициента запаса устойчивости прибортового массива.

Равновесная СРО (стадия установившегося равновесия внешних сдвигающих сил и внутренних сил сопротивления

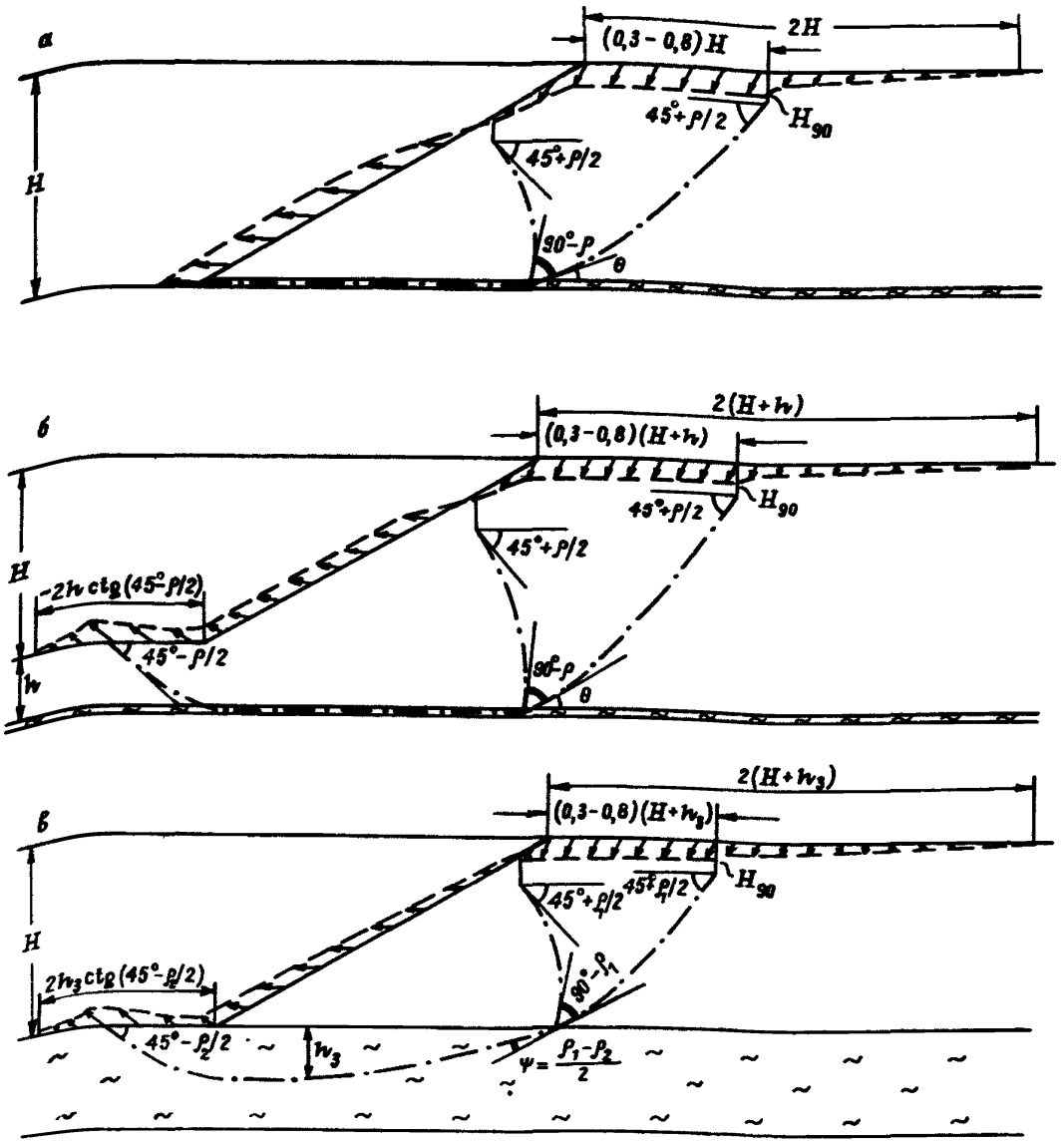

Рис. 2. Схема деформирования прибортового слоистого массива горных пород, ослабленного в основании борта горизонтальным или пологозалегающим контактом (пластичным пропластком или слоем):

а — подрезанным горными работами; *б* — заглубленным ниже подошвы борта; *в* — при залегании в основании борта мощного слабого слоя

сдвигу прибортового массива) — период формирования поверхности скольжения в прибортовом массиве и завершения оконтуривания оползня трещиной отрыва; характеризуется установлением равновесия внешних сдвигающих сил и внутренних сил сопротивления разрушению массива и относительно постоянной скоростью смещения оползня.

Активная СРО (стадия прогрессирующего разрушения прибортового массива) — период смещения оползня по формирующейся поверхности скольжения, характеризуется непрерывно возрастающей скоростью смещения и при определенных условиях (после разрушения призмы упора в нижней части оползня) завершается срывом тела оползня.

Затухающая СРО — период смещения оползня с уменьшающейся скоростью до полной его остановки.

1.8. На основе натурных наблюдений за деформациями бортов карьеров и моделирования откосов установлены схемы деформирования прибортовых массивов и формирования оползней в различных горно-геологических условиях.

По характерным признакам проявления деформаций выделяют следующие схемы деформирования прибортовых массивов:

— однородного массива (рис. 1);

— слоистого массива, ослабленного в основании борта горизонтальным или пологозалегающим контактом (пластичным пропластком или слоем); подрезанным или вскрытым горными

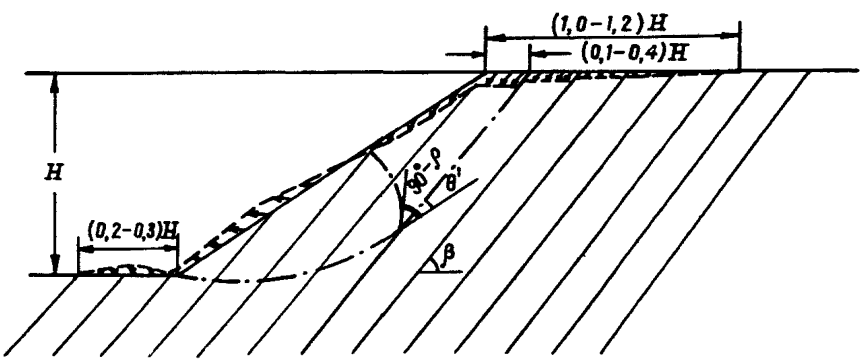

Рис. 3. Схема деформирования прибортового массива, сложенного слоистой толщей пород, при наклонном, согласном с наклоном борта, падении слоев ($30° \leqslant \beta \leqslant 60°$) и при простирании пластов, совпадающем с простиранием борта

работами (рис. 2, *а*); заглубленным ниже подошвы борта (рис. 2, *б*); при залегании мощного слабого слоя в основании борта (рис. 2, *в*);

— сложенного слоистой толщей пород при наклонном согласном с наклоном борта падении слоев ($30° \leqslant \beta \leqslant 60°$) и при простирании пластов, совпадающем с простиранием борта (рис. 3);

— сложенного слоистой толщей пород при крутом согласном с наклоном борта падении слоев ($60° \leqslant \beta \leqslant 90°$) и при несогласном с наклоном борта падении слоев ($50° \leqslant \beta \leqslant 90°$) и простирании слоев, совпадающем с простиранием борта (рис. 4);

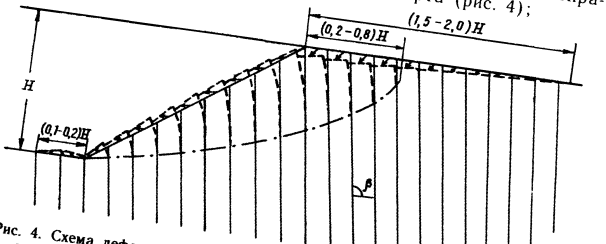

Рис. 4. Схема деформирования прибортового массива, сложенного слоистой толщей пород, при крутом, согласном с наклоном борта, падении слоев ($60° \leqslant \beta \leqslant 90°$) и при несогласном с наклоном борта падении слоев ($50° \leqslant \beta \leqslant 90°$); простирание слоев совпадает с простиранием борта

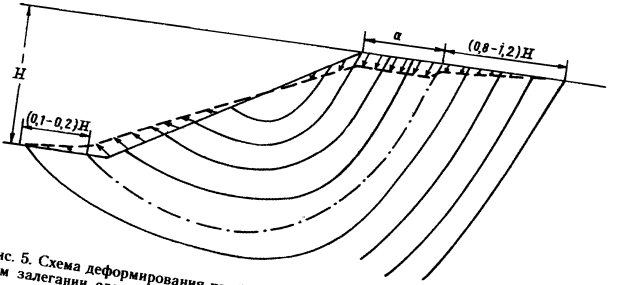

Рис. 5. Схема деформирования прибортового слоистого массива при мульдообразном залегании слоев и простирании оси мульды, совпадающем с простиранием борта

— слоистого массива при мульдообразном залегании слоев и простирании оси мульды, совпадающем с простиранием борта (рис. 5);

Таблица 2

Отличительные признаки развития деформаций при формировании различных типов оползней на карьерах

Особенности геологического строения прибортового массива	Тип развивающегося оползня	Отличительные признаки наблюдаемых деформаций
1. Однородный (квазиизотропный) массив, слоистый массив при отсутствии слабых контактов между слоями, слоистый массив при наклонном, обратном, несогласном наклону борта, залегании слоев и ослабленных контактов под углами $30° \leqslant \beta \leqslant 50°$ (см. рис.)	Оползень (обрушение) однородного массива	Зона максимальных горизонтальных деформаций расположена в глубине прибортового массива и приурочена к середине борта с центром (ядром), удаленным от откоса на величину $0{,}3H$ (H — высота борта). Фиксируемые на поверхности, примыкающей к верхней бровке борта, горизонтальные деформации составляют 60—70% от деформаций в ядре. В прибортовом массиве, кроме ядра горизонтальных деформаций, четко прослеживается зона максимальных горизонтальных деформаций, вытянутая сверху вниз вдоль борта, проходящая через ядро и выходящая на откос вблизи нижней бровки — на высоте около $0{,}2H$ от подошвы борта, а на поверхность, примыкающую к верхней бровке, — на удалении $(1{,}5—2)a$ от бровки (a — ширина призмы обрушения борта). В зоне максимальных деформаций формируется поверхность скольжения, которая в вертикальном сечении имеет плавный криволинейный вид, а в целом по форме приближается к поверхности эллипсоида вращения По поверхности прибортового массива деформации распространяются на расстоянии до $1{,}5H$ от верхней бровки борта, а по подошве — на величину $(0{,}2—0{,}3)H$ от нижней бровки. Направление (наклон) векторов смещения сверху вниз борта плавно изменяется в сторону выполаживания соответственно плавному выполаживанию поверхности скольжения. Первые визуально прослеживаемые трещины прослеживаются за пределами потенциальной призмы обрушения и вытянуты субпараллельно с простиранием борта; основная трещина отрыва, оконтуривающая призму обрушения, формируется в период активной стадии развития оползня
2. Массив горных пород ослаблен в основании борта горизонтальным или пологозалегающим контактом (пластичным пропластком или слоем) или дизъюнктивным нарушением:	Контактный оползень	В развитии оползней надвига и выпирания наблюдается ряд общих признаков. Уже в скрытую стадию развития оползня в прибортовом массиве формируется клин активного давления, а в основании откоса при заглублении контакта ниже подошвы борта — вал выпирания. Вся призма обрушения разбивается на два, а при заглублении контакта и слоя — на три блока, которые легко

Продолж. табл. 2

Особенности геологического строения прибортового массива	Тип развивающегося оползня	Отличительные признаки наблюдаемых деформаций
— контакт подрезан горными работами (см. рис. 2, *а*);	Оползень-надвиг	фиксируются по направлению векторов смещения наблюдаемых реперов. В процессе развития деформаций клин активного давления, проседая, сдвигает призму упора по
— контакт заглублен ниже подошвы борта (см. рис. 2, *б*);	То же	контакту; клин активного давления и призма упора перемещаются поступательно, на границе призмы упора и клина активного давления проявляется семейство поверхностей скольжения и происходит изменение направления векторов смещения
— при залегании в основании борта невскрытого мощного слабого слоя (см. рис. 2, *в*)	Оползень выпирания	Поверхность скольжения имеет сложную форму: начинается вертикальной трещиной отрыва, она переходит в плавную кривую, на границе со слабым контактом испытывает излом под углом θ [19] и далее совпадает с контактом; при заглублении контакта ниже подошвы борта призма, пригружающая контакт, испытывает сжатие, а поверхность разрушения в ней проходит под углом $45° - \varrho/2$ к контакту (к направлению действия максимальных сжимающих напряжений) Направления векторов смещения изменяются в соответствии с изменением наклона поверхности скольжения: на поверхности, примыкающей к верхней бровке борта, в пределах призмы обрушения векторы смещения имеют наклон под углом $45° + \varrho/2$ к горизонту, на борту на границе клина активного давления и призмы упора происходит плавное их выполаживание до направления, совпадающего с направлением падения контакта; при заглубленном контакте на участке, примыкающем к нижней бровке борта, вновь происходит плавное изменение направления векторов смещения до наклона под углом $45° - \varrho/2$ к направлению контакта Зона деформаций по поверхности прибортового массива при формировании оползней — надвига распространяется на расстояние более $2(H + h)$, а ширина призмы обрушения, которая обозначается весьма четко на ранних стадиях деформирования прибортового массива, составляет $(0{,}3—0{,}8) \times (H+h)$; в подошве борта (при заглубленном контакте) деформации прослеживаются в зоне шириной до $2h \times (\mathrm{ctg}45° - \varrho/2)$ В прибортовоом массиве с мощным пластичным слоем в основании поверхность скольжения в пластичном слое имеет плавную криволинейную форму, призма упора

Продолж. табл. 2

Особенности геологического строения прибортового массива	Тип развивающегося оползня	Отличительные признаки наблюдаемых деформаций
		смещается с вращением по этой поверхности, поэтому клин активного давления при развитии оползней выпирания проявляется менее четко, а распространение зоны деформаций по поверхности прибортового массива наиболее значительно
3. Массив сложен слоистой толщей горных пород с согласным с наклоном борта падением слоев ($30° \leqslant \beta \leqslant 60°$) и простиранием пластов, совпадающим с простиранием борта (см. рис. 3)	Глубинный оползень лежачего бока	Поверхность скольжения в верхней части борта совпадает со слабым контактом, затем претерпевает излом под углом θ^1 и приобретает плавную криволинейную форму. В нижней части борта наблюдается выпор пород. Направления векторов смещения на поверхности прибортового массива совпадают с наклоном слоев, причем смещения могут наблюдаться по нескольким контактам и проявляться на поверхности в виде ступенек шириной, соответствующей мощности слоев. В нижней части борта векторы смещения плавно выполаживаются соответственно выполаживанию поверхности скольжения. Зона деформаций по поверхности прибортового массива распространяется на расстояние $(1,0—1,2)H$, а по подошве борта — на $(0,2—0,3)H$; призма обрушения в зависимости от свойств пород, характеристик контакта и угла наклона слоев достигает величины $(0,1—0,4)H$. Величины смещения прибортового массива до разрушения значительны и легко фиксируются визуальными наблюдениями
4. Слоистый массив горных пород при крутом, согласном с наклоном борта, падении слоев ($60° \leqslant \beta \leqslant 90°$) и при несогласном с наклоном борта падении слоев ($50° \leqslant \beta \leqslant 90°$) и при простирании слоев, совпадающем с простиранием борта (см. рис. 4)	Оползень расслоившегося массива	Наиболее существенные отличительные признаки в деформировании прибортового массива проявляются в его расслоении, появлении продольных трещин на поверхности и ступенчатого проседания крутозалегающих слоев, которые наблюдаются уже на ранних стадиях деформирования и связаны с изгибом и проскальзыванием слоев. Зона распространения деформаций по поверхности прибортового массива значительно больше, чем в однородном массиве, и составляет $(1,5—2)H$, а по подошве борта — меньше порядка $(0,1—0,2)H$; ширина призмы обрушения значительна — $(0,2—0,8)H$ Поверхность скольжения имеет плавную криволинейную форму, а направление векторов смещения плавно изменяется сверху вниз соответственно наклону поверхности скольжения. При развитии оползня в расслоившемся массиве смещения прибортового массива, предшествующие разрушению борта, наиболее значительны и могут достигать, в зависимости от высоты, нескольких метров.

Особенности геологического строения прибортового массива	Тип развивающегося оползня	Отличительные признаки наблюдаемых деформаций
		На поверхности прибортового массива наблюдаются раскрытые трещины и ступенчатое проседание слоев, связанное с расслоением массива и изгибом самих слоев
5. Слоистый массив при мульдообразном залегании слоев и простирании оси мульды, совпадающем с простиранием борта (см. рис. 5)	Сползень вращения	При развитии оползня вращения смещения прибортового массива концентрируются по одной из контактирующих поверхностей между слоями пород, с которой совпадает поверхность скольжения Максимальное значение вектора смещения на поверхности прибортового массива приурочено к местоположению поверхности скольжения, а внизу борта — к выходу поверхности скольжения на борт; величина смещения поверхности прибортового массива с приближением к бровке борта может несколько убывать; значения векторов смещения убывают также в направлении от места выхода поверхности скольжения на борт вверх по поверхности борта. В отдельных случаях общая картина смещения искажается межслоевыми подвижками Ширина призмы обрушения зависит не только от параметров борта, но и от условий залегания подрезаемого горными работами крыла мульды, расположения относительно горных работ оси мульды, положения слабого контакта. По поверхности прибортового массива зона деформаций распространяется на $(0{,}8—1{,}2)H$ за пределы призмы обрушения; а по подошве борта на $(0{,}1—0{,}2)H$ за границу выхода поверхности скольжения Визуально наблюдаемые признаки — ступенчатое проседание поверхности, сопровождающееся развитием продольных трещин
6. Слоистый массив при наклонном, согласном с наклоном борта, залегании слоев ($\alpha > \beta > \varrho^1$); горный массив, ослабленный пологозалегающим тектоническим нарушением, подсеченным горными работами (см. рис. 6)	Контактный оползень	Поверхность скольжения полностью совпадает со слабым контактом или тектоническим нарушением; в верхней части оползневое тело в большинстве случаев оконтуривается вертикальной трещиной отрыва На поверхности прибортового массива и на самом борту векторы смещения параллельны напластованию. Зона деформаций по поверхности распространяется на расстояние $H(\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha)$ от верхней бровки борта; за границей призмы обрушения деформации массива практически отсутствуют. В нижней части откоса на участке выхода слабого контакта на откос визуально прослеживается «козырек» надвига смещающегося массива

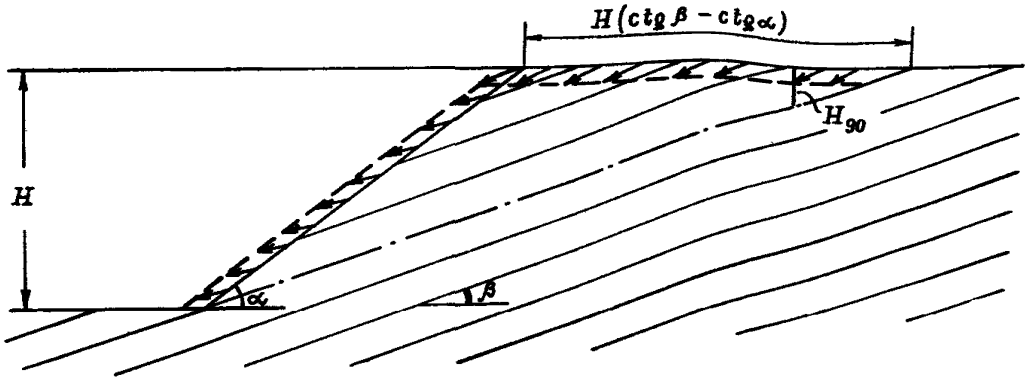

Рис. 6. Схема деформирования прибортового слоистого массива при наклонном, согласном с наклоном борта, залегании слоев при $\alpha > \beta > \varrho'$, а также при ослаблении прибортового массива пологозалегающим тектоническим нарушением, подсеченным горными работами

— слоистого массива при наклонном, согласном с наклоном борта, залегании слоев при $\alpha > \beta > \varrho'$, а также массива, ослабленного пологозалегающим тектоническим нарушением, подсеченным горными работами (при этом поверхность скольжения полностью совпадает со слабым контактом слоев или тектоническим нарушением — рис.6).

1.9. Длительное деформирование крупных прибортовых массивов в различных горно-геологических условиях приводит к формированию различных типов оползней, которые можно прогнозировать по результатам наблюдений на ранних стадиях деформирования.

Отличительные признаки наблюдаемых деформаций, характерные для разных типов развивающихся оползней, приведены в табл. 2.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ

2.1. Задачи маркшейдерских наблюдений за деформациями откосов на карьерах

2.1.1. Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости.

2.1.2. Наблюдения, анализ и интерпретация результатов наблюдений позволяют:

— определить величины смещений, деформаций, скоростей развития процесса деформирования и границы распространения деформаций;

— установить тип разрушающих деформаций прибортового массива пород;

— установить взаимосвязь между факторами, определяющими устойчивость прибортового массива, и процессом деформирования бортов и откосов отвалов и определить количественные соотношения между ними;

— определить критические величины деформаций, предшествующие началу активной стадии деформирования, для различных инженерно-геологических комплексов горных пород;

— осуществлять контроль за ведением горных работ на деформирующихся участках бортов;

— определить эффективность противооползневых мероприятий.

2.1.3. По результатам маркшейдерских наблюдений и инженерно-геологической оценки условий устойчивости прибортовых массивов составляют прогноз развития деформаций во времени, т. е. производят оценку степени опасности наблюдаемых деформаций и выполняют предрасчет продолжительности процесса деформирования до момента достижения критических значений величин смещений, деформаций и скоростей.

2.1.4. Цели и задачи наблюдений можно подразделить на научные (исследовательские) и практические.

Научной целью наблюдений преследуется получение наиболее полных сведений о процессе деформирования прибортовых массивов на всех стадиях оползнеобразования, от момента проявления упругих деформаций до полного затухания смещений при стабилизации (остановке) оползня или до наблюдений за деформациями бортов погашенных карьеров.

Практические цели ограничиваются получением надежных параметров процесса деформирования прибортового массива на том или ином этапе деформирования, на основе которых с учетом условий устойчивости решаются задачи охраны сооружений,

разработки противодеформационных мероприятий, корректировки параметров бортов или изменения схемы ведения работ.

2.1.5. В зависимости от целей и задач, а также условий отработки месторождения наблюдения проводят в различном объеме и в различные по продолжительности периоды времени. В соответствии с этим наблюдения делят на фундаментальные (долговременные), временные инструментальные и упрощенные.

2.1.6. Фундаментальные наблюдения проводят на разрезах и карьерах, имеющих большую конечную глубину, с целью изучения основных параметров деформирования и детальной характеристики процессов при изменении условий устойчивости. Для достижения целей фундаментальных наблюдений последние начинают с момента отработки месторождения. В этот же период создают систему опорных пунктов и реперов. Она закладывается с учетом проектного развития горных пород. Наблюдения на долговременных станциях проводят в зависимости от интенсивности отработки, весь период существования карьера, а в некоторых случаях и после его погашения. Частота наблюдений на таких станциях в скрытую и начальную стадии развития оползня большая: от 1—2 раз в год до 1 раза в 2—3 года. Фундаментальные маркшейдерские наблюдения выполняют специализированными маркшейдерскими группами при методическом руководстве и участии научно-исследовательских институтов соответствующего профиля.

2.1.7. Временные инструментальные наблюдения проводят, *как правило, для изучения деформаций отдельных участков* карьера. Наблюдательные станции для временных инструментальных наблюдений закладывают на участках бортов: с малым коэффициентом запаса устойчивости ($n < 1{,}3$); со сложным слабо изученным залеганием пород; деформирующихся, а также при отработке законтурных запасов полезных ископаемых; для охраны ответственных сооружений, расположенных на прибортовой полосе земной поверхности.

Цель временных наблюдений состоит в изучении влияния отдельных факторов, приводящих к активизации или резкому изменению процесса развития деформаций. Временные наблюдения имеют большое практическое значение непосредственно для участка наблюдений. По их результатам выбирают определенный порядок ведения горных работ на опасном участке и принимают меры по предотвращению опасных деформаций массива, а также оценивают эффективность противооползневых мероприятий.

Срок существования таких станций не превышает 1—5 лет. Периодичность наблюдений устанавливают в зависимости от интенсивности процесса развития деформаций. При временных инструментальных наблюдениях можно использовать часть реперов фундаментальной наблюдательной сети.

Наблюдения по этим станциям ведут специализированными маркшейдерскими группами и маркшейдерской службой разрезов.

2.1.8. Упрощенные наблюдения выполняют для определения смещений и деформаций в отдельных точках оползневых участков в период активной стадии оползня. Сюда относят наблюдения за раскрытием трещин, а также за деформациями сооружений, находящихся в непосредственной близости от оползневого участка. Наблюдения выполняют, как правило, наиболее простыми способами (проволочные, цементные маяки и др.). Поскольку периодичность упрощенных наблюдений должна быть высокой, эффективно применение станций с непрерывной автоматической регистрацией смещений.

2.1.9. При выполнении всех перечисленных видов наблюдений проводят визуальное обследование прибортового массива. Визуальные наблюдения сопровождают глазомерной, тахеометрической или фотографической съемкой характерных участков деформирующихся зон (оползневых трещин, вала выпирания и др.).

2.2. Требования к методике наблюдений

2.2.1. Маркшейдерские наблюдения включают в себя комплекс работ по созданию наблюдательных сетей, производству измерений и камеральной обработке результатов измерений. В связи с этим методикой наблюдений предусматривают требования: к конструкции наблюдательных сетей (наблюдательных станций), к методам производства измерений, к конструкции инструментов и оборудования для измерений, к точности измерений, к способам обработки и интерпретации измерений.

2.2.2. Наблюдательную сеть следует строить по принципу от общего к частному. Опорные и исходные пункты закладывают вне зоны возможных деформаций с учетом максимальных размеров и глубины карьера. Размеры зоны возможных деформаций зависят от геологического строения борта и от его высоты (см. рис. 1—6).

Определяемые (рабочие) реперы располагают в зонах деформирования. Их связь с опорными пунктами возможна через промежуточные пункты.

2.2.3. С целью повышения точности наблюдений, кроме повторных измерений одной и той же величины, выполняют избыточные измерения; это позволяет также произвести оценку точности наблюдений.

2.2.4. Выбор метода наблюдений обусловлен прежде всего целью наблюдений и требуемой точностью определения смещений. Из-за необходимости систематически повторять измерения предпочтение отдается тому методу, который при минимальных затратах обеспечивает решение поставленной задачи. В табл. 3 приведены рекомендуемые методы наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов и условия их применения.

Таблица 3

Методы маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров и условия их применения

Метод	Его преимущества	Условия его применения	Условия, ограничивающие его применение
Наблюдения по профильным линиям	Дает наиболее полную информацию о зоне распространения деформаций и возможность построить поверхность скольжения	Изучение оползней всех типов	Закладка реперов по прямым линиями, по направлению, совпадающему с направлением смещения
Геометрическое нивелирование	Высокая точность и оперативность получения смещений, надежный полевой контроль, малая зависимость от климатических факторов	Прибортовые зоны с углами наклона до 10—15°, в отдельных случаях при ровной поверхности склона до 20—25°, площадки уступов	Пересеченная местность
Створные измерения	Простота наблюдений и камеральной обработки	Оползни шириной не более 200—400 м при наличии четких боковых границ в условиях слабопересеченной местности; оползни отдельных уступов	Обязательное расположение пунктов по прямым линиям, перперпендикулярным к направлению смещения; пересеченная местность
Прямые засечки угловые, линейные	Не требуется присутствия исполнителей на исследуемом участке; точность определения горизонтальных смещений почти не зависит от расстояний до определяемых точек	Определение смещений в недоступных местах, в гористых условиях, наличие снежного покрова; при расстояниях до точек более 600—700 м	Необходимость не менее трех опорных пунктов, обеспечение выгодных форм засечки
Линейно-угловые засечки	Надежный контроль получения вектора смещения; малая зависимость от угла засечки; минимальное число опорных пунктов — 2; получение всех трех составляющих вектора смещения	Условия ограниченного числа опорных пунктов; в горной местности; при наблюдениях во всех стадиях деформирования	Необходимость измерений на опорных и на контрольных пунктах при определении вертикальной составляющей вектора смещения
Линейные пространственные засечки	Надежный контроль получения вектора смещения: минимальное число опорных пунктов (три); получение всех трех составляющих вектора смещения, малая трудоемкость работы	Глубокие карьеры, в горной местности, при наблюдениях во всех стадиях деформирования	Малый угол наклона визирного луча, зависимость точности от геометрической формы засечки

Окончание табл. 3

Метод	Его преимущества	Условия его применения	Условия, ограничивающие его применение
Метод полигонометрических ходов	Возможность применения в отсутствие прямой видимости; большая гибкость метода; простота изменения схемы наблюдений; при измерении вертикальных углов — получение всех трех составляющих вектора смещения	Исследование деформаций бортов в начальной стадии; при определении смещений крайних реперов профильных линий, если последние из-за помех и препятствий не могут быть удалены за пределы зоны деформирования	Большой объем полевых работ, трудоемкость вычислений
Фотограмметрические методы: наземная стереофотограмметрическая съемка; метод «псевдопараллаксов»; воздушная стереофотограмметрическая съемка:	Использование большого числа как маркированных, так и немаркированных точек; длительное хранение первичной информации; кратковременность полевых работ	Изучение деформаций отвалов и оползней в активной стадии	Сложный математический аппарат при общем случае съемки и аэрофотосъемки, требующий применения ЭВМ; сравнительно невысокая точность определения смещений; трудность выбора и обеспечение неподвижности базиса; ось съемки должна быть перпендикулярна направлению смещений

2.2.5. При постановке наблюдений в конкретных условиях вначале выбирают схему наблюдений. Затем выполняют предрасчет точности определения смещений в увязке с выбранной методикой наблюдений и сравнивают ее с требуемой. Если выбранная схема и методика наблюдений не обеспечивают требуемой точности, то повышают точность измерений или изменяют схему наблюдений.

2.2.6. Начальные наблюдения на любых станциях следует выполнять не менее двух раз. Это позволит увеличить точность и надежность определения исходного положения пунктов и реперов и по фактическим данным установить погрешности нахождения смещений. Исходя из полученных фактических величин погрешностей решают вопрос о сохранении методики наблюдений или ее изменении.

2.2.7. Методику измерений следует изменять в зависимости от стадии деформирования исследуемого участка. При этом изменяют не только методику наблюдений, но и требования к точности и периодичности измерений.

2.2.8. Для производства маркшейдерских наблюдений составляют специальный проект, который должен состоять из пояснительной записки, плана наблюдательной станции, а также соответствующих геологических карт и разрезов.

Пояснительная записка включает:

а) техническое задание;

б) общие сведения об участке наблюдений (горно-геологические, рельефные и климатические условия, возможный тип деформаций, фактическое и планируемое развитие горных работ);

в) принципиальную схему наблюдений;

2) конструкции опорных и рабочих пунктов (реперов) и расчет расхода материалов, необходимых для закладки станции;

д) расчет или обоснование необходимой точности и периодичности наблюдений;

е) методы и средства измерений;

ж) рекомендации по методике обработки и интерпретации результатов наблюдений;

з) календарный план наблюдений;

и) состав исполнителей и смету.

План наблюдательной станции составляют в масштабе 1:1000 или 1:2000, реже — 1:5000. На плане показывают:

а) состояние горных работ на момент составления проекта;

б) проект дальнейшего развития горных работ

в) сооружения, находящиеся на бортах карьера или вблизи отвала;

г) рельеф местности;

д) расположение опорных и рабочих реперов.

К плану наблюдательной станции должны быть приложены детальные геологические разрезы, на которые наносят:

а) границы литологических разностей пород;

б) степень и характер трещиноватости каждой литологической разности;

в) дизъюнктивные нарушения и тектонические трещины большого протяжения с указанием направления и угла их падения;

г) характеристики сопротивления сдвигу пород, слагающих борт, ϱ и K;

д) характеристики сопротивления сдвигу по поверхностям ослабления ϱ^1 и K^1 — по тектоническим трещинам, дизъюнктивным нарушениям, контактам между слоями или сланцеватости.

Все материалы по проекту наблюдательной станции должны быть сброшюрованы и подписаны лицом, составившим проект. Проект утверждается главным инженером предприятия.

2.3. Точность и периодичность наблюдений

2.3.1. Точность и периодичность наблюдений должны обеспечивать возможность судить о неизменности процесса деформирования в интервале времени между сериями наблюдений и позволять фиксировать момент его изменения.

2.3.2. При назначении оптимальной точности наблюдений в начальный период целесообразно ориентироваться на минимальные величины смещений, которые поддаются интерпретации, а также на возможные величины смещений пунктов и реперов, не связанные с горными работами, и на реально возможную точность определения смещений применяемыми методами и средствами измерений. В соответствии с указанным погрешность определения смещений $m_{\Delta s}$ не должна превышать ± 10—15 мм, погрешность определения положения пунктов и реперов в одной серии наблюдений $m_s = \pm 10$ мм, а погрешность определения относительного смещения реперов на 20-метровом интервале $\pm$ 5—7 мм.

2.3.3. Периодичность наблюдений на долговременных станциях зависит от степени устойчивости бортов и интенсивности понижения работ в разрезе.

При коэффициенте запаса $n \geqslant 1{,}5$ и ежегодном понижении горных работ на 10—20 м производят одну серию наблюдений за 1—2 года; при дальнейшем снижении коэффициента запаса устойчивости наблюдения выполняют на каждый момент снижения коэффициента запаса устойчивости наблюдаемого борта на 0,05, но не реже 1 раза в год.

2.3.4. При временных инструментальных наблюдениях на станциях, заложенных на участках с коэффициентом запаса устойчивости $n \leqslant 1{,}3$, периодичность наблюдений увязывают со значениями уменьшающегося коэффициента запаса; очередную серию наблюдений проводят на каждый момент уменьшения коэффициента запаса на величину 0,05, но не реже чем 2 раза в год.

2.3.5. При установлении наблюдениями скоростей смещений более 0,1 мм/сут периодичность наблюдений назначают в зависимости от скорости деформирования и интенсивности ведения горных работ в соответствии с табл. 4.

Таблица 4

Требования к периодичности наблюдений в зависимости от скоростей смещений прибортового массива

Скорость смещения, мм/сут	Периодичность наблюдений, сут.	Средняя продолжительность одной серии наблюдений, час
0,1	730 (2 года)	720
0,5	150	144
1,0	75	72
2,0	40	36
5,0	15	15
10,0	8	7
20,0	4	4

При этом среднеквадратическая погрешность определения смещений не должна превышать ± 15 мм (допустимая погрешность ±30 мм).

2.4. Конструкции пунктов и реперов

2.4.1. Конструкции реперов следует создавать простыми; способ их закладки должен обеспечивать:

— прочную связь репера с горной породой, чтобы сдвижения репера точно соответствовали сдвижениям пород;

— сохранность и неизменность положения реперов на весь срок их службы, а также удобство пользования ими;

— отчетливость отмеченного центра по головке (полусфере) репера;

— устойчивость репера в условиях сезонных изменений температуры и влажности пород, промерзания и оттаивания горных пород.

2.4.2. Для длительного срока службы рекомендуется закладку репера осуществлять следующим образом: в пробуренную скважину диаметром 160—300 мм на глубине ниже зоны промерзания на 0,5 м бетонируют металлический штырь или трубу диаметром 30—50 мм. Цементный раствор заливают только в нижнюю часть скважины на 0,4—0,5 м (рис. 7). Верхний конец металлического стержня репера обрабатывают на полусферу, по которой наносится центр в виде отверстия диаметром не более 2 мм и глубиной 4—5 мм. Для уменьшения сцепления металлического штыря с грунтом его смазывают техническим маслом и заворачи-

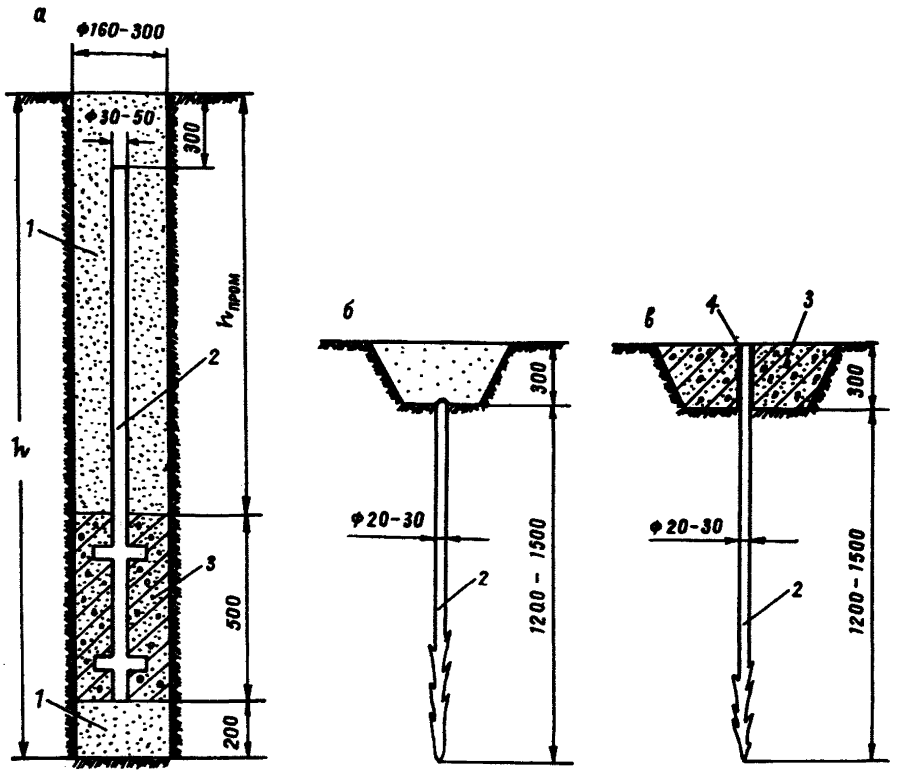

Рис. 7. Типы реперов наблюдательных станций:

а — заглубленный с бетонным якорем; *б* — забивной заглубленный; *в* — забивной с бетонированным оголовком; *1* — песок, *2* — железный штырь, *3* — бетон, *4* — изоляционный материал

вают в полиэтиленовую пленку. Пространство между стенками скважины и штырем выше бетонной подушки заполняют песком или шлаком, плотно утрамбовывают.

Для предотвращения образования ледяной подушки при промерзании в основании репера рекомендуется также укладка пористого основания из материалов, не обладающих капиллярными свойствами (шлак, крупнозернистый песок и др.). Для уменьшения влияния морозного выпучивания и повышения сохранности верхний конец штыря репера необходимо заглублять ниже поверхности земли на 20—30 см.

Во избежание вертикальных смещений репера за счет деформаций грунта, вызываемых изменением его влажности, глубина закладки реперов должна быть не менее 1,5 м.

2.4.3. На срок службы до 3—5 лет при наличии четвертичных отложений мощностью более 1,5—2 м могут быть рекомендованы забивные реперы (см. рис. 7, *б, в*). Длину их выбирают в зависимости от плотности грунта от 1,2—1,5 м до 2 м и более.

В насыпных грунтах для повышения прочности закрепления длину забивных реперов увеличивают до 2—2,5 м. В отдельных случаях верхнюю часть репера целесообразно бетонировать (см. рис. 7, *в*). Для предотвращения выпучивания репер изолируют от бетона. С этой целью его смазывают техническим маслом и обворачивают полиэтиленовой пленкой или толью.

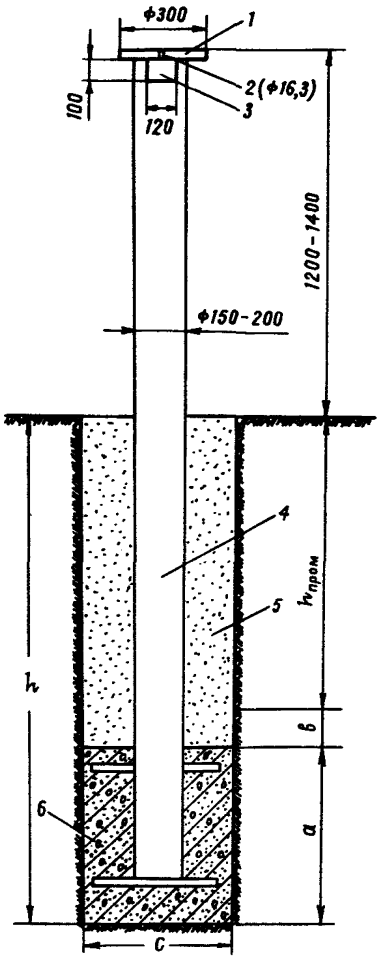

Рис. 8. Конструкция опорного пункта:

1 — верхняя крышка (столик); *2* — отверстие для станового винта прибора; *3* — вырез для доступа к становому винту прибора; *4* — металлическая труба; *5* — песок или шлак; *6* — бетон; *h* — глубина закладки знака; $h_{пром}$ — глубина промерзания грунта; *a* — высота бетонного якоря; *в* — величина возможной ошибки определения глубины промерзания, *c* — ширина (диаметр) бетонного якоря

2.4.4. Для закладки реперов в скальных породах выбуривают углубление, в котором бетонируют металлический штырь диаметром 20—30 мм и длиной 30—50 мм.

2.4.5. При наблюдениях за деформациями бортов карьеров методами засечек и фотограмметрическими методами при закладке опорных пунктов целесообразно применять конструкцию репера (рис. 8), обеспечивающую автоматическое центрирование приборов. Репер состоит из металлической трубы с приваренной сверху пластиной, в которой просверлено отверстие для станового винта прибора. Непосредственно под пластиной в трубе для доступа к становому винту при завинчивании делается вырез. Нижнюю часть пункта с якорем бетонируют ниже глубины промерзания. Для предотвращения выпучивания репер изолируют от грунта (см. п. 2.4.3.).

2.4.6. При расположении рабочих пунктов по периметру карьера над ними могут быть установлены наружные знаки в виде пирамид.

2.4.7. Начальные наблюдения на вновь заложенных наблюдательных станциях выполняют спустя некоторое время после закладки реперов в грунт. Рекомендуется следующий период времени для стабилизации реперов: забивных — 10 сут, бетонируемых в скважинах — 25—30 сут.

2.4.8. Горное предприятие, на территории горного отвода ко-

торого заложены наблюдательные станции, обеспечивает сохранность реперов в течение всего периода наблюдений.

2.5. Приборы и инструменты, применяемые в наблюдениях

2.5.1. При геометрическом нивелировании на наблюдательных станциях применяют высокоточные и точные нивелиры (ГОСТ 10258—76) с увеличением не менее 25× и ценой деления уровня не более 20″ на 2 мм (Н—1, Н—3 и др.), а также нивелиры с компенсаторами (*Ni* 007, *Ni* В3, *Ni* 025 и др.). При нивелировании применяют следующие типы реек (ГОСТ 11158—78) РНО5 — односторонние штриховые инварные; РН—3— двухсторонние шашечные. Применение складных реек недопустимо.

2.5.2. Измерение горизонтальных и вертикальных углов при наблюдениях линейно-угловых сетей и засечек выполняют высокоточными (Т05, Т1) и точными (Т2, 2Т2, Тео 010, ТЕо 010 А, Те В1, Т5 и др.) теодолитами (ГОСТ 10529—79).

Необходимое количество приемов измерений в зависимости от требуемой точности измерения горизонтальных углов и типа применяемого теодолита, приведено в табл. 5.

Таблица 5

Количество приемов измерений в зависимости от требуемой точности измерений горизонтальных углов и типа теодолита

Теодолит	Количество приемов измерений при средней квадратической погрешности угла, С		
	2″	5″	10″
Т1	4	2	—
Т2, 2Т2, Тео 010, Те В1	6	3	2
Т5, Т5К, Тео 020	—	4	3

Инструментальная погрешность измерения вертикальных углов для теодолитов ОТ—02, Т2 и им равноточных составляет 3—5″.

Для привязки наблюдательной станции можно использовать технические теодолиты (Т15, Т15М, Т30).

2.5.3. Тахеометрическую съемку оползней и обрушений производят тахеометрами *Dahlta*020, Та—Д1, ТД, ВГТ—006, ТВ и др.

2.5.4. При выполнении линейных измерений при любом методе наблюдений целесообразно использовать светодальномеры, обеспечивающие высокую точность измерений независимо от величины измеряемого расстояния. Для наблюдений можно применять любой светодальномер, позволяющий измерять

расстояния до 500—2000 м со средней квадратической погрешностью менее 10 мм. Основные характеристики приборов, применяемых в нашей стране, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Основные параметры светодальномеров и электронных тахеометров

Прибор	Диапазон измерений, м	Максимальный угол наклона, градус	Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний 10^{-6} Д, мм	Продолжительность измерений, мин	Масса комплекта, кг
МСД-1М (СССР)	1—500	—45+90	2+5	8	10,0 (светодальномера)
Мекометр 3000 (Швейцария)	1—2500	—45+40	0,2+1	2—3	14,5
ДК-001 (СССР)	0,5—500	—40+90	0,8+1,5	—	7,5
Геодиметр 112 (Швеция)	0,2—3000	—30+30	5+5	0,2	2,6
ЕОК-2000 (ГДР)	0,3—1500	—40+40	10*	1—2	12,0
ЕОТ-2000 (ГДР)	0,2—2000	—42+50	10*	0,2	10,8
Рекота (ГДР)	0,3—3000	—	5+2	0,2	12,5
Геодиметр 710 (Швеция)	2—5000	—45+90	5+5	0,2	14,5
ТС1 (Швейцария)	2—2000	—40+40	5+5	0,2	9,8
Эльта 2 (ФРГ)	0,2—2500	—	5+2	0,1	13,5
RED-1A (Япония)	0,5	40+40	5+5	0,2	3,5

*Погрешность постоянная

2.5.5. Погрешность измерения расстояний светодальномерами зависит от погрешности определения частот модуляции, показателя преломления воздуха, разности фаз и учета приборной поправки.

2.5.6. Все светодальномеры характеризуются высокой стабильностью частот кварцевых генераторов. Поэтому проверку частот достаточно производить 1—2 раза в год и обязательно после ремонта прибора. При работах со светодальномерами МСД—1М в измеренные величины необходимо вводить поправки за отклонение частоты модуляции от номинальной.

2.5.7. При определении температуры воздуха и давления с точностью до 1° С и 3 мм рт. ст. (40 Па) погрешности определения коэффициента преломления не превысят $1 \cdot 10^{-6}$ измеряемого расстояния.

2.5.8. Погрешность измерения разности фаз определяет точность прибора и зависит от параметров фазовращателя и числа приемов измерений. При измерениях длин в одном направлении

число приемов измерений должно быть не менее двух. В том случае, если измерения производятся в прямом и обратном направлении, можно ограничиться одним приемом.

2.5.9. Определение приборной поправки следует производить равномерно для всего фазового цикла через 0,1 длины полуволны. Если отклонения отдельных значений от среднего носят случайный характер и их значения не превосходят удвоенной величины погрешности измерения разности фаз, то за окончательное значение принимают среднее по всем определениям. В противном случае приборную поправку вводят в каждое измеряемое расстояние в зависимости от величины фазового цикла.

Определение поправки производят на специальных лабораторных или полевых компараторах, а также измерением отрезков во всех комбинациях.

2.5.10. Измерение расстояний между реперами профильных линий можно производить также стальными рулетками длиной не менее 30 м и длиномером АД—1М. Компарирование рулеток следует производить через каждые 2—3 серии наблюдений. Погрешность компарирования не должна превышать 1:20 000 длины рулетки. Вынос скрытых центров осуществляют с помощью оптических (лотаппаратов) или жестких отвесов ОЖ—3.

3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

3.1. Наблюдения на профильных линиях

3.1.1. Наблюдения на профильных линиях позволяют получить наиболее полную картину распределения деформаций в прибортовом массиве, определить величины смещений, направления векторов и скорости смещений участков поверхности на различных расстояниях от верхней бровки и по всей высоте борта. Поэтому там, где это возможно (свободная и ровная поверхность и пологая верхняя часть борта), предпочтительнее вести наблюдения по профильным линиям.

3.1.2. Профильные линии закладывают, как правило, на поверхности перпендикулярно простиранию борта или по направлениям, совпадающим со смещением. В целях контроля определения смещений и деформаций рекомендуется закладка парных профильных линий. Расстояние между такими линиями должно быть около 20—50 м в зависимости от глубины разреза.

Во всех случаях, когда бортами карьера вскрываются подземные горные выработки (штольни, штреки, квершлаги и др.), направленные вкрест простирания бортов, последние при необходимости восстанавливаются и в них закладывают наблюдательные профильные линии; закладка наблюдательных профильных линий в горных выработках обеспечивает хорошую сохранность реперов и позволяет проследить развитие деформаций внутри прибортового массива.

В отдельных случаях для долговременных наблюдений на глубоких карьерах проходят специальные горные выработки нормально к простиранию бортов для закладки в них наблюдательных профильных линий; выработки располагают на различных горизонтах бортов, в том числе вблизи или непосредственно на поверхности (траншейным способом с последующим секционным креплением и засыпкой) территории, примыкающей к борту.

3.1.3. Закладка профильных линий при временных инструментальных наблюдениях производится в наименее устойчивых участках борта.

Наименее устойчивые участки бортов карьеров характеризуются следующими признаками:

— крутым углом заоткоски борта или общим крутым углом откоса многоярусного отвала;

— большой глубиной карьера или высотой отвала;

— подрезкой слоев в основании бортов и слоистым основанием отвалов;

— наличием тектонических нарушений;

— наличием слабых контактов и пластичных слоев в основании бортов или отвалов и ослаблений, обусловленных спецификой

древнего и современного рельефа на отдельных участках (балки, ложбины стока, карстовые проявления и т. д.);

— обводненностью горных пород, увлажнением отвальных масс атмосферными осадками и обводненностью основания отвалов;

— наличием на бортах или отдельных уступах больших навалов породы;

— сейсмическим воздействием взрывов и вибрацией от работы горно-транспортного оборудования (влияющих на устойчивость отдельных уступов.)

3.1.4. Густота сети наблюдательных профильных линий зависит от основной цели наблюдений, размеров (глубины) разреза, изменчивости инженерно-геологических условий и др.

Наблюдательные профильные линии при долговременных (фундаментальных) наблюдениях закладывают по наиболее типичным геологическим разрезам на всех бортах, но не менее 1 линии на 1 км протяженности борта.

С целью охраны сооружений закладывают две наблюдательные линии, располагаемые вдоль внешних сторон охраняемого объекта.

На участках со слабо изученными сложными инженерно-геологическими условиями и участках с малым коэффициентом запаса устойчивости наблюдательные линии закладывают из расчета одна линия на $(1 \div 1{,}5) \cdot H$ протяжения борта. Одна из линий должна быть спаренной.

При постановке наблюдений на деформирующемся борту с четко обозначившимися контурами формирующегося оползня закладывают 1—3 линии (в зависимости от протяженности оползня) на наиболее характерных профилях.

3.1.5. Крайние пункты профильной линии должны быть заложены вне зоны деформаций, возникающих при углубке карьера до проектной глубины, а также вне зоны влияния подземных горных работ при комбинированном способе разработки.

Профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы профильных линий закладывают вне зоны деформаций в количестве не менее трех. При невозможности удалить крайние реперы за зону деформаций, например, при застроенности территории или при значительных углах наклона поверхности, примыкающей к карьеру, их положение следует контролировать методами линейно-угловых построений. Средняя квадратическая погрешность определения смещения этих реперов не должна превышать $\pm$ 10 мм.

Расстояние между рабочими реперами зависит от их расположения на профильной линии. На каждой площадке (берме) уступа или яруса отвала должно быть заложено не менее двух реперов — один вблизи бровки уступа, другой — у подошвы вышележащего уступа. Реперы закладывают так, чтобы была обеспечена безопасность наблюдателя при работе на них.

Расстояние между реперами на земной поверхности в зависимости от их удаления от верхней бровки борта карьера принимают следующими:

— на участке призмы возможного оползания (обрушения) 5—10 м;

— с удалением от верхней бровки карьера 20 м;

— расстояние между опорными реперами — не менее 20 м.

3.1.6. Для контроля положения опорных реперов в районе наблюдательной станции закладывают исходные реперы, в качестве которых могут служить также пункты государственных геодезических сетей и сетей сгущения, расположенные вне зоны влияния карьеров.

3.1.7. Наблюдения на профильных линиях заключаются в периодическом определении отметок рабочих реперов и горизонтальных расстояний их относительно опорных. Отметки реперов определяют геометрическим или тригонометрическим нивелированием, плановое положение — линейными измерениями вдоль профильной линии. В отдельных случаях, когда между реперами, расположенными на площадках разных уступов, нет возможности измерить расстояние, плановое положение этих реперов определяют методами засечек.

3.1.8. Геометрическое нивелирование применяют для контроля положения опорных реперов профильных линий относительно исходных, а также для определения превышений между рабочими реперами на участках с небольшими наклонами — до 10—15°. При выдержанном рельефе склона, прилегающего к борту карьера, геометрическое нивелирование можно применять и при углах наклона до 20—25°.

Определение отметок опорных реперов и нивелирование реперов профильных линий производят по методике нивелирования III класса в соответствии с Инструкцией [1].

3.1.9. Нивелирование профильных линий ведут по реперам в прямом и обратном направлениях по двум шкалам реек; невязки между прямым и обратным ходами не должны превышать: $f_{доп} = \pm 10\sqrt{L}$ или $f_{доп} = \pm 2{,}6\sqrt{n}$, где L — длина хода (в одном направлении), км; n — число станций в ходе.

Расхождения в превышениях между соседними реперами профильных линий из прямого и обратного хода не должны превышать 2 мм.

3.1.10. Тригонометрическое нивелирование производят для определения превышений и горизонтальных проложений между реперами профильных линий на участках с большими углами наклона поверхности и между реперами, расположенными на площадках разных уступов. Угловые измерения при этом производят теодолитами, обеспечивающими среднюю квадратическую погрешность измерения вертикальных углов 3—5″, а линейные — светодальномерами.*

* Линейные измерения рулетками из-за больших погрешностей измерений могут быть рекомендованы при контроле больших величин смещений на активных оползнях

3.1.11. Расстояния между реперами при тригонометрическом нивелировании с использованием светодальномеров могут достигать значительных величин, которые определяются диапазоном работы светодальномера и условиями видимости между реперами. При расстояниях свыше 150—200 м значительное влияние на точность тригонометрического нивелирования оказывает вертикальная рефракция. Это связано с тем, что линии, измеряемые при наблюдениях на карьерах и оползнях, проходят, как правило, близко к поверхности, т. е. в неустойчивых слоях атмосферы. Рефракция в этих слоях подвержена сильным колебаниям и аномалиям, вызванным изменением освещения, строением подстилающей поверхности, направлением и скоростью ветра. В связи с этим нельзя получить надежного для всех случаев выражения рефракции, а можно лишь уменьшить ее влияние на результаты измерений.

3.1.12. Основные способы уменьшения влияния вертикальной рефракции:

— двухстороннее измерение вертикальных углов;

— определение превышений между двумя направлениями в примерно одинаковых условиях;

— выбор измеряемых интервалов при тригонометрическом нивелировании, обеспечивающих минимальное влияние рефракции.

3.1.13. При двухстороннем тригонометрическом нивелировании погрешности определения горизонтальных проложений и превышений определяют по формулам:

$$m_s^2=\left(\frac{\cos\delta}{\rho\sqrt{2}}m_D\right)^2+\left(\frac{D\sin\delta}{\rho\sqrt{2}}m_\delta\right)^2+\left(\frac{D^2\sin^2\delta}{4R}m_{\Delta k}\right)^2; \qquad (1)$$

$$m_{\Delta H}^2=\left(\frac{\sin\delta}{\rho\sqrt{2}}m_D\right)^2+\left(\frac{D\cos\delta}{\rho\sqrt{2}}m_\delta\right)^2+\left(\frac{D^2\cos^2\delta}{4R}m_{\Delta k}\right)^2+2m_i^2, \qquad (2)$$

где D — наклонное расстояние между точками, м; δ — угол наклона линии, градус; R — средний радиус Земли, м; m_D, m_δ, m_i — соответственно, погрешности измерения расстояния, вертикального угла и высот приборов; $m_{\Delta k}$ — погрешность, вызванная неодинаковостью коэффициентов рефракции при прямых и обратных измерениях.

Величина $m_{\Delta k}$ зависит от неодновременности измерения прямых и обратных направлений. Желательно, чтобы моменты измерения в прямом и обратном направлении были по возможности ближе и метеоусловия одинаковы. При измерениях в течение одного дня, исключая время, близкое к заходу и восходу солнца, или в разные дни с примерно одинаковыми метеоусловиями погрешность $m_{\Delta k}$ можно принять равной $\pm 0{,}5$.

3.1.14. Для обеспечения примерно одинаковых условий для визирных лучей измерения следует выполнять по схеме, показанной на рис. 9. При измерениях светодальномер и теодолит

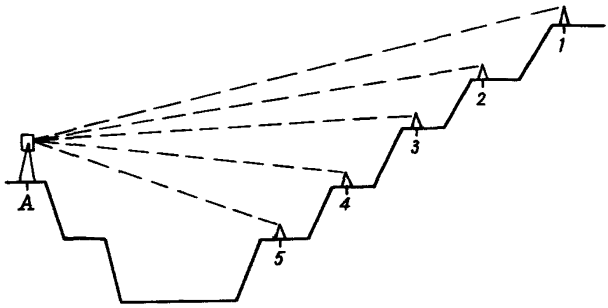

Рис. 9. Схема измерения расстояний, обеспечивающая относительно одинаковые условия для визирных лучей

устанавливают над точкой A на противоположном борту. По реперам 1—5, расположенным на разных уступах, последовательно измеряют наклонное расстояние и угол наклона.

Превышение между реперами профильной линии определяют по формулам:

$$\Delta H_{i,\ i+1} = \Delta H_{A,\ i+1} - \Delta H_{A,\ i}; \tag{3}$$

$$S_{i,\ i+1} = S_{A,\ i} - S_{A,\ i+1}. \tag{4}$$

В этом случае исключается влияние на точность нивелирования погрешности измерения высоты прибора и уменьшается влияние вертикальной рефракции, так как условия прохождения визирных лучей на соседние уступы примерно одинаковы и величину $m_{\Delta k}$ можно принять равной 0,1—0,2.

Погрешности определения искомых величин определяют по формулам:

$$m_s^2 = 2\left[m_D^2 \cos^2\delta + (m_\delta^2/\varrho^2) D^2 \sin^2\delta\right] + \\ + \left\{(D^4 \sin^4\delta) / 4R^2\right\} m_{\Delta k}^2; \tag{5}$$

$$m_{\Delta H}^2 = 2\left\{m_D^2 \sin^2\delta + (m_\delta^2 / \varrho^2) D^2 \cos^2\delta + m_v^2\right\} + \\ + (D^4 \cos^4\delta / 4R^2) m_{\Delta k}^2. \tag{6}$$

3.1.15. При тригонометрическом нивелировании по профильным линиям расстояния, измеряемые светодальномером, могут варьироваться в довольно широких пределах. При этом, с увеличением измеряемого расстояния погрешности определения наиболее удаленного репера возрастают за счет погрешностей измерения вертикальных углов и влияния рефракции, а при их уменьшении увеличивается число стоянок, что также ведет к увеличению погрешности положения наиболее удаленного репера. В связи с этим оптимальные расстояния при тригонометрическом нивелировании, обеспечивающие минимальные погрешности

наиболее удаленного репера, равны 150 м при $m_D = 3$ мм и 250—300 м при $m_D = 10$ мм.

Поэтому тригонометрическое нивелирование по профильной линии с использованием светодальномера следует производить с учетом величин оптимальных расстояний. На рис. 10 показана

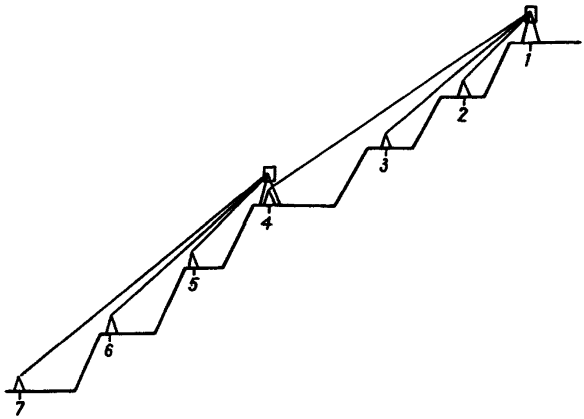

Рис. 10. Схема тригонометрического нивелирования с использованием светодальномера

примерная схема такого нивелирования; расстояния между реперами 1—4 и 4—7 являются оптимальными.

3.1.16. Выбор схем тригонометрического нивелирования профильных линий следует производить, исходя из конкретных условий наблюдений, а именно, из условий видимости между реперами, расположенными на разных уступах, и обеспечения минимальных погрешностей в определении положения реперов.

3.1.17. При производстве тригонометрического нивелирования с использованием светодальномеров, у которых отсутствуют приспособления для измерения вертикальных углов, возможны следующие схемы тригонометрического нивелирования:

— с независимым измерением длин и вертикальных углов;

— с последовательным выполнением угловых и линейных измерений;

— с одновременным измерением длин и углов наклона.

3.1.18. При тригонометрическом нивелировании (рис. 11) с раздельным выполнением угловых и линейных измерений светодальномером, установленным над точкой A на высоте i_c, производится измерение расстояния D до отражателя над точкой B, высота установки отражателя v_c. Измерение зенитного расстояния Z или угла наклона выполняют отдельно при совершенно других высотах теодолита $i_т$ и сигнала $v_т$. Для вычисления

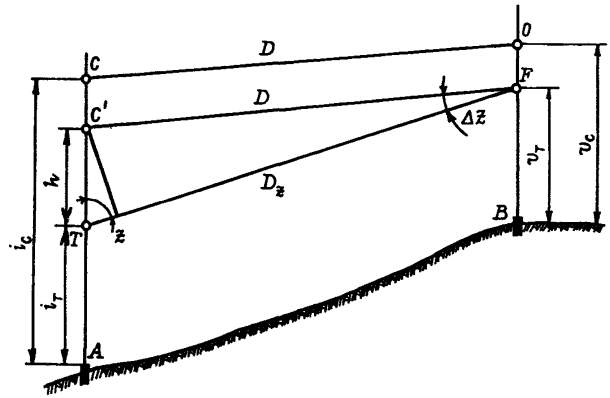

Рис. 11. Соотношение геометрических элементов при раздельном выполнении угловых и линейных измерений

горизонтального проложения и превышения между точками A и B необходимо привести измеряемое расстояние к лучу визирования теодолита или наоборот.

В обоих случаях предварительно определяют вспомогательную величину h (см. рис. 11):

$$h = i_c - i_т - (v_c - v_т). \qquad (7)$$

Поправка для приведения измеренной длины к линии зенитного расстояния:

$$\Delta D = h \cos z - h^2 \sin^2 z \,/\, (2D). \qquad (8)$$

Для приведения зенитного расстояния к длине поправку вычисляют по одной из формул:

$$\Delta z = \arcsin (h \sin z \,/\, D) \qquad \text{или} \qquad \Delta z = (h \sin z \,/\, D)\varrho.$$

Знаки поправок определяют знаком величины h.

Данную схему тригонометрического нивелирования целесообразно применять при значительных длинах линий, в случаях, когда линейные измерения выполняют ночью. Кроме того, по приведенным формулам можно вычислять обратные измерения при двухстороннем нивелировании, если длина измерена только в одном направлении.

3.1.19. При тригонометрическом нивелировании с последовательным выполнением линейных и угловых измерений наблюдения выполняют в следующем порядке. На точке, с которой производят измерения, устанавливают светодальномер и измеряют наклонное расстояние до отражателя, расположенного на другом конце линии. Затем светодальномер осторожно

извлекают из подставки и на его место устанавливают теодолит, т. е. применяют автоматическое центрирование теодолита. Измеряют зенитное расстояние Z на центр отражателя. Так как $v_c = v_т = v$, то формула (7) примет вид:

$$h = i_c - i_т. \tag{9}$$

При этом величина h является постоянной для данного сочетания светодальномера и теодолита и может быть очень точно определена до начала полевых работ.

Необходимость в вычислении поправок отпадает, если точка визирования при измерении зенитных расстояний и центр отражателя смещены на такую же величину h, как и горизонтальные оси светодальномера и теодолита. Это может быть достигнуто при использовании жесткого отвеса и специальной насадки для установки отражателя на жестком отвесе ОЖ—3 (рис. 12). Насадка состоит из *2* частей — верхней *6* и нижней *2*, которые скрепляются между собой винтами с гайками *3*. Нижняя часть одевается на трубу жесткого отвеса *1* и закрепляется винтом *7*. В отверстие в верхней части насадки устанавливают отражатель светодальномера и закрепляют винтом *5*. Установку отражателя на высоте h по отношению к целику отвеса достигают перемещением всей насадки по трубе жесткого отвеса. Возможны пределы перемещения от 110 до 160 мм. Это обеспечивает возможность применения для угловых измерений практически всех теодолитов. Для удобства фиксирования необходимых высот установок отражателей на нижней части насадки прикреплена линейка *8*.

3.1.20. При одновременном измерении длин светодальномером и углов наклона теодолитом может применяться схема (рис. 13).

Над репером 1 интервала $1—i$ центрируют теодолит. От направления между крайними реперами интервала откладывают угол $\beta = 90°$ и на расстоянии 50—70 см закрепляют точку C', над которой устанавливают светодальномер. Определяют величины d и h. Затем на каждый репер измеряют светодальномером расстояние D, теодолитом — зенитное расстояние Z и по ординатометру поперечное отклонение репера от направления между крайними реперами. Ординатометр крепят непосредственно на отражатель.

Горизонтальное положение, приведенное к створу профильной линии, и превышение могут быть вычислены по формулам:

$$S = \left(D - \frac{d^2}{2D} - \frac{(h \sin z)^2}{2D} + h \cos z\right) \sin (z + \Delta z); \tag{10}$$

$$\Delta H = \left(D - \frac{d^2}{2D} - \frac{(h \sin z)^2}{2D} + h \cos z\right) \cos (z + \Delta z) + i_т - v_т, \tag{11}$$

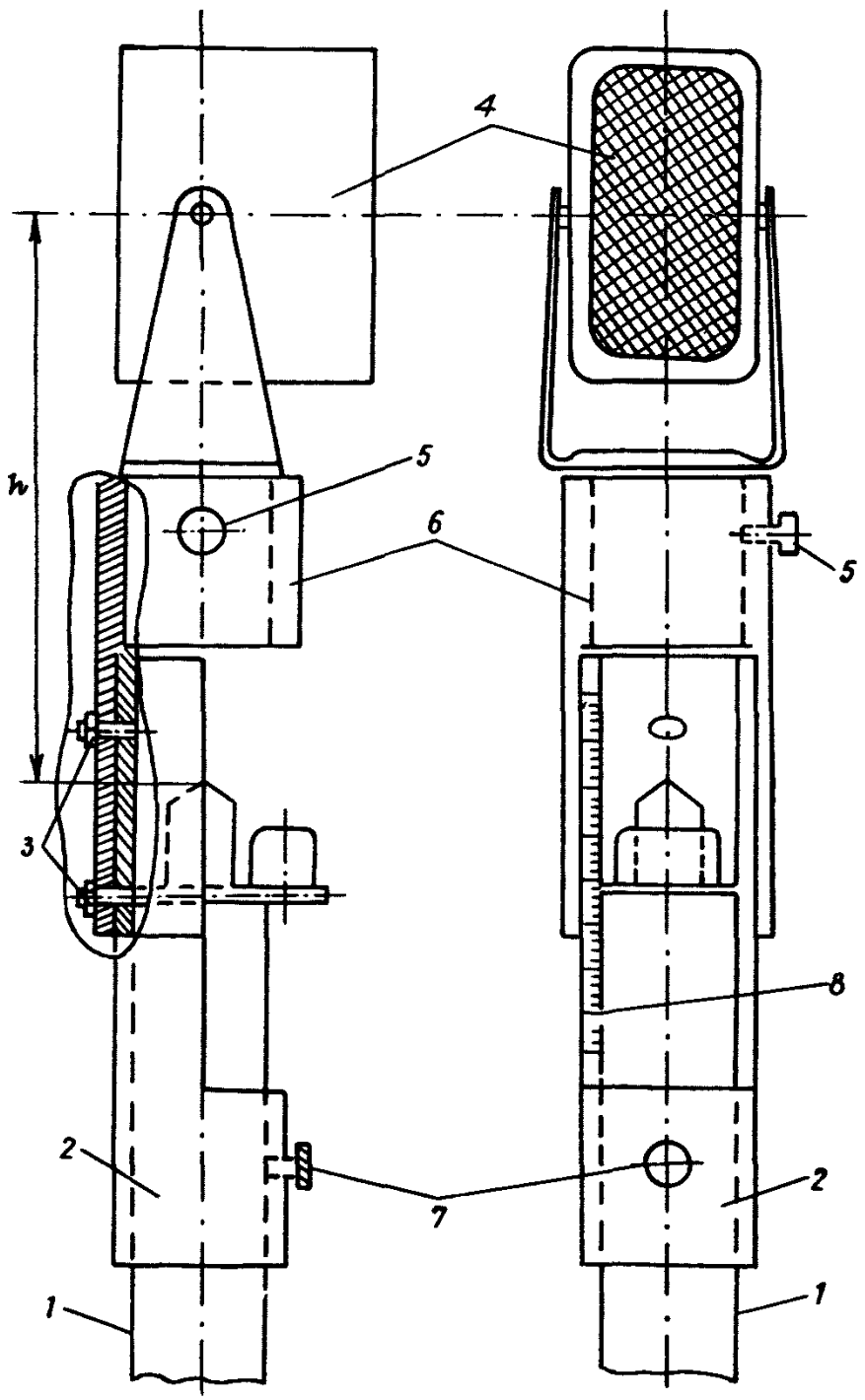

Рис. 12. Насадка на жесткий отвес ОЖ—3 для автоматического центрирования отражателей

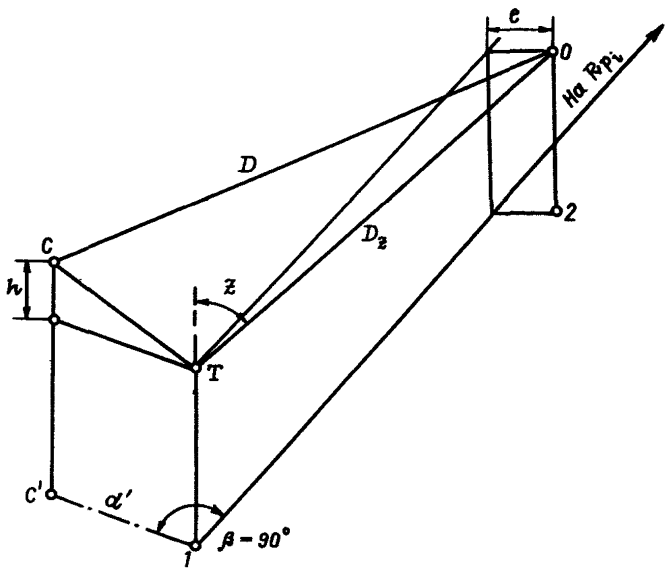

Рис. 13. Соотношение геометрических элементов при одновременном выполнении угловых и линейных измерений

где $d = d^1 + e$; e — положительная величина при расположении точек C и O по другой стороне створа; в противном случае — отрицательная;

$$\Delta z = \frac{e^2_0}{2D} \operatorname{ctg} z. \qquad (12)$$

Величина поправки Δz не превышает 1″ при $e:D \geqslant 1:300$ и ею можно пренебречь. Если высоты визирования теодолита и светодальномера сместить на величину h, т. е. применить для центрирования жесткий отвес с насадкой, то формулы (10) и (11) значительно упрощаются и принимают вид:

$$S = [D - d^2/(2D)] \sin(z + \Delta z); \qquad (13)$$

$$\Delta H = [D - d^2/(2D)] \cos(z + \Delta z) + i_т - v_т, \qquad (14)$$

где $v_т$ — высота жесткого отвеса, м.

3.1.21. Камеральная обработка результатов наблюдений на профильных линиях производится непосредственно по окончании каждой серии измерений и включает следующее:

— проверку полевых журналов;

— вычисление и уравнивание отметок всех реперов наблюдательных станций;

— вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий;

— составление по каждой профильной линии ведомостей:

вертикальных смещений реперов, горизонтальных смещений реперов вдоль профильной линии, горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий), величин сдвигов, скоростей смещения реперов по направлению векторов смещения;

— составление и пополнение графических материалов: пополненного плана наблюдательной станции и карьера; вертикальных разрезов по каждой профильной линии с уточнением литологии пород и положения горных работ на момент закладки станций и на момент наблюдения появившихся трещин и заколов, графиков вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций по каждой профильной линии, графиков скоростей смещения реперов по направлению векторов.

3.1.22. Вертикальный и горизонтальный масштабы разрезов по профильным линиям должны быть одинаковыми и равными масштабу плана наблюдательных станций.

Масштабы графиков вертикальных и горизонтальных смещений, сдвигов, горизонтальных деформаций выбирают, исходя из удобства и наглядности изображения. При этом масштаб расстояний между реперами принимают таким же, как на вертикальных разрезах.

Для удобства совместного рассмотрения графиков сдвижений и деформаций, положения горных работ, строения толщи пород, слагающих борт карьера, и других горно-геологических факторов в целях установления степени влияния этих факторов на процесс развития деформаций, рекомендуется составлять графики и вертикальные разрезы на одном листе.

На графики вертикальных и горизонтальных смещений следует наносить границы возможных погрешностей их определения. Это позволит правильно интерпретировать полученные величины, особенно при небольших смещениях реперов.

3.1.23. Для изучения смещений заколовшихся массивов, возникших внутри разреза, могут быть применены створные линии. Оптимальными условиями для закладки таких линий являются: наличие достаточно широких горизонтальных берм на уступах и размеры деформирующегося массива по ширине до 300—400 м. По створным линиям можно получить полный вектор смещения и проследить неравномерность смещений по ширине деформирующегося массива. Для изучения смещений заколовшегося массива по падению борта можно заложить такие линии по 3—4 бермам. Для закладки створной линии выбирают широкую берму, позволяющую расположить в створе реперы как на деформирующемся массиве (рабочие реперы), так и вне его (опорные реперы). На линии измеряют:

— отклонения (ординаты) реперов от створа, фиксируемого визирной осью теодолита между двумя опорными реперами, расположенными по обе стороны от заколовшегося массива;

— расстояния между реперами;

— вертикальные смещения реперов.

При камеральной обработке определяют вертикальные отметки реперов, горизонтальные расстояния рабочих реперов от опорного репера и составляющие смещения вдоль створа линии Δy, перпендикулярно створу Δx и по высоте ΔZ. При использовании для измерений традиционных приборов и инструментов погрешность положения репера находится в пределах ± 20—30 мм, и поэтому створными линиями можно надежно уловить подвижки величиной 100 мм и более.

3.2. Использование линейно-угловых сетей для наблюдений за деформациями бортов карьеров

3.2.1. Создание линейно-угловых сетей целесообразно для изучения деформаций бортов карьеров в начальной стадии деформирования, контроля планово-высотного положения опорных реперов профильных линий, а также при наблюдениях за смещениями крупных оползней.

3.2.2. При проектировании линейно-угловых сетей исходят прежде всего из плотности рабочих пунктов, которая непосредственно связана с конкретными задачами наблюдений. В большинстве случаев достаточно располагать пункты равномерно по всему периметру карьера. Расстояние между пунктами следует принимать равным $(1—1{,}5)H$, где H — высота борта. Это позволит контролировать устойчивость бортов на всем протяжении, а развитая сеть будет служить основой для расширения наблюдений, привязанных к пунктам сети (метод створов, профильных линий, засечек).

При большой глубине карьера рекомендуется располагать пункты линейно-угловых сетей и на площадках уступов.

3.2.3. Опорные пункты для линейно-угловых сетей закладывают вне зоны влияния горных работ. Количество опорных пунктов, места их закладки зависят от формы и размеров сети. Необходимо, чтобы расстояния от опорных пунктов до определяемых не превышали 2 км при минимальном количестве опорных пунктов 3.

3.2.4. После решения вопроса о местах закладки рабочих пунктов выбирают метод измерений. Предпочтение отдается методу (триангуляции, трилатерации, полигонометрии и любому их сочетанию), который обеспечивает требуемую точность определения смещений при наименьшем объеме полевых измерений.

При расположении пунктов на площадках уступов рекомендуется использовать для наблюдений линейно-угловые пространственные сети.

Для сравнительной оценки метода построения сетей в качестве критерия следует принимать погрешность положения пункта в направлении вероятного смещения. В том случае, когда направление смещений невозможно точно прогнозировать,

в качестве критерия необходимо использовать максимальную погрешность в определении положения точки, т. е. большую полуось эллипса погрешностей.

Отмеченные критерии в большинстве случаев предполагают получение наиболее полной оценки планового положения пункта — педальной кривой (подеры) эллипса. Полная оценка точности наблюдательной сети может быть осуществлена только с помощью специальных программ для ЭВМ. Удобной для этих целей является программа, разработанная А. В. Хлебниковым [4], которая позволяет уравнивать и оценивать сети, состоящие из любых комбинаций полигонометрии, триангуляции и трилатерации, при этом измерения могут быть неравноточными.

3.2.5. Погрешность определения положения пункта по интересующему направлению вычисляют по формуле:

$$M_\varphi = \sqrt{a^2 \cos^2(\varphi - \theta) + b^2 \sin^2(\varphi - \theta)}, \qquad (15)$$

где a и b — большая и малая полуоси эллипса, мм; θ — дирекционный угол большой оси, градус; φ — дирекционный угол вероятного направления смещения, градус.

Вероятное направление смещений, используемое для анализа точности схем наблюдений, в большинстве случаев следует принимать перпендикулярным простиранию борта. При наличии поверхностей ослабления, расположенных диагонально к простиранию откосов, направление смещений принимают с учетом элементов залегания этой поверхности.

Ниже приведены некоторые рекомендации по выбору рациональных схем наблюдений для наиболее характерных форм карьеров в плане — круглой и вытянутой.

3.2.6. Сложность анализа точности схем наблюдений для карьера круглой формы (рис. 14, а) состоит в том, что все пункты (1—9) имеют различное направление вероятных смещений.

Наиболее эффективной схемой наблюдений в данных условиях является замкнутый полигонометрический ход вокруг карьера с измерением светодальномером дополнительных сторон до наиболее удаленных пунктов.

Сети триангуляции и трилатерации при ограниченном числе опорных пунктов для обеспечения необходимой точности требуют значительно большего объема измерений. Их недостатком также является сложность изменения схемы наблюдений при продвижении одного из бортов.

3.2.7. Проектирование наблюдений за деформациями вытянутых протяженных бортов осуществляют с учетом того, что направление смещений всех пунктов можно принять одинаковым. В этих условиях смещения целесообразно определять методом полигонометрических ходов, параллельных простиранию борта и привязанных с обеих сторон в угловом отношении (см. рис. 14, б). Погрешности определения смещений в этом случае зависят, в основном, от погрешностей измерения углов

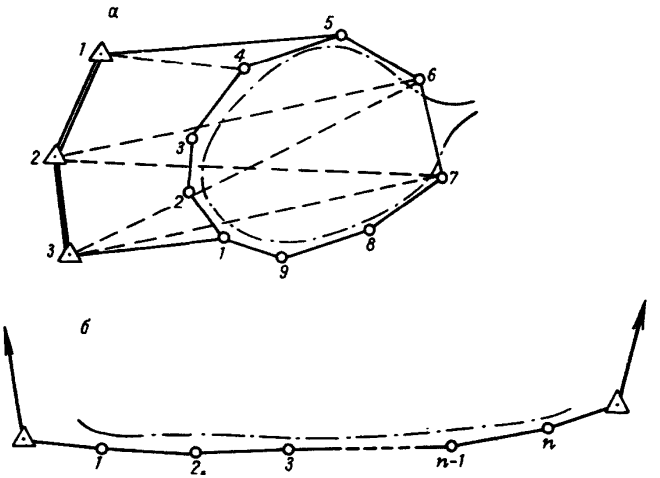

Рис. 14. Схемы линейно-угловых сетей для наблюдений за деформациями бортов карьеров в начальной стадии:

а — для карьера круглой формы; *б* — для карьера вытянутой формы

m_β, величины которых при заданной величине погрешности определения смещения $m_{\Delta S}$ рассчитывают по формуле:

$$m_\beta = m_{\Delta SQ}/\sqrt{n(n+1)(n^2+n+1)/[6(2n+1)]} = m_{\Delta SQ}K/L, \quad (16)$$

где S — средняя длина сторон, м; $n=n_c/2$; n_c — число сторон между опорными пунктами; L — длина хода, м.

Величину K определяют по графику (рис. 15), который используют при проектировании наблюдений.

Пример. Допустим, что требуется найти среднюю квадратическую погрешность измерения углов при $L=2$ км, $S=200$ м для обеспечения $m_{\Delta S}=1$ см. Число сторон будет $n_c=10$, а определенная по графику (см. рис. 15) $K=2{,}7$, тогда:

$$m_\beta = (0{,}01 \cdot 206265 \cdot 2{,}7)/2000 \leqslant 2{,}8.$$

Можно решить и обратную задачу, т. е. при заданной точности определения смещений и принятой точности измерения угла рассчитать оптимальное значение длины стороны хода S (по числу сторон n).

Для этого по формуле (16) находят K, а по графику — n.

3.2.8. Измерения в линейно-угловых сетях выполняют теодолитами и светодальномерами, которые обеспечивают точность, принятую при проектировании сети. Количество приемов при измерении углов зависит от типа теодолита и необходимой точности измерения углов, полученной из предрасчета точности сети. При больших углах наклона линий (свыше 15°) необхо-

димо учитывать, что погрешности измерения горизонтальных углов в значительной мере зависят от невертикальности главной оси вращения теодолита. В этих случаях необходимо в измеренные направления вводить поправки за невертикальность главной оси вращения по формуле:

$$y = I/\operatorname{tg} z = b\tau/\operatorname{tg} z = b\tau \operatorname{ctg} \delta, \qquad (17)$$

где I — наклонность оси, учитываемая уровнем при алидаде и по накладному уровню, с; b — наклонность уровня; τ — цена деления уровня, с; z и δ — соответственно зенитное расстояние и угол наклона наблюдаемого направления, градус.

Методика определения расстояний в сетях зависит от типа применяемого светодальномера, однако в любом случае расстояние должно быть измерено не менее двух раз при независимых центрировках приемопередатчика и отражателя.

Следует стремиться, чтобы схема измерений и методика были неизменны во всех сериях наблюдений. Это обеспечит равноточность определения положения пунктов и облегчит анализ наблюдений.

3.2.9. Определение вертикальных смещений пунктов плановых линейно-угловых сетей производят геометрическим нивелированием по методике нивелирования III класса.

3.2.10. Камеральная обработка наблюдений включает следующие этапы:

— проверку полевых журналов;

— вычисление средних значений углов и фактических угловых невязок;

— вычисление высотных отметок всех пунктов;

— вычисление горизонтальных проложений измеренных расстояний для плановых сетей;

— вычисление координат рабочих пунктов на ЭВМ по специальным программам уравнивания линейно-угловых сетей;

— определение плановых смещений пунктов по разностям их координат в соответствующих сериях наблюдений.

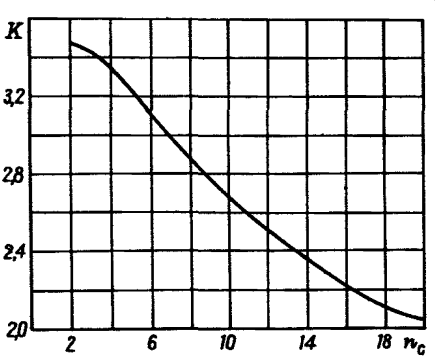

Рис. 15. График для установления параметров, используемых при оценке погрешностей измерения углов и длин полигонометрических ходов

3.3. Наблюдения с помощью методов геодезических засечек

3.3.1. Методы геодезических засечек применяют для определения смещений отдельных рабочих пунктов.

В зависимости от конкретных условий наблюдений, наличия

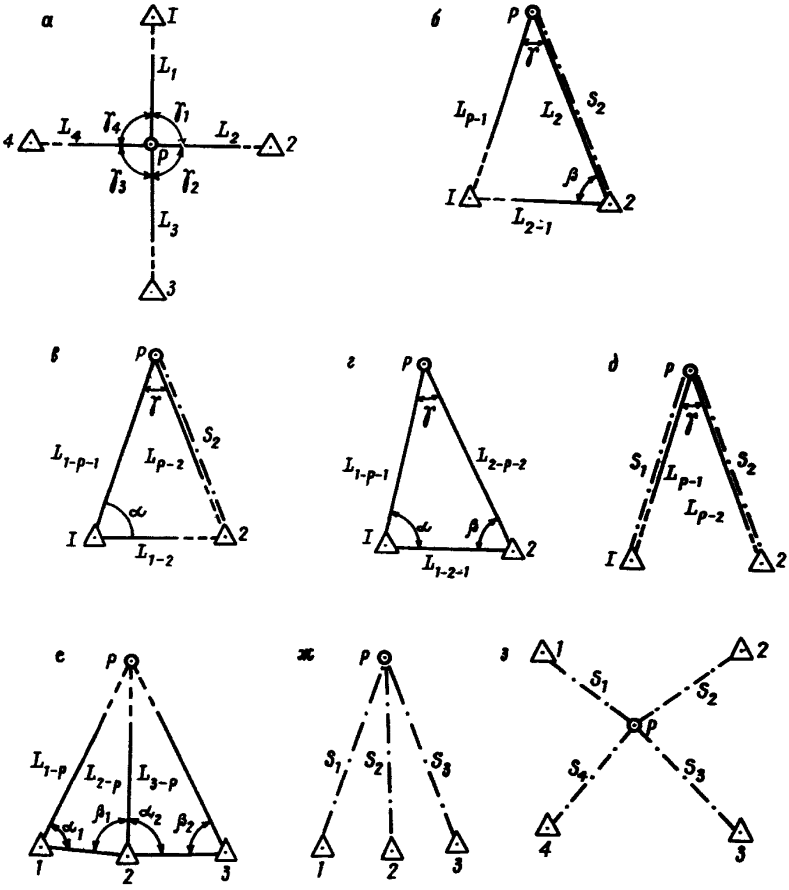

Рис. 16. Схемы засечек:

1—4 — опорные пункты, *R* — определяемый пункт, *S* — измеренные длины, *L* — измеренные направления

соответствующих геодезических приборов и требуемой точности наблюдений смещения пунктов в горизонтальной плоскости определяют засечками (рис. 16); им соответствуют схемы: *е* — прямой угловой; *а* — обратной угловой; *г* — комбинированной угловой; *ж, з* — линейной; *б, в, д* — линейно-угловой.

3.3.2. При выборе вида засечки необходимо учитывать удобство измерений, а также время, затрачиваемое на выполнение полевых работ. Следует стремиться к менее трудоемким схемам измерений.

Схемы засечек должны удовлетворять следующим требованиям:

— иметь минимальное количество опорных пунктов при условии обеспечения избыточных наблюдений;

— обеспечивать преемственность наблюдений в случае нарушения или уничтожения одного из опорных пунктов;

— обеспечивать наименьшее влияние вертикальной рефракции при определении вертикальной составляющей вектора смещения.

Первым двум требованиям отвечают засечки, показанные на рис. 16, а при засечках по схемам *б, в, г, д,* в случае уничтожения одного из опорных пунктов, за период между сериями наблюдений невозможно получить вектор смещения.

В соответствии с этим при необходимости определения только плановых смещений пунктов рекомедуется использовать схемы *а, е, ж,* (см. рис. 16). При определении всех трех составляющих векторов смещений пунктов наиболее целесообразно использовать схемы *з* и *ж* (см. рис. 16). Последняя предусматривает двухстороннее измерение вертикальных углов и, следовательно, уменьшение влияния рефракции, а при небольших расстояниях до определяемых точек и схему *д*. Измерения по схеме *з* не испытывают влияния рефракции, отличаются простотой выполнения, но обеспечивают надежное определение вертикальной составляющей при углах наклона линий более 12°.

Кроме указанных схем, можно использовать и другие, обеспечивающие требуемую точность наблюдений. Погрешность определения смещений так же, как и для линейно-угловых сетей, необходимо определять для вероятного направления смещений. Предрасчет точности засечек выполняют аналитически или графически.

Для наиболее простых форм засечек предрасчет погрешности координат выполняют по формулам:

для линейно-угловой засечки (см. рис. 16, *д*):

$$m_x^2=\{(P_1+P_2)+(P_1-P_2)(\cos 2\alpha_1+\cos 2\alpha_2)\}/D; \qquad (18)$$

$$m_y^2=\{(R_1+P_2)+(P_1-P_2)(\cos 2\alpha_1+\cos 2\alpha_2)\}/D, \qquad (19)$$

где $D=(P_1+P_2)^2-[(P_1-P_2)2\cos(\alpha_1+\alpha_2)\cos(\alpha_1-\alpha_2)]^2-$
$-[(P_1+P_2)\sin(\alpha_1+\alpha_2)\cos(\alpha_1-\alpha_2)]^2;$

α_1, α_2 — дирекционные углы сторон $p\to1$, $p\to2$; $P_1=1/m^2_{Sp-1}=1/m^2_{Sp-2}$ — вес измеренных длин S_{p-1} и S_{p-2}; $P_2=[\varrho''/(m_{\alpha_{p-2}}S_{p-2})]^2=[\varrho''/(m_{\alpha_{p-1}}S_{p-1})]^2$ — веса измеренных направлений α_{p-1} и α_{p-2}; $\varrho''=206265''$;

для линейной пространственной засечки (см. рис. 16, *з*):

$$M_x^2 = 1/D^2\,[(c_2b_3 - b_2c_3)^2M_1^2 + (b_1c_3 - b_3c_1)^2M_2^2 + (b_2c_1 - c_2b_1)^2M_3^2]; \quad (20)$$

$$M_y^2 = 1/D^2\,[(a_2c_3 - c_2a_3)^2M_1^2 + (a_3c_1 - c_3a_1)^2M_2^2 + (c_2a_1 - a_2c_1)^2M_3^2]; \quad (21)$$

$$M_z^2 = 1/D^2[(b_2a_3 - a_2b_3)^2M_1^2 + (b_3a_1 - b_1a_3)^2M_2^2 + (b_1a_2 - a_1b_2)^2M_3^2]; \quad (22)$$

где $$D = \det \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix};$$

$a_i = \cos\alpha_i \cos\delta_i$; $b_i = \sin\alpha_i \cos\delta_i$; $c_i = \sin\delta_i$; $i = 1, 2, 3$. M_1, M_2, M_3 — средние квадратические погрешности измерения каждого расстояния.

Для получения погрешности по интересующему направлению расчет ведут в условной системе координат, ориентируя одну из осей (x или y) по этому направлению.

3.3.3. Расположение опорных и определяемых точек выбирают, исходя из условий наблюдений и требуемой точности к смещениям.

Основное требование к опорным пунктам — их неподвижность. Если наблюдения выполняют прямыми засечками, то опорные пункты должны быть расположены в местах, удобных для наблюдений в любое время года. Для увеличения точности измерений на опорных пунктах устанавливают столики для автоматичского центрирования инструментов.

3.3.4. В качестве ориентирных пунктов при измерении горизонтальных направлений, кроме геодезических знаков могут быть использованы четко видимые ориентиры, т. е. любые неподвижные точки местности, в том числе и неприступные, а именно, такие, на которые нельзя установить инструмент, например: трубы, башни, опоры линий электропередач и т. д. Ориентирные пункты при наблюдениях с опорных выбирают на значительном удалении, так как угловая погрешность при этом уменьшается.

3.3.5. Угловые измерения обычно выполняют способом круговых приемов. На каждом опорном пункте, кроме измерений на рабочие реперы, ведется не менее двух-трех измерений направлений на неподвижные пункты. Измерения направлений на неподвижные пункты служат для контроля неподвижности опорных пунктов и увязки наблюдений в случае смещения ориентирного пункта, принятого за начальный. При большом количестве определяемых пунктов измерения производят несколькими группами по 5—8 направлений в каждой. Необходимое число приемов устанавливают в зависимости от требуемой точности измерений, но для обеспечения контроля надо выполнять не менее двух приемов.

3.3.6. Вертикальные углы измеряют не менее, чем двумя приемами при двух положениях вертикального круга. Колебания значений из отдельных приемов и места нуля (места зенита) на станции не должны превышать 10″. Измерения следует выполнять

в периоды спокойных изображений в примерно одинаковых метеоусловиях, исключая периоды, близкие к восходу и заходу солнца.

3.3.7. Методика измерений светодальномерами зависит от типа прибора. В измеренные светодальномером расстояния должны быть введены необходимые поправки: приборная за температуру и давление воздуха. Температуру и давление измеряют у приемопередатчика и отражателя одновременно; к расчету принимают среднее значение.

3.3.8. Определение смещений при наблюдениях методами засечек производят по разностям координат или дифференциальным методом, т. е. по разностям измеренных величин. Дифференциальный метод может быть реализован с помощью аналитических формул или графических построений.

3.4. Особенности маркшейдерских наблюдений за деформациями отвалов

3.4.1. Наблюдения за деформациями отвалов отличаются особенностями, связанными с условиями отвалообразования, составом отвальных пород, их уплотнением и релаксацией порового давления.

3.4.2. Устойчивость отвалов зависит главным образом от механических характеристик отвальных пород и пород основания отвалов, от технологии отсыпки отвала, гидрогеологических условий основания, климатических условий района и рельефа местности.

3.4.3. Для свежеотсыпанных отвалов характерны деформации оседания, связанные с уплотнением разрыхленных горных пород (величины оседаний достигают 4—7% их высоты).

Процесс уплотнения отвалов протекает более интенсивно в первый период после отсыпки отвалов и затухает с течением времени; 90—95% величины общего оседания происходит в течение первых 6 мес в слабых породах и 10—12 мес в крепких породах. Деформации отвалов, связанные с их уплотнением, не представляют опасности для ведения горных работ.

3.4.4. Наиболее опасными являются развивающиеся во времени сдвиговые деформации типа оползней.

Различают следующие типы оползней отвалов: подподошвенный, характеризующийся выпиранием слоев слабых пород основания отвалов и оседанием верхней площадки отвала; надподошвенный — при прочном основании, характеризующийся образованием в нижней части отвала надвигающегося оползневого вала отвальных пород и оседанием верхней площадки отвала; подошвенный — при размещении отвалов на слабом контакте отвал-основание, характеризующийся оседанием верхней площадки отвала и отсутствием четко выраженных признаков развития оползня в основании отвала.

3.4.5. Наблюдения за деформациями отвалов следует производить на наблюдательных станциях, состоящих из ряда линий, закладываемых на верхней площадке отвала перпендикулярно верхней бровке отвала и в нижней части откоса отвала перпендикулярно нижней бровке отвала.

Начало развития оползня и его тип объективно можно установить только по характеру деформирования основания отвала.

Если основание отвалов недоступно для наблюдений, о развитии оползневых деформаций можно судить по графикам скоростей оседания верхней (рабочей) площадки отвалов:

— при оседании площадки деформации связаны только с уплотнением отвальных пород, скорости оседания имеют отчетливо выраженный затухающий характер;

— при развитии оползневых деформаций скорости оседания площадки в начальной стадии имеют затухающий характер; в дальнейшем скорость оседания приближается к постоянной величине; при дальнейшем развитии оползневого процесса скорости оседания верхней площадки возрастают.

3.4.6. Требования к закладке реперов наблюдательных станций на отвале сводятся к следующему: опорные реперы следует располагать вне зоны деформаций как верхней площадки, так и основания отвалов; расстояние до ближайшего опорного репера должно быть в зависимости от инженерно-геологических условий (1,5—2)H.

3.4.7. Проведение наблюдений на действующих отвалах существенно осложнено стесненностью рабочих площадок работающим горно-транспортным оборудованием, постоянной планировкой поверхности рабочих площадок, непостоянством положения (подвижностью) верхней бровки отвалов, связанным с развитием отвалов при отсыпке. На отвалах возникают сушественные трудности в обеспечении сохранности реперов на длительный срок наблюдения.

Учитывая указанные осложнения, видоизменяют методику наблюдений, тип наблюдательных реперов и способ их закладки.

3.4.8. Один из вариантов наблюдательного репера, закладываемого на отвале, может представлять собой металлическую трубу длиной 1—1,5 м (или любой другой стержень, обрезок рельса и др.), забетонированную в якорь размерами $40 \times 40 \times 50$ см. Конец трубы должен иметь резьбу (или отверстия под болты), которая служит для навинчивания наращиваемого отрезка (необходимость в удлинении может возникнуть при оседании отвала и систематической планировке рабочей площадки отвала с целью сохранения необходимого профиля, т. е. обратного уклона площадки).

3.4.9. Репер (его бетонный якорь) закапывают в отвал, оставляя выступающей над поверхностью металлическую трубу. По мере оседания отвала (одновременно и заложенного репера) производят планировку поверхности рабочей площадки вокруг просевшего репера. Планировку производят со всеми мерами

предосторожности, обеспечивающими сохранность репера, в присутствии представителя геолого-маркшейдерской службы предприятия, ответственного за наблюдения.

С целью обеспечения непрерывности наблюдений и исключения ошибок в наблюдениях, связанных с повреждениями реперов при планировке, дополнительно выполняют наблюдения непосредственно перед планировкой поверхности вокруг просевших реперов и сразу же после ее завершения; при необходимости перед планировкой рабочих площадок производят наращивание просевших реперов.

3.4.10. Для обеспечения сохранности реперов и исключения случайных наездов на них горно-транспортного оборудования применяют различного рода ограждения, а выступающую над поверхностью часть репера окрашивают в яркие цвета.

4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ВНУТРИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА

4.1. Общие положения

4.1.1. Маркшейдерские инструментальные наблюдения за деформациями откосов и поверхности, примыкающей к бортам карьеров, позволяют надежно контролировать деформации прибортовых массивов на карьерах. Однако для уточнения распределения оползневых деформаций внутри массива и мощности оползающих пород необходимо дополнительно проводить измерения глубинных деформаций.

4.1.2. Методы измерения глубинных деформаций делятся на две большие группы: контактные и бесконтактные, отличающиеся принципом связи системы отсчета с контролируемой точкой. Для контактных методов эта связь осуществляется механическим способом, а для бесконтактных — посредством какого-либо излучения (электро-магнитного, радиационного и др.). Наибольшее распространение в практике исследования оползневых деформаций получили контактные методы, позволяющие производить измерения с большей точностью, чем бесконтактные методы [9].

4.1.3. Из всех контактных методов для наблюдений за глубинными деформациями карьерных откосов наиболее приемлема группа методов измерения угловых деформаций внутри массива, среди которых наиболее разработаны методы инклинометрии и измерения кривизны. Они основаны на определении, соответственно, пространственной ориентировки (или ориентировки в вертикальной плоскости) и интенсивности искривления (характеризуемой абсолютным значением кривизны в плоскости искривления) какого-либо первоначально прямолинейного элемента в исследуемом массиве. В качестве такого элемента используется, в основном, пробуренная в массиве обсаженная стальной или полиэтиленовой трубой наблюдательная скважина. В мягких сыпучих и пластичных породах применяют полиэтиленовые трубы, в скальных и полускальных породах — стальные и полиэтиленовые. В скальных породах диаметр полиэтиленовых труб для обсадки наблюдательных скважин должен быть меньше диаметра скважин на величину не менее 50 мм. Пространство между стенками скважин и обсадными трубами при этом заполняют сыпучим материалом (например, песком).

4.1.4. Методы измерения кривизны позволяют обнаруживать места и интенсивность искривления стволов наблюдательных скважин. В общем виде искривление наблюдательной скважины в некотором ее интервале определяется вектором кривизны ствола скважины (или радиусом кривизны) в плоскости искривления и расположением в пространстве плоскости искривления. При искривлении наблюдательной скважины, заложенной в

деформирующийся прибортовой массив, ориентировка плоскости искривления и направление векторов кривизны скважины в большинстве случаев известны, а определению подлежат величина, местоположение зоны искривления скважины и абсолютное значение кривизны в плоскости искривления, которые характеризуют, соответственно, величину деформации горных пород и место их возникновения в массиве.

4.1.5. Методы инклинометрии позволяют определять пространственную ориентировку (или ориентировку в вертикальной плоскости) стволов наблюдательных скважин, интенсивность их искривления в процессе деформирования массива, ориентировку искривления в пространстве и, соответственно, смещение горных пород в массиве. Для измерений используют различные типы инклинометров — приборов, измеряющих поинтервально зенитный (между осью ствола скважины и вертикалью) и азимутальный (азимут направления оси ствола скважины) углы, которые полностью определяют расположение ствола скважины в пространстве. В тех случаях, когда направление смещений в массиве уже известно, применяют инклинометры, измеряющие только зенитные углы.

4.2. Обнаружение глубинных деформаций в откосах

4.2.1. Для обнаружения места и момента возникновения искривления и установления границ зоны деформирования и кривизны рекомендуется метод заклинивания цилиндров, основанный на принципе заклинивания в наблюдательной скважине цилиндров определенной длины и диаметра [10]. Простота метода позволяет значительно сократить время измерений и проводить систематические наблюдения с необходимой частотой.

4.2.2. Измерения методом заклинивания цилиндров осуществляют в следующей последовательности (рис. 17):

1) В обсаженную гибкими трубами наблюдательную скважину, расположенную в деформирующемся откосе, периодически опускают удлиненный цилиндрический груз до момента его заклинивания при опускании в искривлении обсадной трубы от оползневых смещений у верхней границы зоны оползневого деформирования массива. Начальную длину опускаемого груза $l_н$ с определенной чувствительностью к искривлениям (см. рис. 17, *а*) рассчитывают по формуле:

$$l_н = \sqrt{8a180°/\pi\Delta\theta^н_{уд}}, \qquad (23)$$

а кривизну обнаруженного искривленного участка наблюдательной скважины (см. рис. 17, *а*) определяют по формуле:

$$k_н = 8a/l^2_н, \qquad (24)$$

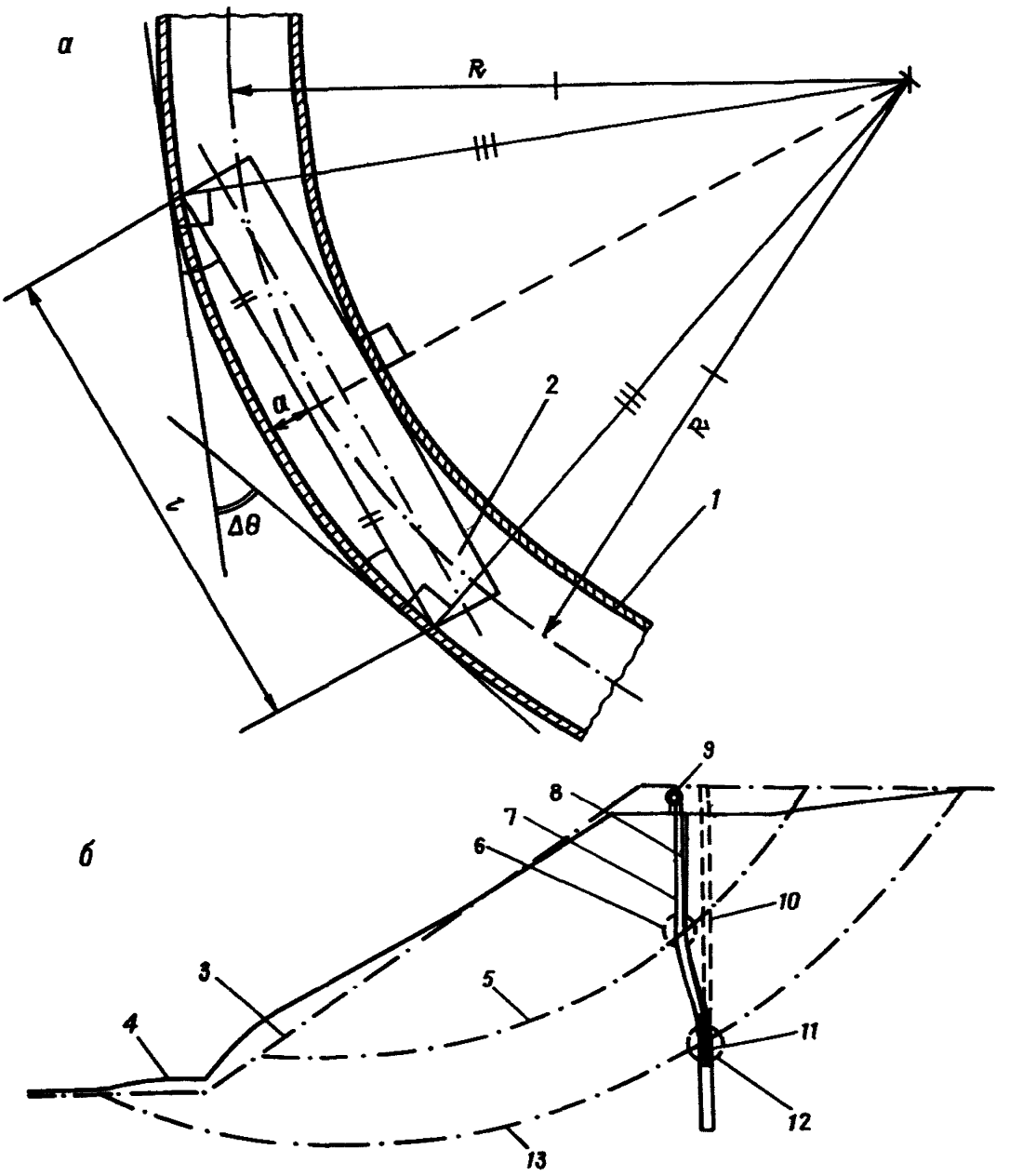

Рис. 17. Обнаружение глубинных оползневых деформаций и установление границ зоны деформирования в откосах методом заклинивания цилиндров:

а — схема определения кривизны обнаруженного искривления участка наблюдательной скважины; *б* — схема установления границ зоны деформирования в откосе; *1* — обсадная труба; *2* — заклиненный цилиндрический груз; *3* — исходный контур откоса; *4* — контур сдеформированного откоса; *5* и *13* — границы зоны сдвигового деформирования прибортового массива; *6* и *12* — начало и конец искривления наблюдательной скважины; *7* — искривленное положение скважины в сдеформированном откосе; *8* — мерный трос; *9* — лебедка; *10* — исходное положение наблюдательной скважины; *11* — удлиненный цилиндрический груз

где a — разность между внутренним диаметром обсадной трубы и диаметром заклиненного цилиндрического груза, м; $\Delta\theta^{н}_{уд}$ — чувствительность цилиндрического груза к начальным искривле-

ниям скважины (интенсивность зенитного искривления обсадной трубы от начальных смещений в массиве, фиксируемых цилиндрическим грузом выбранной начальной длины $l_н$), градус/м.

2) После обнаружения заклинивания в скважине у верхней границы смещений цилиндрического груза длиной $l_н$ фиксируют глубину искривления, а затем в скважину последовательно опускают цилиндрические грузы того же диаметра длиной $l_н - \Delta l$; $l_н - 2\Delta l$; $l_н - 3\Delta l$ и т. д. (Δl — выбранный шаг уменьшения длины цилиндра) и определяют значение кривизны на искривляющемся участке для заклинивающегося цилиндрического груза соответствующей длины; уменьшая длину опускаемого груза до размера, обеспечивающего свободную без заклинивания проходимость груза через искривленный участок скважины, определяют максимальную длину цилиндрического груза l_{max}, проходящего через искривленный участок скважины; причем соответствующее максимальное значение кривизны K_{max} находится в пределах $K_{m-1} < K_{max} < K_m$, где K_{m-1} и K_m — кривизна на участке по результатам измерений для двух соседних по длине грузов l_{m-1} и l_m. Такими последовательными измерениями определяют изменение возрастающей кривизны верхней части искривления от значений кривизны $K_н$ до K_{max} на момент возникновения искривления.

3) Для установления нижней границы зоны деформирования на дно скважины на мерном тросике опускают цилиндрический груз заданной длины и чувствительности, определяемой по зависимости:

$$l_з = \sqrt{8a \cdot 180°/\pi\Delta\theta^з_{уд}} \leqslant l_{max}, \qquad (25)$$

где $\Delta\theta^з_{уд}$ — интенсивность зенитного искривления обсадной трубы, которую предполагают зафиксировать у нижней границы смещений и обнаруживают цилиндрическим грузом заданной длины $l_з$, градус/м; l_{max} — установленная максимальная длина цилиндрического груза данного диаметра, свободно проходящего верхнюю часть искривления, м.

Опущенный цилиндрический груз заданной длины $l_з$ периодически подтягивают кверху до тех пор, пока не произойдет его заклинивание в месте искривления обсадной трубы у нижней границы оползневых смещений; по мерному тросику определяют местоположение нижней границы смещений в оползающем массиве с интенсивностью искривления скважины под влиянием деформирования окружающего ее массива $\Delta\theta_{уд}{}^з$ (см. рис. 17, *б*).

4.2.3. Для обеспечения условий проведения в скважине других наблюдений (гидрогеологических, инклинометрических и др.), а также для последующих замеров положения верхней границы зоны деформирования тросик натягивают до усилия, при котором соединительное звено мерного тросика и груза, имеющее сопротивляемость разъединению меньшую прочности тросика в несколько раз, разъединяется, освобождая тросик от

груза, и тросик извлекают из скважины. Соединительное звено может быть выполнено, например, в виде серьги или отрезка проволоки, сопротивляемость которых разъединению в несколько раз меньше прочности на разрыв тросика.

4.2.4. Способ обнаружения в откосах глубинных деформаций методом заклинивания цилиндров позволяет:

— в течение всего периода использовать наблюдательную скважину для производства комплексных наблюдений за глубинными деформациями массива и другими геомеханическими процессами, происходящими в деформирующемся массиве;

— одним и тем же комплектом оборудования в одной и той же наблюдательной скважине определять, кроме нижней границы смещений, и верхнюю границу оползневых деформаций массива и оконтурить зону интенсивных деформаций с заданной интенсивностью искривления наблюдательной скважины, т. е. определить мощность зоны деформирования;

— по полученным данным, глубинам до точек заклинивания и величинам кривизны ствола наблюдательной скважины в этих местах производить построение профиля искривленной скважины, а по изменению профиля искривления скважины делать вывод о динамике процесса оползнеобразования и определять границы зоны деформирования и местоположение поверхности скольжения в оползневом массиве:

— значительно сокращать время измерений, упрощать обнаружение возникновения искривления наблюдательной скважины и, соответственно, местоположения поверхности скольжения в массиве; существенно снижать стоимость измерительных работ.

4.3. Определение смещений и деформаций массива горных пород в откосах

4.3.1. Для определения смещений и глубинных деформаций внутри массива могут быть рекомендованы наиболее разработанные в настоящий момент методы инклинометрии.

Для измерений используют инклинометры различной конструкции (угломеры, наклономеры, инклинометры с магнитной стрелкой, фотоинклинометры, импульсные, тензометрические, гироскопические инклинометры и др.), определяющие поинтервально зенитные и азимутальные углы ствола наблюдательной скважины. Для изучения оползней рекомендуется применять стандартные малогабаритные инклинометры МИР-36, МИ-30, УМИ-25. Могут быть использованы также инклинометры типа КИТ-1 (ИК-2).

Измерение инклинометром в деформирующемся массиве производится по следующему принципу. В исследуемом оползневом массиве поперек направления перемещений бурят наблюдательную скважину, обсаженную гибкими трубами. В процессе деформаций обсадные трубы скважины перемещаются и искривляются согласно сдвижениям в массиве. Путем повторного

измерения отклонения трубы от ее первоначального положения с помощью инклинометра могут быть установлены: величина, направление и скорость возникающих перемещений для любого количества точек этого профиля.

4.3.2. Для измерений методами инклинометрии глубинных деформаций в откосах рекомендуются для обсадки наблюдательных скважин гибкие пластмассовые трубы, которые реагируют даже на самые небольшие деформации пород в массиве, а при нарастании деформаций — плавно изгибаются согласно деформации пород массива, окружающих обсадные трубы. Установлено, что для проведения инклинометрических наблюдений с высокой чувствительностью к микродеформациям в исследуемом прибортовом массиве следует использовать для обсадки наблюдательных скважин пластичные полиэтиленовые трубы, выпускаемые по ГОСТ 18699-73.

Полиэтиленовые трубы с внешним диаметром 63—90 мм могут применяться в бухтах, что значительно облегчает работы по обсадке и оборудованию наблюдательных скважин и упрочняет в целом всю колонну обсадных труб. При использовании для обсадки скважин полиэтиленовых труб диаметром 110—140 мм их следует соединять на специальной конической резьбе (для толстостенных труб) или методом тепловой сварки (для тонкостенных труб). Основные технические характеристики труб тяжелого (Т) типа из полиэтилена высокой плотности (ПВП), рекомендуемых к применению, приведены в табл. 7.

4.3.3. При использовании инклинометрии для изучения оползневых явлений по наблюдениям за искривлением наблюдательной скважины величина смещений ствола скважины на начальных стадиях формирования оползня может быть соизмерима с величиной погрешности определения координат искривленного ствола.

Исследованиями установлено, что внутри наблюдаемого оползневого массива при проведении инклинометрии целесообразнее и проще определять деформации не линейные, а угловые — деформации сдвига. Величину деформации сдвига в интересующем интервале пород оценивают по углу поворота (величине изменения зенитного угла) ствола наблюдательной скважины в этом интервале. При этом предполагается, что направление деформаций в массиве известно и с глубиной остается постоянным (т. е. азимутальный угол искривления скважины известен, не меняется с глубиной и в расчетах смещения ствола скважины не учитывается). Деформации сдвига в породах в интервалах измерений в районе формирования поверхности скольжения определяют по данным инклинометрии вертикальной скважины по следующим формулам:

для нисходящего участка поверхности скольжения (рис. 18):

$$\gamma_{max} = \operatorname{tg}(\theta_i - \alpha) + \operatorname{tg}\alpha; \qquad (26)$$

Таблица 7

Основные технические характеристики труб тяжелого типа из полиэтилена высокой плотности

Технические характеристики	Типы труб по ГОСТ 18599—73					
	ПВП 63	ПВП 75	ПВП 90	ПВП 110	ПВП 125	ПВП 140
Диаметр внешний, мм. . . .	63	75	90	110	125	140
Диаметр внутренний, мм. . .	52	61	74	90—73	102—88	115—103
Толщина стенок, мм. . . .	5,7	6,8	8,2	10,0—18,5	11,5—18,5	12,5—18,5
Плотность, г/см^3.	—	—	—	0,95	—	—
Масса погонной длины (м) труб, кг	—	—	—	1,06—2,13	—	—
Модуль упругости, кг/см^2 . .	—	—	—	8000	—	—
Предел прочности на разрыв, кгс/см^2.	—	—	—	210	—	—
Относительное удлинение при разрыве, %	—	—	—	210	—	—

для восходящего участка поверхности скольжения (на участке вала выпирания):

$$\gamma_{max_i} = \operatorname{tg}(\theta_i + \alpha) - \operatorname{tg}\alpha, \qquad (27)$$

где γ_{max_i} — максимальная деформация сдвига в массиве в пределах интервалов измерений длиной l_i; θ_i — средние зенитные углы ствола скважины в указанных интервалах измерений, градус; α — угол наклона к горизонту линий смещений в массиве, градус.

Полные смещения пород в зоне сдвигов рассчитывают по формуле:

$$S = 1/\cos\alpha\, S_r = 1/\cos\alpha\,(\Delta x_0 + \sum_{i=1}^{n} l_i \sin\theta_i), \qquad (28)$$

где S_r — горизонтальная проекция вектора смещения пород м; Δx_0 — горизонтальное смещение пород в нижней границе зоны сдвигов, м; n — число интервалов измерений в зоне сдвигов; θ_i — длина i-го интервала измерений, м; θ_i и α — то же, что и в формулах (28) и (29).

Наклон поверхности скольжения оползневых деформаций, т. е. угол наклона к горизонту линий смещений в массиве α определяют по результатам маркшейдерских наблюдений на оползневом участке или методом инклинометрии спаренных скважин. Однако перемещения пород в зоне сдвигов можно оценивать и при отсутствии данных маркшейдерских наблюдений. В этом случае смещения пород в зоне сдвигов оценивают величиной их горизонтальных проекций:

$$S_r = \Delta x_0 + \sum_{i=1}^{n} l_i \sin\theta_i. \qquad (29)$$

4.3.4. Метод инклинометрии спаренных скважин позволяет определять внутри исследуемого деформирующегося массива направление и углы наклона векторов смещений горных пород α, величины которых в зоне деформирования плавно изменяются с глубиной, а также величины смещений и деформаций.

Метод инклинометрии спаренных скважин заключается в следующем (рис. 19):

1) С поверхности борта карьера бурят спаренные вертикальные наблюдательные скважины, устья спаренных скважин располагают по линии направления планового смещения поверхности борта, устанавливаемого предварительными маркшейдерскими наблюдениями; расстояние между скважинами выбирают таким, чтобы оконтурить ими изучаемый блок горного массива; в зависимости от параметров (высоты) борта оно может составлять 5—25 м. Инклинометрическими измерениями определяют вначале исходное, а затем искривленное положение скважин, а промерами глубины определяют абсолютные

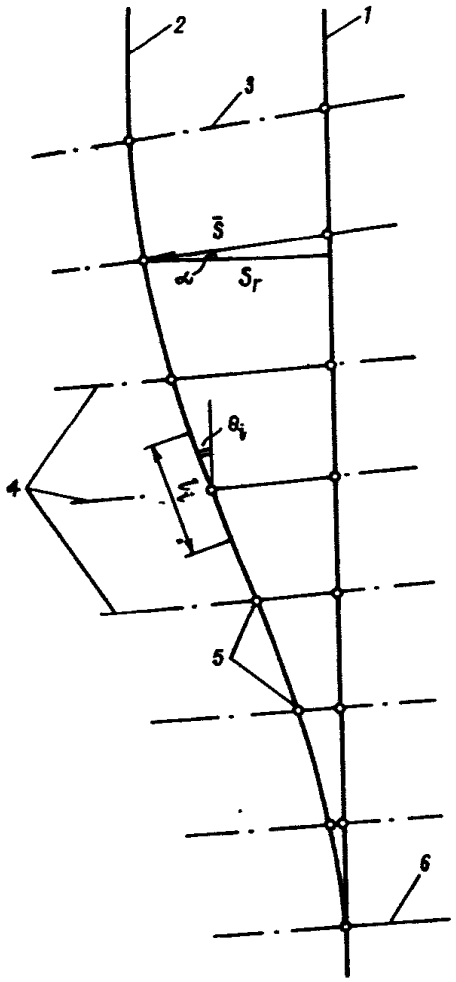

Рис. 18. Схема определения величины смещений и деформаций сдвига внутри массива методом инклинометрии вертикальной наблюдательной скважины:

1 и *2* — ось ствола наблюдательной скважины до и после деформации массива; *3* и *6* — границы зоны сдвигов; *4* — линии перемещений горных пород в массиве; *5* — контрольные точки инклинометрических замеров

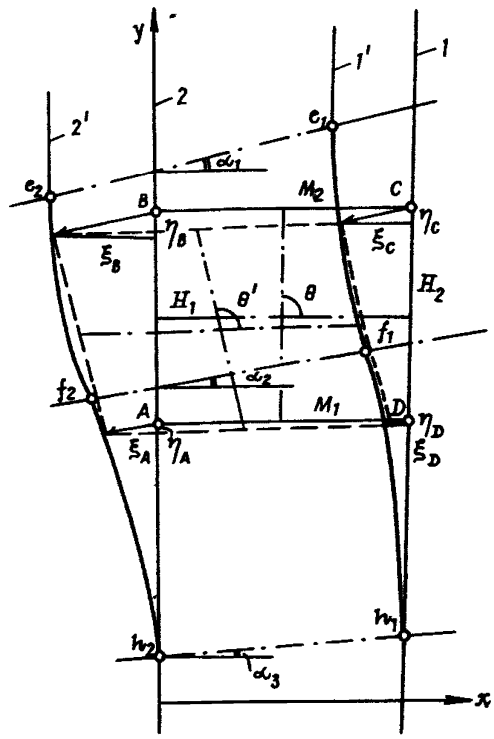

Рис. 19. Схема определения смещений и деформаций внутри массива методом инклинометрии спаренных скважин:

1 и *2* — оси стволов спаренных скважин в исходном положении; *1'* и *2'* — оси искривленных скважин; c_1, c_2, h_1, h_2 и f_1, f_2 — соответственно точки начал, концов и перегибов искривлений; *ABCD* — исследуемый блок горного массива; H_i и M_i — размеры исследуемого блока горного массива; α_1, α_2, α_3 — углы наклонов линий перемещений внутри массива горных пород

отметки начал и концов искривленных участков скважин, а также точек перегиба искривлений.

2) На чертеже в крупном масштабе изображают исходные и искривленные профили скважин; соединяют начала, концы и точки перегиба искривлений спаренных скважин между собой и по наклону соединяющих отрезков устанавливают углы наклона к горизонту линий смещений массива в зоне деформации. При этом отрезки прямых между исходным и искривленным

положением скважин, проведенные по направлению перемещения в массиве, будут равны векторам смещений массива.

3) Величины деформаций массива определяют по векторам смещений горных пород по формулам:

$$\varepsilon_x=(\xi_C+\xi_D-\xi_B-\xi_A)/(M_1+M_2); \tag{30}$$

$$\varepsilon_y=(\eta_B+\eta_C-\eta_A-\eta_D)/2H_1; \tag{31}$$

$$\gamma_{xy}=\operatorname{tg}(\theta-\theta^1)=\operatorname{tg}\left[\operatorname{arc\,tg}\frac{2H_1}{M_2-M_1}-\left(\operatorname{arc\,tg}\frac{\eta_B+\eta_C-\eta_A-\eta_D+2H_1}{\xi_B+\xi_C-\xi_A-\xi_D+M_2-M_1}-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\operatorname{arctg}\frac{\eta_C+\eta_D-\eta_B-\eta_A}{\xi_C+\xi_D-\xi_B-\xi_A+M_2+M_1}\right)\right]; \tag{32}$$

$$\gamma_{max}=(\varepsilon_x-\varepsilon_y)\sin 2\alpha-\gamma_{xy}\cos 2\alpha, \tag{33}$$

где ε_x и ε_y — деформация массива горных пород, соответственно, в горизонтальном и вертикальном направлении; γ_{xy} и γ_{max} — деформация сдвига массива горных пород, соответственно, в плоскости X, Y и в плоскости наибольших сдвигов с координатными осями, повернутыми относительно осей X и Y на величину угла α; α — угол наклона к горизонту векторов смещений горных пород внутри массива, градус; $\xi_{A,B,C,D}$ и $\eta_{A,B,C,D}$ — горизонтальные и вертикальные составляющие векторов смещений горных пород в любых образующих в массиве прямоугольники четырех точках A,B,C, и D стволов спаренных скважин, м; H_i и M_i — размеры выбранного в массиве прямоугольного блока горных пород, м.

4) В случае необходимости наблюдательные спаренные скважины могут быть пробурены (например, из подземной выработки) параллельно друг другу с азимутом наклона их стволов, совпадающим с направлением линии векторов смещений на поверхности массива. Устья скважин при этом также располагают на одной линии вдоль направления векторов смещений.

4.3.5. По изменению во времени величины сдвига и смещения пород в деформирующемся массиве откосов и профиля искривления наблюдательных скважин оценивают динамику процесса оползневого деформирования вмещающих наблюдательные скважины горных пород.

4.4. Порядок проведения комплексных наблюдений за глубинными деформациями в откосах

4.4.1. *Инклинометрические замеры в наблюдательных скважинах* следует производить сразу после окончания бурения и обсадки скважин; замеры производят для установления исходного профиля вертикальных наблюдательных скважин и выполняют с интервалом 1—2 м по глубине от устья до забоя. Для наклонных скважин первой серией инклинометрии уточняют их пространственную ориентировку.

4.4.2. Для обнаружения возникновения искривлений осуществляют систематические промеры наблюдательных скважин методом заклинивания цилиндров. Контрольные замеры этим методом должны производить не реже 1—2 раз в месяц. При обнаружении методом заклинивания цилиндров искривлений скважин, указывающих на расположение в оползневом массиве поверхности скольжения, эти места дополнительно исследуют измерениями инклинометром с интервалом 0,2—0,5 м, а также другими контактными и геофизическими методами.

4.4.3. Систематические промеры скважин методом заклинивания цилиндров необходимо периодически (1—2 раза в квартал) дублировать проведением измерений малогабаритным инклинометром по всей длине скважин от устья до забоя с интервалом 1—2 м. Определив инклинометрией закономерности искривления наблюдательных скважин, в том числе и пространственную ориентировку перемещений в оползневом массиве, с момента застревания инклинометра в местах искривлений дальнейшие наблюдения достаточно осуществлять только методом заклинивания цилиндров.

4.4.4. Для осуществления взаимосвязи наблюдений глубинных деформаций в откосах с системой маркшейдерских наблюдений по реперам, заложенным непосредственно около устьев скважин, производят наблюдения за смещением земной поверхности и устьев наблюдательных скважин.

4.4.5. Метод заклинивания цилиндров и инклинометрия скважин позволяют определять местоположение формирующейся поверхности скольжения в оползневом массиве, фактическую мощность деформирующихся пород (зону деформирования), устанавливать величины смещений и деформаций внутри массива.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ, ОТКОСОВ УСТУПОВ И ОТВАЛОВ НА КАРЬЕРАХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

5.1. *Условия применения фотограмметрического метода*

5.1.1. При изучении деформаций бортов карьеров, откосов уступов и отвалов фотограмметрические методы наблюдений наиболее эффективны в период активной стадии процесса деформации прибортового массива, когда за период между двумя последовательными съемками смещения составляют на снимке не менее 0,03—0,05 мм. Их применяют также для съемок обрушений, оползней, крупных оплывин, осыпей и других видов разрушения откосов.

5.1.2. При изучении процесса развития осыпей, оплывин, просадок и разрушения откосов вследствие поверхностной эрозии эффективно применение наземной стереофотограмметрической съемки и короткобазисной фотограмметрии; для наблюдений за оползнями можно также использовать фотограмметрическую съемку с определением смещений методом псевдопараллаксов; развитие обширных по площади оползней фиксируют аэрофотосъемкой. Материалы наземной и воздушной стереофотограмметрических съемок обрабатывают как на универсальных фотограмметрических приборах, так и методами аналитической фотограмметрии с использованием ЭВМ.

5.1.3. Кроме величин перемещений, по снимкам можно получить информацию о трещиноватости скальных пород, слагающих уступы, гранулометрическом составе осыпи и т. д.

5.2. Наземная стереофотограмметрическая съемка деформирующихся откосов на карьерах

5.2.1. Наземную стереофотограмметрическую съемку выполняют фототеодолитом или другими фотокамерами, предназначенными для измерительной фотографии. Наиболее распространенными приборами являются фототеодолит *Photheo* 19/1318 и универсальные фотокамеры *UMK* 10/1318, *UMK* 20/1318, *UMK* 30/1318 «К. Цейсс, Иена».

При съемке фототеодолитом и универсальными камерами с фокусным расстоянием объектива 200 или 300 мм используют нормальный и равноотклоненный виды съемки; при съемке фотокамерой *UMK* 10/1318, как правило, только нормальный.

5.2.2. Длину базиса (м) при наземной стереофотограмметрической съемке рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{0{,}01\ Y_D^2}{m_e f t_{\min}}, \qquad (34)$$

где Y_D — отстояние дальней границы участка обработки, м; f — фокусное расстояние фотокамеры, мм; m_l — средняя квадратическая погрешность определения положения точки в плане, м;

$$t_{\min} = \cos\varphi - \frac{x_2}{f}\left|\sin\varphi\right| , \qquad (35)$$

где φ — угол скоса; x_2 — наибольшее абсолютное значение координаты X участка обработки на правом снимке, мм.

При съемке разрушенных откосов с целью их паспортизации погрешность m_l принимают в соответствии с требованием масштаба составляемого плана, при определении смещений — в соответствии с необходимой точностью определения смещений в зависимости от их скорости и периодичности съемки.

5.2.3. Средние квадратические погрешности определения координат точек в фотограмметрической системе (рис. 20) после корректирования модели на приборе при нормальном или равноотклоненном видах съемки могут быть предрассчитаны по следующим приближенным формулам:

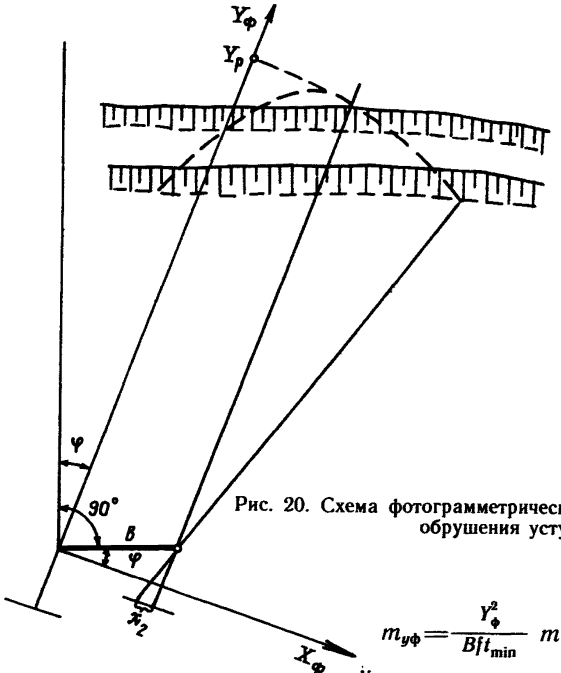

Рис. 20. Схема фотограмметрической системы при съемке обрушения уступов

$$m_{y\Phi} = \frac{Y_\Phi^2}{Bft_{\min}}\, m_p;$$

$$m_{x\Phi} = \frac{Y_\Phi}{f}\sqrt{(X_\Phi^2/B^2t_{\min}^2)\quad m_p^2 + m_x^2}; \qquad (36)$$

$$m_{Z\Phi} = \frac{Z_\Phi}{f}\sqrt{(Z_\Phi^2/B^2t_{\min}^2)m_p^2 + m_z^2},$$

где $m_{Y\Phi}$, $m_{X\Phi}$, $m_{Z\Phi}$ — средние квадратические погрешности определения координат в фотограмметрической системе Y_Φ, X_Φ, Z_Φ, м; m_p, m_x, m_z — соответственно средние квадратические погрешности определения продольного параллакса p и координат x и z точек на снимке, мм. Обычно при расчете принимают $m_p = m_x = m_z = \pm 0{,}01$ мм

Остальные обозначения те же, что и в формуле (35).

Ошибку положения точки в плане m_l определяют по формуле:

$$m_l = \sqrt{m_{Y\Phi}^2 + m_{X\Phi}^2}.$$

5.2.4. Смещения точек поверхности определяют как разность координат точек, полученных из предыдущей и последующих съемок. Для облегчения идентификации точек при камеральной обработке съемок наблюдаемые точки перед первой съемкой маркируют. Если между предыдущей и последующей съемками произошло перемещение больших масс породы и переопознать на снимках наблюдаемые точки невозможно, количественные характеристики оползня (обрушения) находят по его топографическому изображению или профилям, составленным на универсальном фотограмметрическом приборе.

5.2.5. Для обработки снимков на универсальных фотограмметрических приборах каждую стереопару обеспечивают опорными точками. Схема расположения опорных точек и методика корректирования модели приведена в Методических указаниях [5, 6]. Если стереофотограмметрическую съемку выполняют для изучения динамики развития оползня, после корректирования модели по опорным точкам рекомендуется многократно (4—6 раз) совместить измерительную марку прибора с изображением опорных точек, снять со счетчиков прибора их координаты, вычислить среднее значение координат каждой точки, наколоть по ним на основу новое положение опорных точек и выписать их высотные отметки. Таким же образом на основу наносят еще несколько дополнительных точек, четко изобразившихся на снимках и расположенных вне зоны нарушения устойчивости. При корректировании моделей последующих съемок используют новое положение опорных и дополнительных точек.

5.2.6. Если невозможно обеспечить стереопару опорными точками, на базисных точках измеряют по два контрольных направления. Контрольные направления измеряют от линии базиса на четко изобразившиеся на снимке удаленные точки (рис. 21). Средняя квадратическая погрешность измерения направления не должна превышать 5″, а углы между осью съемки и контрольными направлениями должны составлять не более 5°.

При работе с контрольными направлениями фототеодолит должен быть тщательно отъюстирован. При экспонировании фототеодолит устанавливают по уровням с погрешностью не более 1/3 деления. Следует учитывать, что погрешности

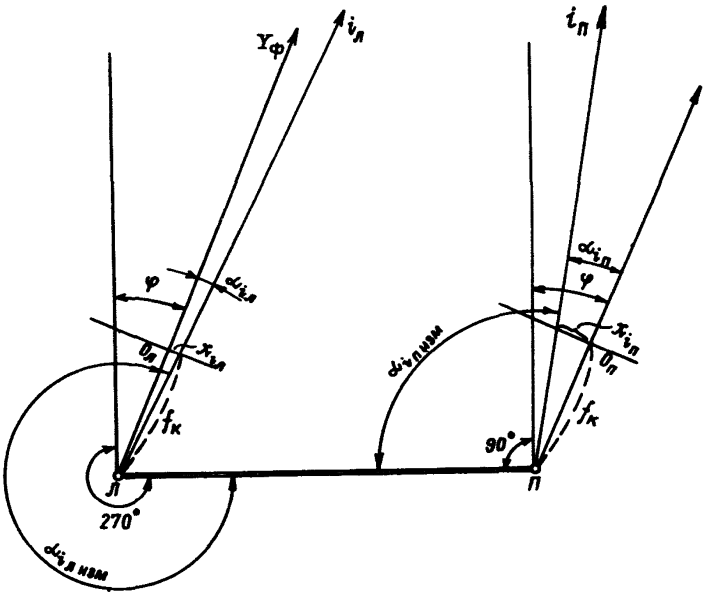

Рис. 21. Схема обеспечения стереопары контрольными направлениями

определения фотограмметрических координат точек при корректировании модели по контрольным направлениям могут оказаться грубее в 1,5—2 раза, рассчитанных по формулам (36).

5.2.7. Корректирование модели на стереоавтографе по контрольным направлениям выполняют в следующей последовательности:

1) тщательно юстируют стереоавтограф; положение мест нулей индикаторов b_x, b_y и винта конвергенции уточняют по сеточной модели;

2) вычисляют контрольные направления для левого $\alpha_{iл}$ и правого $\alpha_{iп}$ снимков:

$$\alpha_{iл} = \alpha_{iизм} - 270° + \varphi;$$

$$\alpha_{iп} = \alpha_{iизм} - 90° + \varphi$$

и фотокоординаты соответствующих точек:

$$x_{iл} = f_k \operatorname{tg} \alpha_{iл}; \qquad x_{iп} = f_k \operatorname{tg} \alpha_{iп}.$$

3) на отсчетных приспособлениях b_x, b_y и γ устанавливают отсчеты, соответствующие их месту нуля; на индикаторах фокусных расстояний и счетчике Y устанавливают значения фокусного расстояния съемочной камеры, а на счетчике X — отсчет: $x_{iл} = x_o + x_{iл}$, где x_o — отсчет при наведении левой измерительной марки на центральный крест снимкодержателя, и находят

на снимке изображение точки, на которую измерено контрольное направление. Если несовпадение изображения точки на снимке с измерительной маркой прибора не превышает двух диаметров последней, приступают к корректированию модели. В противном случае обрабатывать снимки этим способом не рекомендуется.

Корректирование модели выполняют следующим образом. Установочным винтом снимкодержателя смещают левую фотопластинку до совмещения измерительной марки с изображением контрольной точки на левом снимке. Для контроля используют фотокоординату, вычисленную по второму направлению.

Аналогично поступают с правым снимком, после чего на индикаторах b_x и b_y устанавливают значения базисных составляющих. На этом корректирование и построение модели заканчивается.

5.3. Определение смещений методом псевдопараллаксов*

5.3.1. Для определения смещений используют псевдостереоскопический эффект, который возникает при рассматривании пары, составленной из снимков деформирующегося объекта, экспонированных из одной точки в разные моменты времени одной и той же практически одинаково ориентированной фотокамерой.

Деформации объекта при этом воспринимаются в виде рельефа. На участках псевдостереопары, где объект не деформировался, наблюдатель воспринимает изображение плоским.

Наибольший псевдостереоэффект наблюдают, если деформации объекта произошли в направлении, параллельном плоскости снимка.

При просмотре псевдостереопар можно судить о наличии деформаций и выделить участки, на которых необходимо определять смещения, что позволит в ряде случаев существенно снизить объем измерений.

5.3.2. Средняя квадратическая погрешность m_l (мм) определения смещений методом псевдопараллаксов при благоприятных условиях съемки и расположении контрольных точек не превосходит величины, вычисленной по формуле:

$$m_l = 0{,}01 \cdot M,$$

где M — знаменатель масштаба снимка в данной точке.

5.3.3. Методом псевдопараллаксов можно определить вертикальную составляющую вектора сдвижения точки и его горизонтальную составляющую в направлении, параллельном плоскости снимка.

---

* В технической литературе нет устоявшегося термина для этого метода; его называют также «съемкой с базиса времени» и «съемкой с нулевого базиса».

Если известно направление вектора сдвижения в горизонтальной плоскости, и с плоскостью снимка оно составляет угол не более 30°, можно получить величину полного вектора сдвижения.

В соответствии с этим точку съемки и направление ее оси выбирают таким образом, чтобы направление векторов сдвижения точек было параллельным плоскости снимка или составляло с ней минимальный угол. Если это не удается или направление вектора сдвижения неизвестно, сдвигающийся участок борта карьера или отвала фотографируют с двух точек, располагая оси съемки так, чтобы они пересекались под углом 60—90°, и вектор сдвижения точки в горизонтальной плоскости находят как сумму векторов, определенных с обеих точек съемки.

5.3.4. При определении смещений методом псевдопараллаксов рекомендуется следующий порядок полевых работ.

Точку съемки выбирают так, чтобы она сохраняла неподвижность в течение всего периода наблюдений, и закрепляют постоянным штативом для установки фотокамеры. Для ориентирования фотокамеры выбирают удаленный предмет с четкими очертаниями. Точки, смещения которых надлежит определить, как правило, маркируют и определяют их координаты. Определять координаты точек целесообразно по результатам стереофотограмметрической съемки, используя в качестве одной из базисных точек закрепленную постоянно. Ось съемки ориентируют так, чтобы снимок, полученный с постоянной точки, можно было бы использовать в качестве исходного при определении смещений методом псевдопараллаксов.

Если стереофотограмметрическую съемку выполнить не удается, координаты замаркированных точек и точки съемки определяют одним из геодезических способов, например, тахеометрическим.

Последующие съемки выполняют с закрепленной точки, с предельно возможной точностью выдерживая элементы ориентирования фотокамеры.

5.3.5. При определении горизонтальной составляющей вектора сдвижения снимок первой съемки устанавливают на левую каретку стереокомпаратора, последующей — на правую и ориентируют их по координатным меткам, действуя штурвалом x и винтами $\varkappa$ прибора. Затем снимают отсчеты p_1 и p_2 по винту продольных параллаксов при стереоскопическом наведении измерительной марки на координатные метки 1 и 2 (рис. 22) и вычисляют разность $\Delta p_м = p_1 - p_2$. Разность $\Delta p_м$, превышающая 0,02 мм, свидетельствует о «неприжиме» фотопластинки в момент экспонирования. В этом случае при вычислении смещений в измеренные псевдопараллаксы вводят поправки за «неприжим».

Далее просматривают псевдостереопару и замечают участки, где возникает псевдостереоэффект. В местах с нулевым

стереоэффектом вблизи линии xx на краях снимка выбирают точки I и II (см. рис. 22), а вблизи линии zz снимка — точку О. По точкам I и II подориентируют правый снимок к левому движением x стереокомпаратора. На точках I, II и О снимают отсчеты P_{I}, P_{II} и P_{o} и измеряют координаты x_{I} и x_{II}. Находят разности

$$\delta_{p\text{I}}=p_{\text{I}}-p_{\text{o}} \text{ и } \delta_{p\text{II}}=p_{\text{II}}-p_{\text{o}}$$

и вычисляют коэффициент:

$$k_p=1/2\,(\delta_{p\text{I}}/x_{\text{I}}^2+\delta_{p\text{II}}/x_{\text{II}}^2).$$

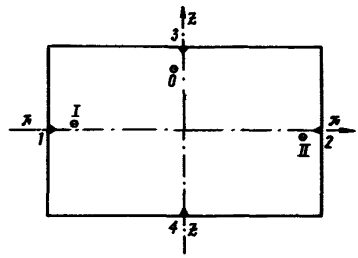

Рис. 22. Схема к вычислению поправок при нахождении исправленных значений псевдопараллаксов

Определяют псевдопараллаксы Δp_i и координаты x_i на точках, смещения которых подлежат определению

$$\Delta p_i=p_i-p_{\text{o}},$$

и вычисляют поправки за «неприжим» и перспективные искажения в полученные разности

$$\delta_{pfi}=(x_i/L_x)\,\Delta p_{\text{м}},$$

где L_x — расстояние между координатными метками на снимке.

$$\delta_{pai}=k_p x_i^2,$$

Находят исправленные значения псевдопараллаксов

$$p_{i\text{испр}}=\Delta p_i+\delta_{pfi}+\delta_{pai}.$$

5.3.6. Для определения вертикальной составляющей вектора сдвижения (оседания) снимки на каретках стереокомпаратора поворачивают на 90° так, чтобы их оси zz были направлены вправо, ориентируют их по координатным меткам.

Поперечные параллаксы измеряют винтом продольных параллаксов. Измеряют параллаксы на координатных метках 3 и 4 q_3 и q_4 и вычисляют их разность $\Delta q=q_3-q_4$.

Подориентируют правый снимок движением x так, чтобы отсчеты на точках I и II, q_{I} и q_{II} были равны в пределах точности измерений и вычисляют среднее значение:

$$q_{\text{ср}}=(q_{\text{I}}+q_{\text{II}})/2.$$

Находят точку на краю снимка вблизи оси zz на участке псевдостереопары с нулевым стереоэффектом и снимают отсчеты q и координату z.

Находят разность $\delta_q=q-q_{\text{ср}}$ и вычисляют коэффициент $k_q=\delta_q/z^2$.

Измеряют q_i и координаты z_i определяемых точек и находят псевдопараллаксы:

$$\Delta q_i = q_i - q_{ср}.$$

Вычисляют поправки:

$$\delta q_{fi} = (z_i / L_y)\,\Delta q\,, \qquad \delta q_{wi} = k_q z_i^2.$$

Находят исправленные значения псевдопараллаксов:

$$\Delta q_{iиспр} = \Delta q_i + \delta q_{fi} + \delta q_{wi}.$$

5.3.7. На планшет по координатам в удобном масштабе наносят точки съемки и точки, смещения которых определяют (рис. 23). Прочерчивают направление осей съемки, находят

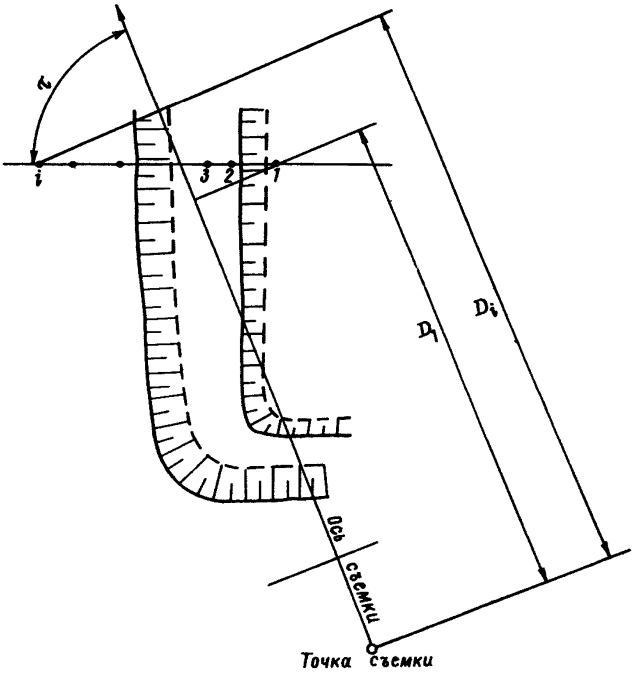

Рис. 23. Определение смещений пунктов профильной линии методом псевдопараллаксов

отстояния D_i до определяемых точек по оси съемки и вычисляют масштабные коэффициенты M_i по формуле:

$$M_i = D_i / f.$$

Составляющие векторов сдвижения вычисляют по формулам:

$$\Delta x_i = \Delta p_{i\text{испр}} M_i (\sin\tau + (x_i/f)\cos\tau)^{-1};$$

$$\Delta h_i = \Delta q_{i\text{испр}} M_i + (\Delta x_i z_i \cos\tau)/f,$$

где τ — угол между осью съемки и направлением вектора сдвижения; x_i, z_i — фотокоординаты точки на снимке; f — фокусное расстояние снимка.

5.3.8. Если составляющие вектора сдвижения определяют с двух точек съемки (см. п. 5.3.3), их сумму находят следующим образом.

Через точку М (рис. 24), смещение которой определяют,

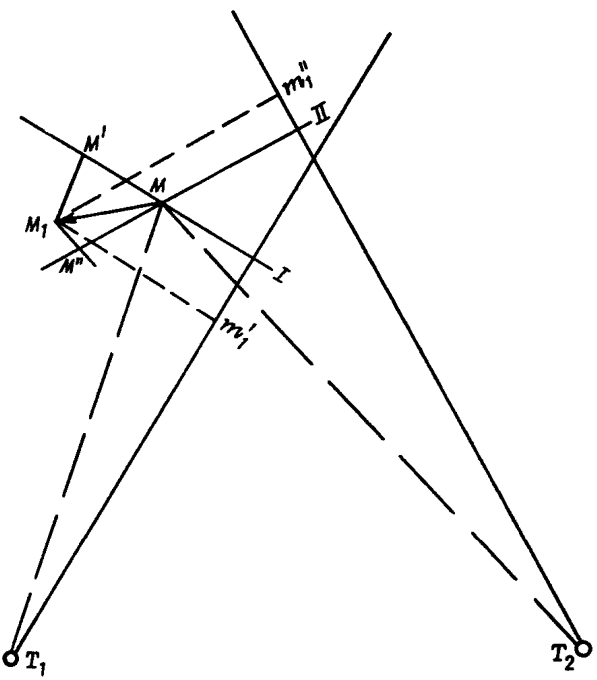

Рис. 24. Определение смещения пункта методом псевдопараллаксов с двух точек съемки

проводят прямые MI и MII, перпендикулярные осям съемки с точки T_1 и T_2, и на них в крупном масштабе откладывают отрезки MM′ и MM″, численно равные величинам, вычисленным по формуле $\Delta p_{i\text{испр}} M_i$ по измерениям, выполненным на псевдостереопарах, полученных с точек T_1 и T_2.

Через точки M′ и M″ проводят лучи, параллельные прямым, соответственно, T_1M и T_2M до их пересечения в точке M_1. Соединяют точки M и M_1. Отрезок MM_1 представляет собой вектор сдвижения точки М в горизонтальной плоскости.

Масштаб изображения вектора равен масштабу построения отрезков MM' и MM''.

Для определения вертикальной составляющей вектора сдвижения (оседания) выполняют дополнительные построения: находят проекции $m'_1 1$ и $m'_1 1$ вектора MM_1 на оси съемки. Оседание вычисляют по формуле:

$$\Delta h_i = \Delta q_{\text{испр}} M_i + \Delta h'_i (z_i/f),$$

где $\Delta h'_i$ — соответствующая проекция вектора MM_1; знак $\Delta h'_i$ принимают положительным, если вектор направлен к точке съемки.

Из двух значений Δh_i вычисляют среднюю взвешенную величину; за вес принимают величину, обратно пропорциональную масштабному коэффициенту.

5.4. Стереофотограмметрические наблюдения за развитием осыпей, оплывин, просадок и явлений поверхностной эрозии

5.4.1. При наблюдениях за развитием указанных деформаций съемку производят, как правило, с небольших расстояний, в пределах рабочей площадки уступа. Для наблюдений выбирают отдельные участки с характерными условиями развития деформаций, которые изображают на одной стереопаре. При съемке предпочтительно использовать широкоугольные фотокамеры, например, *UMK*10/1318 или спаренные фотокамеры, например, *SMK*5,5/0808/120.

5.4.2. Длину базиса фотографирования рассчитывают по формуле (34), если используют фототеодолит или камеру *UMK*. Как правило, используют только нормальный вид съемки.

При использовании спаренных фотокамер из формулы (34) находят отстояние Y_D, на котором обеспечивается заданная средняя квадратическая погрешность определения положения точки.

5.4.3. Базисные точки закрепляют временными знаками, если наблюдения проектируется закончить в короткий срок, и постоянными, если их будут проводить длительное время (например, при изучении осыпания откосов и явлений поверхностной эрозии). Длину базиса измеряют с погрешностью не более ± 5 мм. Базисные точки привязывают к маркшейдерской опорной сети.

Каждую стереопару обеспечивают тремя маркированными опорными точками, расположенными по стандартной схеме. Опорные точки геодезически не определяют. Точку 1 выставляют инструментально на правой оси съемки. Расстояние от правой базисной точки до опорной точки 1 измеряют с относительной погрешностью не более 1:2000. Опорные точки закрепляют так же, как и базисные.

5.4.4. Камеральную обработку снимков на стереоавтографе выполняют в следующей очередности. Масштаб модели принимают

наиболее крупным (1:50—1:200) и в соответствии с этим устанавливают базис съемки и передаточное отношение на редукторе координатографа. Левую измерительную марку прибора монокулярно совмещают с центральным крестом снимкодержателя и, перемещая каретку отстояний, прочеркивают на планшете направление оси $Y_ф$. Измерительную марку прибора стереоскопически совмещают с корректурной точкой 1.

На счетчике Y устанавливают фотограмметрическую координату этой точки, вычисленную по формуле (мм):

$$Y_{ф_1} = (D - l - B \sin\varphi) / M_м,$$

где D — горизонтальное расстояние от правой базисной до корректурной точки 1, м; B, φ, $M_м$ — соответственно, базис съемки (м), угол скоса (градус) и знаменатель масштаба модели; l — расстояние от передней узловой точки объектива до вертикальной оси вращения фотокамеры (для фототеодолита *Phothea* 19/1318 L=0,105 м).

При этом измерительная марка сойдет с точки 1 модели. С помощью винта конвергенции измерительную марку вновь совмещают с точкой 1 модели, после чего измерительную марку прибора последовательно совмещают с точками 1, 2, 3 модели, накалывают их на планшет и выписывают их условные высотные отметки, снятые со счетчика стереоавтографа.

На оси $Y_ф$ накалывают точку на дальнем плане с отстоянием, кратным 10 мм в масштабе модели.

После этого составляют план участка в горизонталях, числовых отметках или проводят линии вертикальных сечений, вдоль которых в характерных точках набирают отметки. Вертикальные сечения целесообразно строить параллельно оси $Y_ф$ через определенные интервалы, задаваемые по счетчику X прибора.

При обработке последующих съемок планшет ориентируют по оси $Y_ф$ левого снимка, центрируют по точке, наколотой на этом направлении.

Корректирование модели выполняют по точкам 1, 2, 3. Остаточные погрешности на них не должны превышать 0,2 мм в плане 1—2 см по высоте. После корректирования модели последующей съемки пополняют план или рисуют вертикальные сечения.

5.5. Использование методов аналитической фотограмметрии

5.5.1. Для определения деформаций земной поверхности на естественных склонах и в прикарьерной зоне используют аэрофотограмметрическую съемку.

5.5.2. Аэрофотограмметрическую съемку выполняют специализированные и научно-исследовательские организации, а также бюро специализированных маркшейдерских работ при производственных объединениях отрасли.

5.5.3. Величины смещений точек поверхности получают как разности их координат из последующей и предыдущей съемок. Координаты точек определяют методом маршрутной или блочной аналитической пространственной фототриангуляции.

5.5.4. Параметры аэрофотосъемки (высоту фотографирования, фокусное расстояние аэрофотоаппарата, величины продольного и поперечного перекрытий и т. д.), а также схему расположения опорных точек выбирают, руководствуясь необходимой точностью определения деформаций, требованиями используемой программы аналитической обработки и ее возможностями.

5.5.5. Перед аэрофотосъемкой маркируют опорные и определяемые точки, намечают или маркируют ориентиры для прокладки съемочных маршрутов и ориентиры для определения момента включения аэрофотоаппарата на маршруте.

5.5.6. Аналитическая обработка измерений снимков наземной стереофотограмметрической съемки позволяет существенно повысить точность определения смещений.

Используют нормальный, конвергентный или общий виды съемки. Наибольшую точность обеспечивает симметрично-конвергентный вид съемки с углом конвергенции осей от 60 до 90° и с отношением базиса к расстоянию до определяемых точек по нормали к нему от 1 до 2 (рис. 25). Для предварительного расчета

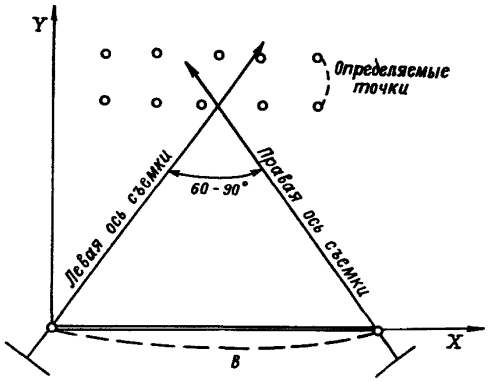

Рис. 25. Схема симметрично-конвергентного вида съемки

средних квадратических ошибок определения координат точек при симметрично-конвергентной съемке используют формулу:

$$m_{x,y,z} = \frac{Y^2}{Bf} m,$$

где $m_{x,y,z}$ — средняя квадратическая ошибка определения координат точки по осям X, Y, Z, м; Y — расстояние от базиса до

определяемой точки, м; B — базис, м; f — фокусное расстояние фотокамеры, мм; m — ошибка определения координат точек на снимке, мм; (m следует принимать равной 0,006 мм при измерении координат точек на стекометре и 0,008 мм — на стереокомпараторе «*Steko* 1818»).

5.5.7. Измерения снимков выполняют на стереокомпараторах, предпочтительно с автоматической регистрацией из результатов (например, на стекометре «К. Цейсс, Йена»).

Координаты точек вычисляют на ЭВМ, используя программу, позволяющую выполнять расчеты с уравниванием результатов измерений (например,- [3] *).

5.5.8. Количество опорных точек и схему их расположения определяют в соответствии с требованиями программы аналитической обработки результатов измерений снимков.

5.5.9. Возможно также аналитическое определение смещений точек по псевдостереоскопическим снимкам. Подробная методика этого способа и программа аналитической обработки изложена в работе [4].

*** В настоящее время во ВНИИМИ разрабатывают на основе указанной программы ее вариант, рассчитанный на ЕС ЭВМ.**

6. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА КАРЬЕРАХ ПО НАБЛЮДАЕМЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ

6. 1. Параметры процесса деформирования, устанавливаемые по результатам наблюдений

6.1.1. По результатам натурных наблюдений определяют следующие параметры, характеризующие процесс деформирования прибортового массива:

горизонтальные смещения реперов;

вертикальные смещения реперов;

полные векторы смещения реперов;

горизонтальные деформации (растяжения и сжатия);

вертикальные сжатия;

величины сдвигов;

скорости смещения реперов по направлению векторов смещения и скорости деформаций.

6.1.2. При обработке наблюдений по профильным линиям горизонтальные смещения (м) определяют по формуле:

$$\xi = D_{n+1} - D_n, \tag{37}$$

где D_n и D_{n+1} — горизонтальные расстояния от опорного репера до данного репера соответственно из начального (или предыдущего) и из последующего наблюдений (м); сами расстояния от опорного репера до каждого из реперов профильной линии определяют суммированием горизонтальных расстояний между реперами.

Горизонтальные смещения реперов можно вычислять также по разностям длин интервалов между реперами путем их последовательного алгебраического суммирования, а вертикальные смещения — по разностям превышений между смежными реперами в сравниваемых сериях наблюдений.

При обработке линейно-угловых, линейных и других видов засечек горизонтальные смещения реперов определяют по формуле:

$$\xi = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \tag{38}$$

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg}(\Delta y / \Delta x), \tag{39}$$

где Δx и Δy — приращения координат смещающегося пункта за период между двумя последовательными сериями наблюдений, м; α — дирекционный угол планового смещения пункта, градус.

6.1.3. Вертикальные смещения η (м) определяют по формуле:

$$\eta = H_{n+1} - H_n, \tag{40}$$

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

6.1.4. Полный вектор смещения (м) и угол наклона (градус) векторов смещения реперов определяют по горизонтальным и вертикальным смещениям:

$$b=\sqrt{\xi^2+\eta^2}; \quad (41) \qquad \delta=\operatorname{arc\,tg}\frac{\eta}{\xi}. \quad (42)$$

6.1.5. Горизонтальные деформации исследуемого интервала (интервала между реперами) за период между двумя наблюдениями определяют по формуле:

$$\varepsilon=(d_{i+1}-d_i)/d, \qquad (43)$$

где d, d_i, d_{i+1} — горизонтальная длина интервала, соответственно, начального, предыдущего и последующего наблюдений, м.

Горизонтальные деформации за весь период наблюдений определяют по формуле:

$$\varepsilon=\left(\frac{d_n}{d}-1\right), \qquad (44)$$

где d_n — горизонтальная длина интервала последнего наблюдения, м.

Горизонтальные деформации, соответствующие увеличению интервалов, обозначают знаком «+» и называют растяжениями, а соответствующие уменьшению интервалов — знаком «—» и называют сжатиями.

6.1.6. По смещениям реперов определяют величины сдвигов прибортовой зоны массива горных пород. Величину сдвига γ рассчитывают как отношение разности полных смещений соседних реперов к расстоянию между этими реперами по нормали к направлению их смещения:

$$\gamma=(b_{n+1}-b_n)/m, \qquad (45)$$

где b_n и b_{n+1} — смещения предыдущего и последующего реперов, м; m — расстояние между реперами по нормали к направлению смещения векторов, м.

При несовпадении направлений смещений реперов выбирают наиболее характерное для исследуемого участка прибортового массива направление смещения, которое соответствует среднему значению направлений наибольших смещений. Сдвиг вычисляют как отношение разности проекций векторов смещений двух соседних реперов на выбранное направление смещений к расстоянию между реперами по нормали к этому же направлению. Величину сдвига относят к середине интервала между реперами.

6.1.7. Наиболее важными характеристиками процесса деформирования прибортового массива являются скорость смещения реперов и скорости деформаций V_ε, V_γ:

$$V_b=(b/\Delta T); \quad V_\varepsilon=(\varepsilon/\Delta T); \quad V_\gamma=(\gamma/\Delta T), \qquad (46)$$

где b — полный вектор смещения репера за период наблюдения, м; ε и γ — горизонтальные деформации и сдвиг за то же время; ΔT — интервал времени наблюдения, сут.

6.2. Анализ результатов маркшейдерских наблюдений

6.2.1. При анализе результатов маркшейдерских наблюдений ставят целью:

— установить факт возникновения смещений прибортового массива, связанных с введением горных работ и изменением природного напряженного состояния массива;

— установить тип потенциального оползня или происшедшего разрушения прибортового массива;

— определить местоположение зон максимальных растяжений и сжатий и максимальных сдвигов на поверхности, примыкающей к верхней бровке борта карьера (откоса уступа или отвала), а также в основании борта или его подошвы, соответствующих наиболее вероятному выходу потенциальной поверхности скольжения на дневную поверхность формирующегося потенциального оползня;

— установить изменение во времени скоростей смещения характерных участков прибортового массива и определить на этой основе влияние времен года и горных работ на развитие деформаций бортов карьеров;

— установить степень опасности наблюдаемых деформаций, т. е. оценить устойчивость откосов по результатам наблюдений;

— разработать прогноз развития деформаций прибортового массива во времени;

— оценить эффективность осуществляемых противооползневых мероприятий.

6.2.2. Возникновение смещений прибортового массива в начальный период наблюдений (при наличии 2—3 серий наблюдений) может быть установлено проверкой неравенства:

$$b > tm_s,$$

где b — величина смещения, полученная из наблюдений, м; t — коэффициент кратности для перехода от средней квадратической погрешности к границам доверительного интервала, который принимают равным 2,5—3; m_s — погрешность определения вектора смещения, м.

При выполнении этого неравенства с вероятностью 0,98—1 считают, что анализируемый пункт сместился.

При наблюдениях на профильных линиях, кроме такого анализа, может быть произведен анализ относительных деформаций интервалов между реперами. Если в двух сериях наблюдений между 2—3 смежными реперами зафиксировано растяжение 10 мм и более, а на соседних с ними интервалах нет сжатий, то это свидетельствует о наличии смещений. При наблюдении по парным профильным линиям это подтверждается на второй линии.

6.2.3. Установление типа оползня и построение поверхности скольжения производится на основе изученных особенностей

развития деформаций прибортовых массивов в различных инженерно-геологических условиях (см. разд. 1).

Если векторы смещения реперов изменяют направление плавно, выполаживаясь к основанию борта, по величине на поверхности прибортового массива и в верхней части наклонной поверхности борта постоянны, а начиная с нижней трети высоты борта плавно уменьшаются до минимальных значений у нижней бровки его (рис. 26), то это является признаком того,

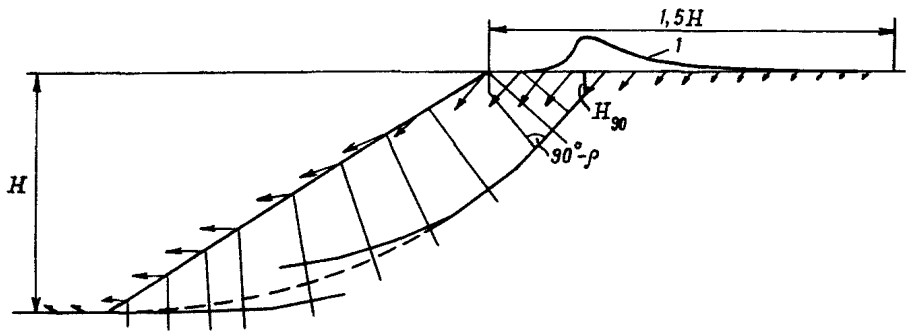

Рис. 26. Построение поверхности скольжения в однородном откосе по векторам смещений реперов:

H — высота борта; *1* — график сдвигов

что в изотропном прибортовом массиве формируется плавная криволинейная поверхность, а смещение оползающего массива произойдет по поверхности скольжения как одно целое без существенных относительных смещений отдельных участков. Положение поверхности скольжения при этом строят по направлениям векторов перемещения реперов.

Построение выполняют следующим образом (см. рис. 26):

На профиле борта карьера, изображенном в определенном масштабе, на котором нанесены векторы смещения реперов, заложенных на земной поверхности и на борту, из начала векторов восстанавливают перпендикуляры в сторону массива.

От точки на земной поверхности, в которой зафиксировано максимальное значение сдвига, строят вертикальный отрезок (м), равный H_{90}:

$$H_{90}=\frac{2k}{\gamma}\operatorname{ctg}(45^\circ-\varrho/2), \qquad (47)$$

где k — сцепление массива горных пород, т/м^2; γ — плотность, т/м^2; ϱ — угол внутреннего трения горных пород, градус.

Из конца H_{90} и основания откоса проводят отрезки, параллельные ближайшим векторам смещения реперов и пересекающие перпендикуляры к этим векторам смещений; отрезки продолжают

до пересечения с биссектрисами углов между пересеченными перпендикулярами и соседними с ними.

Из точек пересечения проведенных отрезков и биссектрис проводят новые отрезки, параллельные последующим векторам смещения, до пересечения с биссектрисами углов между двумя другими следующими по порядку перпендикулярами и т. д.

Полученная таким путем ломаная линия между верхней и нижней точками сглаживается в плавную кривую.

Если при построении ломаной линии от одной (верхней или нижней) точки она не смыкается с другой, построение необходимо вести одновременно от обеих точек до середины откоса; возникшее несмыкание исправляют проведением плавной кривой (см. рис. 26).

6.2.4. При условии формирования оползней надвига или выпирания, связанных с наличием в основании борта горизонтального или наклонно залегающего слабого контакта и пластичного прослойка, деформации носят специфический характер (рис. 27), а именно, в массиве четко формируются клин активного давления, призма упора и вал выпирания.

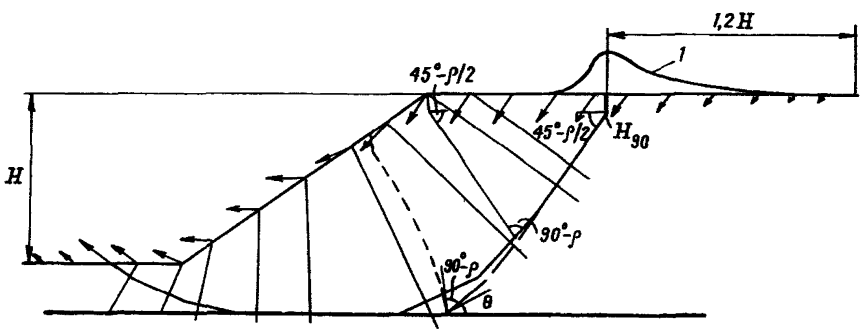

Рис. 27. Построение поверхности скольжения по векторам смещений реперов при развитии контактного оползня выпирания;

H — высота борта; *1* — график сдвигов

Построение потенциальной поверхности скольжения оползней выпирания и надвига производят аналогично изложенному в п. 6.2.3.

6.2.5. Во всех случаях при анализе результатов маркшейдерских наблюдений и установлении типа потенциального оползня следует руководствоваться характерными для различных типов оползней отличительными признаками, установленными на основе многолетних наблюдений за деформациями прибортовых массивов и приведенными в табл. 2.

6.2.6. Определение местоположения зон максимальных растяжений (сжатий) и максимальных сдвигов в прибортовом массиве производят по графикам деформаций, которые строят на профиле борта, изображенном в определенном масштабе на чертеже.

6.2.7. Изменение во времени скоростей смещения характерных участков прибортового массива прослеживают путем построения графика зависимости $V=f(t)$, характеризующего развитие скорости смещения реперов во времени; этот график является основой для установления влияния различных факторов (атмосферных осадков, горных работ, буровзрывных работ и др.) на процесс развития деформаций.

6.3. Оценка устойчивости откосов по результатам наблюдений и прогнозирование деформаций прибортовых массивов

6.3.1. Общая величина смещения поверхности прибортового массива зависит не только от степени устойчивости бортов карьера, типа развивающегося оползня, но и от параметров бортов и, прежде всего, от их высоты.

Долговременными наблюдениями за деформациями бортов карьеров в натурных условиях и моделированием откосов эквивалентными материалами установлена зависимость деформирования прибортового массива от степени устойчивости бортов, характеризующаяся следующими признаками.

1) При коэффициенте запаса устойчивости бортов, равном и более 1,3, прибортовой массив испытывает преимущественно упругие деформации, величина которых находится в пределах точности маркшейдерских измерений; относительные горизонтальные деформации массива при этом не превышают $1 \cdot 10^{-3}$;

2) При коэффициенте запаса устойчивости бортов 1,3—1,2 наблюдают затухающие во времени смещения, в массиве появляются микро- и макротрещины; общие смещения поверхности прибортовых массивов глубоких карьеров (с бортами высотою 100 м и более) достигают 200—300 мм и более.

3) При коэффициенте запаса устойчивости бортов 1,2—1,1 прибортовой массив испытывает значительные деформации: на поверхности, примыкающей к борту, появляются видимые заколы и трещины, горизонтальные деформации прибортовых массивов достигают порядка $(10—30) \cdot 10^{-3}$, а общие величины смещений массива в пределах призмы оползания глубоких карьеров достигают 1,5—2 м и более (в зависимости от высоты борта и его геологического строения); деформации во времени преимущественно также затухают.

4) При уменьшении коэффициента устойчивости бортов до 1,05 и менее со временем наблюдали разрушения бортов.

5) При крутых углах падения слоев слоистого прибортового массива трещины и заколы на бортах карьеров с раскрытием до 0,5—1 м вследствие изгиба и проскальзывания слоев возникают значительно раньше при коэффициенте запаса устойчивости, обеспечивающем общую устойчивость борта. Общие смещения прибортового массива, предшествующие обрушению бортов глубоких карьеров, достигают весьма значительных величин (5—10 м).

6.3.2. Установленная зависимость деформирования прибортового массива от степени его устойчивости, оцениваемой по коэффициенту запаса устойчивости, соответствует достигнутому уровню надежности методов оценки устойчивости бортов карьеров и определения прочностных характеристик горных пород, используемых в расчетах.

В общем случае устойчивость откосов, имеющих тот или иной коэффициент запаса устойчивости, будет зависеть от сдвигающих напряжений в прибортовом массиве, которые могут оказаться больше или меньше предельных напряжений, вызывающих деформации ползучести горных пород и определяющих их длительную прочность. Если напряжения в откосах будут превышать пределы длительной прочности горных пород, то сами откосы будут находиться в запредельном равновесии, деформируясь во времени до полного разрушения; время деформирования до разрушения будет уменьшаться при напряжениях в откосах, близких к значениям предельной (пиковой) прочности.

Поскольку вопрос об установлении длительной прочности (предела ползучести) отдельных разновидностей горных пород и комплексов пород до настоящего времени не получил достаточно надежного решения, наблюдения за деформациями прибортовых массивов по-прежнему остаются наиболее надежным средством оценки степени опасности наблюдаемых деформаций бортов карьеров.

6.3.3. Исследования деформаций откосов в натурных условиях и на моделях из эквивалентных материалов позволили установить следующее:

— прибортовой массив до обрушения претерпевает сложное деформирование: горизонтальное растяжение, вертикальное сжатие и сдвиг;

— в прибортовом массиве наблюдаются зоны концентрации деформаций: горизонтальных растяжений, вертикальных сжатий и сдвигов. Так, в однородном откосе можно выделить зону максимальных горизонтальных деформаций (ядро горизонтальных деформаций), в середине откоса — по высоте (см. табл. 2). В откосе кроме ядра горизонтальных деформаций четко прослеживается область увеличенных горизонтальных деформаций, вытянутая вдоль наклонной поверхности откоса и выходящая на откос вблизи нижней бровки откоса. Горизонтальные деформации, фиксируемые на поверхности, примыкающей к верхней бровке откоса, составляют только 60—70% от деформаций в ядре откоса. Зоны максимальных сжатий и сдвигов в откосе приурочены к нижней трети откоса.

При наличии горизонтального или слабонаклонного контакта в основании откоса уже в скрытой и начальной стадии развития деформаций в прибортовом массиве формируются клин активного давления, призма упора и вал выпирания (при заглублении контакта ниже подошвы борта), которые фиксируются по векторам

смещения наблюдаемых реперов. Зоны максимальных горизонтальных деформаций в прибортовом массиве концентрируются на участке внедрения клина активного давления — в вершине клина и в местах формирования поверхностей, ограничивающих клин активного давления.

Тектонические нарушения и контакты между слоями пород при их неблагоприятной ориентировке относительно простирания бортов и наиболее напряженной поверхности являются поверхностями разрыва равномерности деформаций. В этих условиях поверхности разрыва сплошности массива проявляются в роли экрана, за который деформации совсем не распространяются или существенно сокращаются.

6.3.4. Анализ рзвития процесса деформирования прибортовых массивов в натурных условиях и на моделях показал, что прогноз развития деформаций и оценка устойчивости бортов и степени опасности наблюдаемых деформаций могут быть осуществлены двумя способами:

— по предельным (критическим) деформациям;

— по скоростям развития процесса деформирования.

6.3.5. Оценка устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям осуществляется в следующем порядке:

— определяют прочностные (сцепление и угол внутреннего трения) и деформационные характеристики горных пород — функциональную зависимость между напряжениями и деформацией:*

$$\gamma = f\left(\frac{\tau}{\tau_{пр}}\right), \qquad (48)$$

где γ — деформация сдвига (равно могут быть деформации растяжения или сжатия); τ — частное значение сдвигающего напряжения; МПа; $\tau_{пр}$ — предельное напряжение сопротивления сдвигу породы, МПа;

— по смещениям реперов вычисляют величины деформаций (сдвигов, горизонтальных деформаций, вертикальных сжатий) прибортовой зоны массива горных пород;

— вычисляют коэффициент запаса устойчивости борта по наиболее напряженной поверхности как отношение суммы сил, удерживающих призму возможного обрушения в равновесии $T_{уд}$, к сумме сдвигающих сил $T_{сдв}$, стремящихся вывести ее из состояния равновесия; $n = T_{уд}/T_{сдв}$;

— степень устойчивости борта карьера оценивают сравнением наблюдаемых деформаций с деформациями пород массива,

---

* Для слоистых откосов строится график зависимости средневзвешенных значений относительного сопротивления сдвигу слоистого массива от деформаций для расчета предельной деформации, по достижении которой общая сопротивляемость сдвигу слоистого массива начинает уменьшаться и наступает стадия прогрессирующего разрушения.

отображенными в виде функциональной зависимости $\gamma = f(\tau/\tau_{пр})$, установленной предварительно по результатам испытаний пород. Если вычисленный коэффициент запаса устойчивости откоса соответствует действительному, то деформации, установленные маркшейдерскими инструментальными наблюдениями, должны соответствовать деформациям, снятым с графика $\gamma = f(\tau/\tau_{пр})$ при значении $\tau_{пр}/\tau = n$.

6.3.6. Затухающие деформации прибортового массива по превышении напряжений предела ползучести сменяются деформациями, протекающими с постоянной скоростью.

При установившейся скорости деформирования время до обрушения откоса можно определить из выражения:

$$t \geqslant (\gamma_{пр} - \gamma_{уст}) / V_{уст}, \qquad (49)$$

где $\gamma_{пр}$ — предельная деформация сдвига, установленная лабораторными испытаниями пород или натурными наблюдениями, по достижении которой наступает прогрессирующее разрушение; $\gamma_{уст}$ — деформация сдвига, по достижении которой наблюдается установившаяся постоянная скорость деформирования; $V_{уст}$ — установившаяся скорость деформации сдвига, 1/сут.

6.3.7. Оценка устойчивости откосов и прогноз времени деформирования по наблюдаемым деформациям осложнены ограниченными возможностями установления полных смещений прибортового массива на любой момент времени, а также предельных деформаций для различных стадий деформирования горных пород в различнх инженерно-геологических условиях.

Трудности установления предельных деформаций прибортовых массивов горных пород связаны еще и с тем, что в процессе деформирования в горном массиве при относительно небольших значениях деформаций возникают разрушения, т. е. разрывы сплошности массива в виде раскрытых трещин; такие трещины наблюдаются на поверхности, примыкающей к верхней бровке бортов карьеров, а на моделях из эквивалентных материалов — выявлены и внутри массива. В связи с этим поинтервальное определение относительных деформаций прибортового массива, на сравнительно небольших участках зависит от размеров исследуемых интервалов. При уменьшении исследуемых интервалов, например, длин и при попадании в интервал трещины разрыва можно получить сколь угодно большие значения относительных деформаций, которые не могут характеризовать деформированное состояние — устойчивость и сопротивляемость сдвигу в целом прибортового массива.

Поэтому при установлении критических деформаций лабораторными испытаниями образцов пород, моделированием откосов эквивалентными материалами и натурными наблюдениями за деформациями прибортовых массивов, а также при оценке наблюдаемых деформаций следует сравнивать геометрически

подобные системы и рассматривать деформирование систем в целом. Усредненные деформационные характеристики деформирующейся системы в целом (прибортового массива) являются более объективными характеристиками. Частные значения деформационных показателей отдельных участков деформирующейся системы могут характеризовать зоны концентрации или разряженности деформаций.

6.3.8. Поскольку величины предельных деформаций горных пород, и тем более горных массивов, надежно установить сложно, целесообразнее прогнозировать развитие деформаций и оценивать степень опасности наблюдаемых деформаций по скорости их развития.

Проследить весь процесс деформирования бортов карьеров от возникновения деформаций до разрушения прибортового массива в натурных условиях не удается, так как такие наблюдения требуют длительного времени и практически нет возможности допустить развитие деформаций борта до обрушения. Поэтому основные закономерности процесса деформирования откосов изучены по наблюдениям деформаций бортов карьеров на различных стадиях деформирования и на моделях из эквивалентных материалов. Выполненные в большом объеме натурные наблюдения и эксперименты показали, что деформации полностью оформленного откоса с коэффициентом запаса устойчивости, близким к предельному ($n < 1{,}10$), развиваются плавно, а графики величин и скоростей смещений прибортовых массивов откосов подобны графикам деформаций горных пород, получаемым при исследовании ползучести.

Процесс развития деформаций и разрушения откосов моделей четко разделяется на три периода:

— начальный, соответствующий времени отстройки откоса, скорости смещения в котором зависят от темпа оформления откоса, а по завершении оформления носят затухающий характер, если откос имеет некоторый запас устойчивости;

— промежуточный, с постоянной (установившейся) скоростью деформирования;

— конечный, с прогрессирующей скоростью деформирования.

Исследованиями установлено соотношение продолжительности различных периодов деформирования обрушившихся со временем откосов относительно общего времени их деформирования до обрушения:

— продолжительность начального периода деформирования с неустановившейся затухающей скоростью 35%;

— продолжительность следующих периодов, соответственно, 40 и 25%. Накопление смещений прибортового массива за эти же периоды относительно общего смещения до разрушения происходит в следующих соотношениях:

— за начальный период — порядка 45—50% от общих смещений; за промежуточный 20—25%; за конечный 30%.

6.3.9. Общий вид зависимости продолжительности стадий установившегося и прогрессирующего деформирования однородного откоса от величины установившейся скорости выражается показательной функцией:

$$t^{м} = kV_{o}^{n}, \tag{50}$$

где $t^{м}$ — продолжительность стадии деформирования, сут; V_{o} — постоянная скорость на стадии установившегося деформирования, мм/сут; k и n — коэффициенты.

Продолжительность стадии (сут) установившегося деформирования в зависимости от установившейся скорости деформирования имеет вид:

$$t_{у}^{м} = 241 \cdot V_{o}^{-1,182}. \tag{51}$$

Продолжительность стадии (сут) прогрессирующего разрушения в зависимости от установившейся скорости описывается выражением:

$$t_{пр}^{м} = 1{,}46 \cdot V_{o}^{-0,864}. \tag{52}$$

6.3.10. Продолжительность деформирования борта карьера, выраженная через время деформирования моделирующей системы (откоса модели), записывают в виде формулы:

$$T^{н} = t^{м} M \left(\frac{V_{o}^{м}}{V_{o}^{н}}\right), \tag{53}$$

где $T^{н}$ — время деформирования борта карьера, сут; $t^{м}$ — время деформирования модели, моделирующей условия натуры, сут; M — линейный масштаб моделирования; $V_{o}^{м}$ — установившаяся скорость смещения на модели, мм/сут; $V_{o}^{н}$ — установившаяся скорость смещения в натуре, мм/сут.

При оценке процессов с равными скоростями соответственных деформаций модели и натуры зависимость (53) примет вид:

$$T^{н} = t^{м} \cdot M. \tag{54}$$

Величину линейного масштаба моделирования при равенстве углов внутреннего трения материала моделирования и массива горных пород в откосе $\varrho_{м} = \varrho_{н}$ вычисляют по формуле:

$$M = \frac{k_{н} \cdot \gamma_{м}}{k_{м} \cdot \gamma_{н}}, \tag{55}$$

где $k_{м}$, $k_{н}$ — сцепление материала, используемого при моделировании откосов, и сцепление массива горных пород, слагающего борт карьера, т/м^2; $\gamma_{м}$, $\gamma_{н}$ — плотность материала моделирования и массива горных пород в натуре соответственно, т/м^3.

6.3.11. При оценке степени опасности наблюдаемых деформаций откосов наиболее ответственным является прогнозирование стадии прогрессирующего разрушения.

Скорость на различные моменты времени в стадию прогрессирующего деформирования выражается следующей зависимостью:

$$V = V_0 \left[1 + \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{t}\right)\right], \qquad (56)$$

где V_0 — скорость на стадии установившегося деформирования, мм/сут; V — скорость деформирования в рассматриваемый момент времени, мм/сут; $\bar{t} = (t/t_{пр}), t$ — интервал времени с момента установления стадии прогрессирующего разрушения до рассматриваемого момента, сут; $t_{пр}$ — продолжительность стадии прогрессирующего деформирования, сут.

Поскольку нарастание скорости в стадию прогрессирующего деформирования с момента, когда отношение наблюдаемой скорости V к скорости установившегося деформирования V_0 достигнет значения 3—4, происходит практически линейно, это отношение следует считать критерием обрушения, а время наступления обрушения прогнозировать из условия, что увеличение наблюдаемой скорости в стадию прогрессирующего разрушения до значений, превышающих в 3—4 раза установившуюся скорость деформирования V_0, происходит за период времени $t = 0{,}7 - 0{,}8 t_{пр}$.

6.3.12. Установленная зависимость (56), отражающая изменение скорости процесса деформирования прибортового массива во времени в стадию прогрессирующего деформирования, позволяет решить вопрос обоснования периодичности наблюдений в зависимости от прироста скорости деформирования.

Периодичность наблюдений в стадии прогрессирующего деформирования определяется из следующей зависимости:

$$\Delta t \leqslant \frac{2}{\pi} t_{пр} \left[\operatorname{arc\,tg}\left(\frac{V + \Delta V}{V_0} - 1\right) - \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{V}{V_0} - 1\right)\right], \qquad (57)$$

где Δt — интервал времени между сериями наблюдений (периодичность наблюдений), сут; $t_{пр}$ — продолжительность стадии прогрессирующего разрушения вычисляют по формуле (52), сут; V_0 и V — означают то же, что и в формуле (56); ΔV — улавливаемый наблюдениями прирост скорости, мм/сут.

6.3.13. Приведенные зависимости (50—57) установлены для интервала постоянных скоростей смещения V_0 от 0,06 до 144 мм/сут, т. е. для скоростей, отличающихся на три порядка и реально наблюдающихся в натурных условиях деформирования бортов карьеров и угольных разрезов. Эти зависимости могут служить основой для прогнозирования развития процесса деформирования прибортовых массивов по наблюдаемым скоростям смещений.

Более точный прогноз развития процесса деформирования прибортового массива в конкретных горно-геологических условиях можно составить после моделирования

борта эквивалентными материалами с соблюдением геометрического подобия и условий подобия процессов разрушения [15].

6.3.14. 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 значений 1—2 мм/сут, то при неизменных параметрах борта угрозы разрушения его не существует;

— при постоянной скорости смещения возникает реальная возможность разрушения борта, тем большая, чем больше скорость смещения; частоту наблюдений при этом увеличивают, систематически следят за появлением видимых трещин и заколов на поверхности прибортового массива;

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

6.4. Маркшейдерский контроль за ведением горных работ на деформирующихся бортах карьеров

6.4.1. Исследованиями деформаций прибортовых массивов установлено, что разрушению бортов предшествуют развивающиеся в течение длительного времени деформации, а образование заколов и терщин на примыкающей к борту земной поверхности не является признаком обязательного последующего разрушения борта.

Следовательно, параметры бортов можно безопасно увеличивать до появления видимых трещин и заколов и вести горные работы на деформирующихся бортах, контролируя маркшейдерскими наблюдениями скорости деформирования.

6.4.2. При проектировании параметры бортов (углы наклона и высоту) рассчитывают на основе детального изучения инженерно-геологических условий месторождений; расчеты выполняют с коэффициентом запаса устойчивости 1,2—1,3, который вводится для обеспечения гарантированной устойчивости бортов с учетом погрешностей изучения расчетных показателей физико-механических свойств массива горных пород, погрешностей определения элементов залегания поверхностей ослабления горного массива и самих методов расчета. Фактическая величина коэффициента запаса может существенно отличаться от расчетной величины. Если горные работы приближаются к предельному проектному контуру и фактический коэффициент запаса окажется намного больше 1, то можно увеличить угол наклона борта и одновременно (в зависимости от условий залегания полезного ископаемого) предельную глубину отработки

месторождения открытым способом без разноса верхних, поставленных в предельное положение, уступов. Увеличивать угол наклона и высоту бортов можно до тех пор, пока наблюдаемые скорости смещения и абсолютные величины смещения прибортового массива не достигнут критических значений.

6.4.3. Для надежной оценки степени опасности развивающихся деформаций и оценки устойчивости бортов по наблюдаемым деформациям предварительно устанавливают величины предельных смещений прибортового массива и критических скоростей смещений для различных инженерно-геологических условий и типов формирующихся оползней. Накопленный опыт натурных наблюдений свидетельствует о том, что диапазон предельных скоростей смещения прибортового массива довольно широк: от 1—10 мм/сут — для прибортовых массивов до 10—500 мм/сут — для рабочих площадок отвалов, а предельные абсолютные величины смещений в зависимости от размеров деформирующихся откосов (высоты бортов и откосов отвалов) и свойств пород могут изменяться от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Так, для условий отсыпки высоких нагорных отвалов ПО «Апатит», установленная наблюдениями критическая скорость оседания рабочих площадок, равна 500 мм/сут; критическая скорость смещения прибортового массива для условий угольного разреза Марица-Восток (НРБ) составляла 2 мм/сут. Однако установление величин допустимых деформаций бортов карьеров в различных инженерно-геологических условиях остается одной из важнейших задач маркшейдерских наблюдений.

6.4.4. На карьерах и угольных разрезах необходимость и целесообразность ведения открытых горных работ на деформирующихся бортах может возникнуть при доработке запасов полезного ископаемого на предельном контуре, когда преследуют цель добыть законтурные запасы и сэкономить на вскрыше, отрабатывая только нижнюю часть борта и искусственно вызывая рост деформаций прибортового массива до значений, близких к критическим. В отдельных случаях необходимость ведения горных работ на деформирующихся бортах возникает вследствие допущенных ошибок в оценке их устойчивости и назначении при проектировании завышенных параметров бортов, отстройка которых в процессе ведения горных работ приводит к возникновению трещин и заколов, развитию скоростей и величин смещений прибортового массива, близких к критическим.

Порядок ведения горных работ и способы маркшейдерского контроля за деформациями бортов, находящихся по условию устойчивости в состоянии, близком к предельному, т. е. в околопредельном состоянии, или искусственно доводимых до такого состояния, зависят от горно-геологических условий эксплуатируемых карьеров.

6.4.5. При горизонтальном и пологом залегании пород и

полезного ископаемого, слагающих борт на контуре погашения, если на поверхности прибортового массива не прослеживаются видимые признаки деформаций (отсутствуют трещины и заколы), а наблюдениями зафиксированы незначительные затухающие деформации, рекомендуется следующий порядок ведения горных работ по выемке дополнительных запасов полезного ископаемого и осуществления маркшейдерского контроля за деформациями борта:

— по уточненным в процессе эксплуатации физико-механическим характеристикам горных пород рассчитывают общий коэффициент запаса устойчивости борта;

— рассчитывают коэффициенты запаса устойчивости борта для ряда (2—5) контрольных профилей, соответствующих поэтапным контурам планируемой отработки нижней части борта, с интервалом изменения коэффициента запаса устойчивости, примерно равным 0,05;

— на поверхности прибортового массива и верхних уступах борта закладывают наблюдательные профильные линии через интервал в 100—150 м по протяжению борта;

—равномерно по простиранию и высоте ведут поэтапную отработку нижней части борта в пределах намеченных контрольных профилей и систематические маркшейдерские наблюдения за развитием деформаций по заложенным профильным линиям;

— при возникновении смещений, фиксируемых маркшейдерскими наблюдениями, что соответствует устойчивому состоянию борта с коэффициентом запаса устойчивости в пределах 1,2—1,25, интенсивность отработки снижается, а частота наблюдений на профильных линиях повышается;

— производят корректировку расчетов устойчивости борта в соответствии с результатами наблюдений — от зафиксированного наблюдениями контура с коэффициентом запаса 1,2—1,25 строят новые контрольные профили поэтапной отработки нижней части борта с тем же интервалом изменения коэффициента запаса устойчивости, равным 0,05;

— дальнейшая равномерная поэтапная отработка борта в пределах контрольных профилей прекращается с появлением видимых трещин и заколов, оконтуривающих на поверхности прибортового массива потенциальную призму обрушения, что соответствует устойчивому состоянию борта с минимально допустимым коэффициентом запаса устойчивости, равным 1,1—1,15.

6.4.6. При возникновении заколов и трещин на прибортовой полосе земной поверхности рабочего борта рекомендуется следующий порядок дальнейшего безопасного ведения горных работ:

— исходя из условия возникновения трещин и заколов на поверхности борта, соответствующего устойчивому состоянию с минимально допустимым коэффициентом запаса устойчивости, равным 1,1—1,15, корректируют расчетные характеристики

прочности; по скорректированным характеристикам производят переоценку устойчивости борта на предельном контуре и устанавливают в соответствии с расчетом его параметры;

— расчетом устойчивости определяют параметры рабочего борта с коэффициентом запаса устойчивости 1,15—1,2 м, сконцентрировав работы на верхней части борта, оформляют рабочий борт карьера по расчетному профилю;

— контроль за деформациями осуществляют наблюдениями по профильным линиям, для чего закладывают не менее двух профильных линий, при сработке реперов их незамедлительно восстанавливают, чем обеспечивают непрерывность наблюдений;

— при увеличении скоростей смещений по старым заколам до 3—4 мм/сут следует прекратить работы на нижних горизонтах и сосредоточить работы по разгрузке верхней части борта;

— в целом после переоценки устойчивости рабочего борта целесообразно его выположить и вести отработку, не допуская возникновения трещин и заколов.

6.4.7. При наклонном залегании слоев горных пород, слагающих прибортовой массив, и угле наклона борта лежачего бока, меньшем угла падения слоев, экономичная выемка дополнительных запасов полезного ископаемого возможна при условии, если одновременно с отработкой нижних уступов борта лежачего бока допустима отработка нижней части борта висячего бока.

Последовательность отработки дополнительных запасов полезного ископаемого и нижних уступов бортов следующая:

— производят расчеты устойчивости бортов;

— намечают контрольные профили, соответствующие контурам планируемой поэтапной отработки нижних уступов бортов;

— осуществляют наблюдения за деформациями бортов по профильным линиям;

— интенсивность ведения горных работ снижается при возникновении смещений прибортового массива и продолжается до появления на поверхности видимых трещин и заколов, оконтуривающих потенциальную призму оползания.

6.4.8. При доработке мульдообразных залежей полезного ископаемого по восстанию и появлении на прибортовой полосе земной поверхности закола, совпадающего с контуром поднятия пласта и свидетельствующего о снижении коэффициента запаса устойчивости борта до 1,1—1,15, горные работы на деформирующемся борту, предотвращающие развитие опасных смещений, отличаются следующими особенностями:

— для всего заколовшегося массива определяют средневзвешенный коэффициент запаса устойчивости;

— намечают контрольные промежуточные контуры борта с коэффициентом запаса устойчивости большим, чем для заколовшегося участка, и горные работы ведут строго в пределах контрольных промежуточных контуров;

— по мере сработки заколовшейся части борта и снижения влияния на заколовшийся массив сил бокового защемления коэффициент устойчивости борта должен быть увеличен на 20—30% по сравнению с коэффициентом устойчивости борта на момент возникновения закола;

— маркшейдерскими наблюдениями на профильных линиях контролируют, чтобы скорости смещения заколовшегося массива не превысили 3—4 мм/сут;

— если при соблюдении указанных условий скорости смещения заколовшегося массива достигают критических значений (3—4 мм/сут), выполаживают борт, разгружая его в верхней части путем сосредоточения на ней горных работ, и производят пересчет и корректировку контрольных промежуточных контуров.

6.4.9. При диагональном относительно борта простирании пород и угле падения слоев пород, равном или несколько меньшем угла наклона борта, при боковой подрезке слоистости и высоте борта более 70—100 м визуально прослеживаемые признаки деформации прибортового массива начинаются задолго до предельного состояния. Деформации развиваются по наиболее слабому контакту и проявляются в виде трещины на поверхности и трещин надвига на пересечении поверхности контакта с поверхностью борта. По мере увеличения высоты борта или угла наклона трещины расширяются и распространяются по поверхности и в глубь массива, степень раскрытия трещин постепенно затухает с удалением от верхней бровки борта, а надвиговые трещины на откосах увеличиваются и распространяются вниз по уступам борта. Скорости раскрытия трещины в верхней части борта при отработке нижних уступов могут достигать 200 мм/сут, а общее смещение верхней части до полного разрушения борта в зависимости от высоты борта — 3—5 м.

Контроль за состоянием деформирующегося борта осуществляют расчетами устойчивости объемной задачи и маркшейдерскими наблюдениями. Наблюдения за деформациями ведут по 2—3 профильным линиям.

Признаком достаточной устойчивости заколовшегося массива является быстрое и постоянное затухание наблюдаемых смещений после прекращения горных работ на нижних уступах борта. При уменьшении коэффициента запаса устойчивости заколовшейся и срабатываемой горными работами призмы на 20—25% по сравнению с устойчивостью прибортового массива с параметрами борта, соответствующими моменту возникновения видимых трещин, и при установившихся скоростях смещения 5—10 мм/сут, горные работы в нижней части борта приостанавливают и форсируют отработку верхних уступов борта, при этом работы ведут с суточным контролем скоростей смещения заколовшейся призмы.

6.4.10. При крутом и вертикальном залегании слоев слоистого прибортового массива и простирании слоев, совпадающем с простиранием борта, начиная с глубины 70—100 м, деформации возникают задолго до предельного равновесия и проявляются в виде трещин на поверхности и образования ступенек, появление которых связано с расслоением массива, с межслоевыми подвижками и изгибом слоев. По мере увеличения глубины разреза или угла наклона борта деформации распространяются по прибортовой полосе и вниз по борту.

При большой высоте борта (более 100 м) смещения, предшествующие обрушению борта, могут достигать нескольких метров.

Величины критических деформаций, определяющих момент остановки горных работ, зависят от угла наклона борта и его назначения. При расположении на борту транспортных съездов критические деформации ограничиваются величинами, не оказывающими вредного влияния на транспортные коммуникации и безопасное движение транспорта по съездам.

При крутых углах наклона борта (более 30°) предельные деформации ограничиваются степенью разрушения приповерхностного слоя горных пород, возможностью отрыва и скатывания отдельных кусков породы вниз по борту, создающих опасность как для работающих, так и для горного оборудования.

Во всех случаях состояние борта следует считать критическим, если расслоение массива распространилось на 2/3 высоты верхней части борта.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ВЫБОР СХЕМЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗА КОРКИНСКИЙ

После рекогносцировки пунктов маркшейдерской сети на разрезе Коркинский была принята сеть пунктов (рис. 28) для

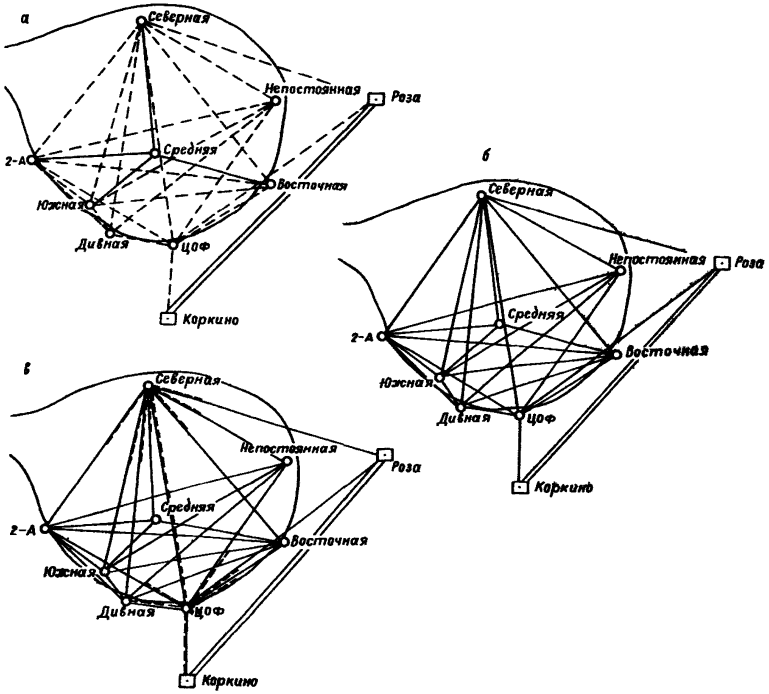

Рис. 28. Схемы наблюдений за деформациями Коркинского разреза по пунктам наблюдательной сети

наблюдения за деформациями бортов. Выбранные наблюдательные пункты расположены равномерно по периметру разреза и на уступах различных горизонтов.

Привязка сети к исходным пунктам осуществлена с помощью геодезического четырехугольника, включающего два исходных пункта (Роза, Коркино) и два пункта наблюдательной сети (ЦОФ, Северная).

При анализе выбранной сети предрасчет точности планового положения пунктов проведен для трех схем: угловой сети (рис. 28, *а*), линейной сети (рис. 28, *б*) и смешанной сети (рис. 28, *в*).

Оценка точности сети выполнена на ЭВМ ЕС—1033 по программе «КОМБИ». В качестве исходных условий измерения приняты: погрешность измерения углов $m_\beta=2''$, погрешность измерения длин $m_s=7$ мм. Результаты предрасчета точности, приведенные в табл. 8, 9, 10, показывают: схема угловой сети (табл. 8) имеет невысокую точность, максимальная ошибка в сети в пункте 2—А составляет $m_x=0{,}033$, $m_y=0{,}026$; схема линейной сети (табл. 9) имеет высокую точность при минимальных наблюдениях, а в схему смешанной сети (табл. 10) добавлены угловые измерения на примычных пунктах.

Как показали результаты вычислений, увеличение точности за счет угловых измерений по сравнению со схемой линейной сети (см. рис. 28, *б*) значительно увеличивают трудоемкость работ.

При анализе сети исходили из условия, что высотное положение всех пунктов (кроме п. Средняя) будет определяться геометрическим нивелированием III класса. Предрасчет точности, выполненный на ЭВМ ЕС—1033 по программе «НИВЕЛ», приведенный в табл. 11, показал, что проектируемая погрешность пунктов удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Предрасчет погрешности положения п. Средняя, определяемый линейной пространственной засечкой относительно пп. Южная, 2—А, Северная , 2-я Восточная, приведен в табл. 12.

Проведенные расчеты позволяют принять проектируемую сеть (см. рис. 28, *б*) в качестве исходной наблюдательной сети.

В сентябре 1983 года по выбранной наблюдательной сети был проведен первый цикл наблюдений разреза Коркинский, которые подвергли анализу.

Наблюдения проводились электронным тахеометром ЕОТ-2000, имеющим паспортную погрешность измерения длин $m_s=5$—10 мм, с дальностью действия 3 км.

В табл. 13 приведены средние значения измеренных длин и погрешности линейных измерений, полученные по результатам обработки полевых журналов.

Полученные измерения были обработаны по программе «КОМБИ». В табл. 14 приведена сводка линейных невязок горизонтальных проложений измеренных линий.

Таблица 8

Оценка точности положения определяемых пунктов относительно исходных

Пункты		Средняя квадратическая погрешность по осям координат		Дирекционный угол максимальной оси, градус	Элементы средних квадратических эллипсов погрешностей при радиусах-векторах для различных углов отклонения от максимальной оси, градус									
условные	действительные	M_x	M_y		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	ЦОФ	0,031	0,006	178,4	0,031	0,023	0,015	0,011	0,009	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006
2	Дивная	0,033	0,016	10,6	0,033	0,031	0,027	0,023	0,020	0,018	0,016	0,015	0,015	0,015
3	2-А	0,033	0,026	33,6	0,038	0,036	0,033	0,029	0,025	0,023	0,021	0,020	0,019	0,019
4	Северная	0,021	0,026	85,4	0,026	0,026	0,026	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021	0,021	0,021
5	Непостоянная	0,016	0,019	86,4	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016
6	Восточная	0,019	0,023	123,6	0,025	0,025	0,024	0,022	0,020	0,019	0,017	0,017	0,016	0,016
7	Южная	0,033	0,019	18,5	0,034	0,033	0,029	0,025	0,022	0,020	0,018	0,017	0,016	0,016

Таблица 9

Оценка точности положения определяемых пунктов относительно исходных

Пункты		Средняя квадратическая погрешность по осям координат		Дирекционный угол максимальной оси, градус	Элементы средних квадратических эллипсов погрешностей при радиусах-векторах для различных углов отклонения от максимальной оси, градус									
условные	действительные	M_x	M_y		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	ЦОФ	0,003	0,006	93,3	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003
2	Дивная	0,007	0,006	7,5	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
3	2-А	0,009	0,005	179,5	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005
4	Северная	0,006	0,007	51,9	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
5	Непостоянная	0,007	0,005	170,0	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005
6	Восточная	0,008	0,005	17,4	0,008	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005
7	Южная	0,007	0,006	161,8	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006

Таблица 10

Оценка точности положения определяемых пунктов относительно исходных

Пункты		Средняя квадратическая погрешность по осям координат		Дирекционный угол максимальной оси, градус	Элементы средних квадратических эллипсов погрешностей при радиусах-векторах для различных углов отклонения от максимальной оси, градус									
условные	действительные	M_x	M_y		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	ЦОФ	0,003	0,004	100,7	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
2	Дивная	0,005	0,005	45,0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
3	2-А	0,007	0,005	9,0	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
4	Северная	0,005	0,006	55,5	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
5	Непостоянная	0,006	0,005	158,4	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
6	Восточная	0,006	0,005	7,5	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
7	Южная	0,007	0,005	179,0	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005

Таблица 11

Оценка точности высотных отметок определяемых пунктов относительно исходных

Пункты	ЦОФ	Дивная	2-А	Северная	Непостоянная	Восточная
Средняя квадратическая погрешность, мм.	1,2	1,2	8,1	8,2	5,0	7,5

Таблица 12

Результаты оценки точности уравненных координат определяемых пунктов относительно исходных

Средняя квадратическая погрешность по осям координат, м	Вертикальный угол, градус	Средняя квадратическая погрешность (м) при горизонтальных углах, градус									
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
M_x 0,001	—90	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
	—70	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
	—50	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	—30	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
M_y 0,001	—10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	30	0,004	04004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
M_z 0,007	50	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	70	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
	90	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007

Таблица 13

Средние значения измеренных длин и погрешности линейных измерений

Пункт		Приведенная к центрам реперов длина, м	Средняя квадратическая погрешность измерения длины, м
стояния	визирования		
Коркино	ЦОФ	907,606	0,002
	Коркино	907,610	0,003
	Дивная	483,287	0,003
ЦОФ	Роза	2515,091	0,005
	Восточная	1451,016	0,002
	2-А	1400,824	0,002
	ЦОФ	1400,831	0,006
	Дивная	926,470	0,003
2-А	Южная	613,058	0,003
	2-я Восточная	2601,376	0,007
	Непостоянная	2641,504	0,005
	Северная	2022,504	0,005
	ЦОФ	2505,866	0,005
	Южная	2194,687	0,003
	Дивная	2324,179	0,002
Северная	Роза	2805,410	0,003
	2-я Восточная	2618,919	0,003
	Непостоянная	2031,456	0,002
	ЦОФ	1451,010	0,003
2-я Восточная	Дивная	1849,961	0,003
	Южная	2096,391	0,002
	Южная	2283,161	0,001
Непостоянная	Дивная	2127,524	0,001
	ЦОФ	1873,594	0,005

Таблица 14

Линейные невязки горизонтальных проложений измеренных линий

Пункты	Длина, м		Линейные невязки	
	измеренная	полученная из уравнивания	относительные	абсолютные, м
Средняя—ЦОФ	2505,855	2505,862	1:379808	0,007
2-А—ЦОФ	1400,820	1400,817	1:469824	—0,003
Непостоянная-ЦОФ	1873,583	1873,576	1:282173	—0,007
Непостоянная—Дивная	2127,513	2127,515	1:∞	0,002
Непостоянная—Южная	2283,150	2283,158	1:295776	0,008
Восточная—Южная	2096,380	2096,374	1:324856	—0,006
Восточная —Дивная	1849,950	1849,956	1:305343	0,006
Восточная —ЦОФ	1451,000	1451,002	1:591404	0,002
Средняя—Непостоянная	2031,445	2031,443	1:∞	—0,002
Средняя—Восточная	2618,908	2618,909	1:∞	0,001
Средняя—Роза	2805,399	2805,399	1:∞	0,000
Средняя—Дивная	2324,168	2324,163	1:506287	—0,005
ЦОФ—2-А	1400,813	1400,817	1:360813	0,004
Средняя—Южная	2194,676	2194,673	1:754477	—0,003
2-А—Средняя	2022,493	2022,494	1:∞	0,001
2-А—Непостоянная	2641,493	2641,491	1:∞	—0,002
2-А—Дивная	926,468	926,469	1:∞	0,001
ЦОФ—Восточная	1451,005	1451,002	1:590234	—0,003
ЦОФ—Коркино	2515,080	2515,080	1:∞	0,000
ЦОФ—Дивная	483,276	483,269	1:71444	—0,007
ЦОФ—Коркино	907,599	907,597	1:462616	—0,002
Коркино—ЦОФ	907,595	907,597	1:462616	0,002

Таблица 15

Координаты уравненных пунктов

Пункты	Координаты, м	
	x	*y*
ЦОФ	1867,407	2171,825
Дивная	2031,399	1717,230
2-А	2541,763	944,009
Средняя	4351,993	1845,980
Непостоянная	3182,074	3506,717
Восточная	2353,798	3538,877
Южная	2193,590	1448,634

Таблица 16

Оценка точности положения определяемых пунктов относительно исходных

Пункты		Средняя квадратическая погрешность по осям координат, М		Дирекционный угол максимальной оси, градус	Элементы средних квадратических эллипсов погрешностей при радиусах-векторах для различных углов отклонения от максимальной оси, градус									
условные	действительные	M_x	M_y		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	ЦОФ	0,003	0,006	93,3	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003
2	Дивная	0,007	0,006	156,3	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
3	2-А	0,008	0,005	4,7	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005
4	Северная	0,006	0,007	52,8	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
5	Непостоянная	0,007	0,005	167,5	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005
6	2-я Восточная	0,008	0,005	12,5	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005
7	Южная	0,007	0,006	158,4	0,008	0,008	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006

Примечания к табл. 16. Число избыточных измерений (степеней свободы) $R=9$. Погрешность единицы веса, принятая до уравнивания: $M_1=1,4$. Погрешность единицы веса, полученная из уравнивания: $M_2=2,89$. Оценка точности выполнена с соблюдением условий: 1) при $R<10$ принимали погрешность единицы веса M_1; 2) при $R>20$ принимали погрешность единицы веса M_2; 3) при $9<R<21$ принимали большее из значений M_1 и M_2.

Таблица 17

Высотные отметки пунктов

Пункты	Высотная отметка, м
Дивная	234,080
2-А	233,616
ЦОФ	242,231
Восточная	233,972
Северная	211,586
Непостоянная	169,722

Наибольшая относительная невязка, полученная в расстоянии ЦОФ-Дивная, равна 1/71444 (см. табл. 14).

Координаты уравненных пунктов приведены в табл. 15, а оценка точности положения определяемых пунктов относительно исходных (Роза, Коркино) — в табл. 16.

Высотные отметки пунктов получены геометрическим нивелированием III класса с использованием нивелира *Ni*—0,25. Результаты даны в табл. 17.

Погрешность единицы веса, полученная по результатам уравнивания, составила $M=1{,}631$ при принятой для анализа сети погрешности $M_н=1{,}400$. Это показывает, что точность наблюдения удовлетворительна.

Наибольшая ошибка в сети на пункте 2—А: $m_x=0{,}008$; $m_y=0{,}005$, что достаточно по требованиям к точности.

Проведенный анализ позволяет при дальнейших наблюдениях за смещениями пунктов наблюдательной сети разреза Коркинский принять первый цикл наблюдений в качестве исходного.

ПАСПОРТА ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ И ОТКОСОВ ОТВАЛОВ

При проявлении на наблюдаемом участке деформаций 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 или отвала. Для того, чтобы паспорт деформации не оказался документом, действительным лишь на определенный момент времени, он постоянно пополняется. К паспорту прилагаются графические приложения: план, геологические разрезы с нанесением меняющейся горной обстановки, графики смещений, деформаций, сдвигов, скоростей и т. д.

Далее даны примеры составления паспортов оползней, происшедших на ряде угольных разрезов.

Восточный борт Кумертауского угольного разреза

Общие сведения

Место

ПО «Башкируголь», Кумертауский угольный разрез, восточный рабочий борт (рис. 29, 30).

Время

Деформации в виде трещин-заколов, оконтуривающих призму возможного обрушения, с оседаниями прибортовой полосы 0,3—0,6 м обнаружены в апреле 1974 г.

Вид деформации

Контактный оползень-надвиг.

Размер деформирующегося массива

Распространение деформаций по простиранию борта 1,5 км, по падению 0,5—0,6 км. Ориентировочный объем заколовшегося массива 110 млн. м^3.

Инженерно-геологические условия участка борта

Породы, слагающие борт, их структура

Буроугольный пласт (типа лигнитов) средней мощности 40—60 м залегает на глубине 20—80 м от дневной поверхности. В районе проявившихся трещин-заколов залегание пласта

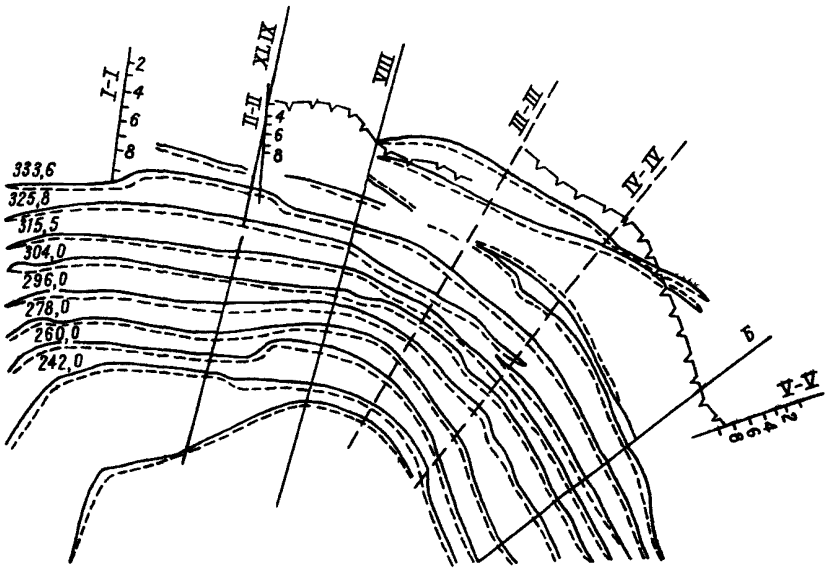

Рис. 29. План участка восточного рабочего борта Кумертауского угольного разреза

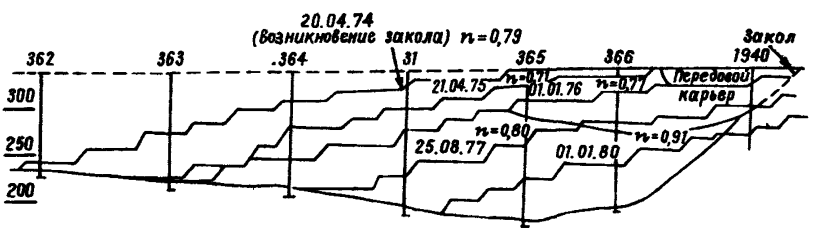

Рис. 30. Разрез по линии VIII с контурами отработки участка оползня

угля мульдообразное с крутыми крыльями. Надугольная толща представлена породами третичного и четвертичного возрастов — суглинками, жирными и песчаными глинами, гравийно-галечниковыми линзами и песками. Подстилающие породы представлены тонкозернистыми кварцевыми песками, жирными и алевритистыми песками. Почва и кровля угольного пласта сильно всхолмлена.

Физико-механические свойства пород

Угленосные отложения характеризуются следующими свойствами: плотностью 2 т/м^3 (для угля плотность 1,1 т/м^3), углом внутреннего трения 17°, сцеплением 5т/м^2, максимальным сопротивлением срезу $\tau_{max}=32$ т/м^2. Характеристики по контактам слоев: сцепление $K'=2{,}1$ т/м^2, угол трения $\varrho'=13°$, максимальное сопротивление сдвигу $\tau'_{max}=8{,}5$ т/м^2.

Гидрогеологические свойства пород

Угленосная толща пород обводнена слабо и может рассматриваться как относительный водоупор. Обводненность надугольной толщи слабая; породы осушены откосом и системой дренажных подземных выработок. Водообильность и водопроницаемость подугольных отложений изменяется в зависимости от литологического строения толщи; средняя величина коэффициента фильтрации 2,3 м/сут.

В целом гидрогеологические условия месторождения благоприятны для устойчивости бортов разреза.

Горно-технические условия

Параметры борта на деформирующемся участке

На момент образования заколов в 1974 г. высота рассматриваемого борта составляла 100—130 м, угол наклона его 12—16°

Ведение горных работ на участке

Восточный борт разреза является рабочим. С момента возникновения заколов отработка борта велась с одновременным развитием передового карьера (в призме активного давления). В дальнейшем, когда оба карьера слились, отработка борта велась так, что постепенно увеличивался коэффициент запаса устойчивости по годам. Кроме того, в южном торце разреза была организована пригрузка борта отвальными массами.

Влияние деформации борта на ведение горных работ

Сравнительно небольшие скорости смещения массива (0,5—1,5 мм/сут) не оказали существенного влияния на ведение горных работ. Отрицательное влияние деформаций проявлялось в периодических нарушениях железнодорожных путей на участках заколов.

Характеристика деформации, оползня или обрушения

Причина возникновения

Несоответствие параметров борта условиям устойчивости, подрезка горными работами контакта в почве угольного пласта.

Проявление деформации

Оползень контактного типа смещается по контакту угольного пласта с подугольной толщей пород.

Результаты наблюдений за деформациями

Наблюдения за деформациями ведутся, начиная с 1970 г., по шести долговременным наблюдательным линиям и по закладываемым на короткий промежуток времени линиям и парным реперам. Наблюдения за деформациями прибортовой полосы при постановке борта в проектное положение велись по 9 линиям, в том числе 3 линии заложены для наблюдений за деформациями примыкающей к разрезу автодороги Уфа—Оренбург. Частота проведения наблюдений — 2 серии в год.

Первые деформации зафиксированы в 1972 г., когда смещения реперов, связанные со сдвигом массива по почве угольного пласта, достигли 20—50 мм. С мая 1974 г. по август 1975 г. общая подвижка верхней части заколовшегося массива составила 400 мм. К концу 1977 г. подвижки достигли 0,8—1 м. В дальнейшем закладываемые наблюдательные линии периодически срабатывались и контроль за смещением массива осуществлялся определением скоростей смещения отдельных точек.

Скорости смещения деформирующегося участка борта за весь период его отработки, начиная с момента проявления на дневной поверхности заколов, отличались сравнительной стабильностью (0,5—1 мм/сут) со слабым увеличением или уменьшением их значений во времени.

За пределами основного деформирующегося массива, как показывают наблюдения, борт претерпел микродеформации.

Степень развития деформации

Заколами охвачен практически весь юго-восточный борт разреза, в связи с чем возможность дальнейшего распространения его по высоте и простиранию отсутствует.

Меры по обеспечению оптимально безопасных условий ведения горных работ на деформирующемся участке

Прогноз устойчивости борта в рабочем и предельном положении

В предельном положении борта заколовшийся массив полностью будет сработан. В рабочем положении горные работы ведутся с учетом устойчивости данного участка борта и проект их ведения согласуется с институтами Уралгипрошахт и ВНИМИ. При этом обеспечивается постепенное увеличение текущего коэффициента запаса устойчивости борта.

Определение способа отработки или консервации деформирующегося борта

Обеспечение условий отработки угольного пласта без сокращения уровня добычных работ производили следующим образом:

— разгрузкой оползня в области призмы активного давления;

— созданием оптимального соотношения объемов вскрышных и добычных работ на данном участке и постепенного увеличения коэффициента запаса устойчивости борта;

— осуществлением пригрузки борта отвальными породами в южной части разреза.

Конкретная программа мероприятий при принятом способе отработки или консервации деформирующегося борта

Начиная с 1974 г. непосредственно у заколов был организован передовой разрез с объемом извлекаемых пород около 7 млн. м^3. Просуществовав около двух лет, он полностью сомкнулся с рабочим бортом и в дальнейшем отработку борта было рекомендовано вести с углами наклона: по угольному пласту 17°, по вскрышной толще 12°. При этом в зависимости от степени фактической отработки ежегодно корректировали форму профиля борта на данном участке и его параметры. С 1978 г. в южной части борта начаты работы по пригрузке нижнего угольного уступа отвалом пустых пород до отметки 245 м с временной консервацией около 600—800 тыс. т угля.

В дальнейшем, в связи со значительной сработкой смещающегося по почве пласта массива, в центральной части на южном борту разреза была запланирована расконсервация и выемка угля. На восточном борту разреза предусматривается отработка запасов угля без доведения вскрышных работ до проектного контура. Выемка оставшегося угля осуществлена с перевалкой его экскаватором ЭШ при создании подпора борта отвальными массами.

Откос отвала разреза Коркинский

Общие сведения

Место

ПО «Челябинскуголь», разрез Коркинский, северо-западная часть Новочумляковского отвала (рис. 31).

Время

Активная стадия 20.04.79 г.

Вид деформации

Подподошвенный оползень откоса отвала.

Размер деформирующегося массива

По простиранию 700—780 м. По падению 200 м. Средняя мощность 35 м. Объем 3,7 млн. м^3.

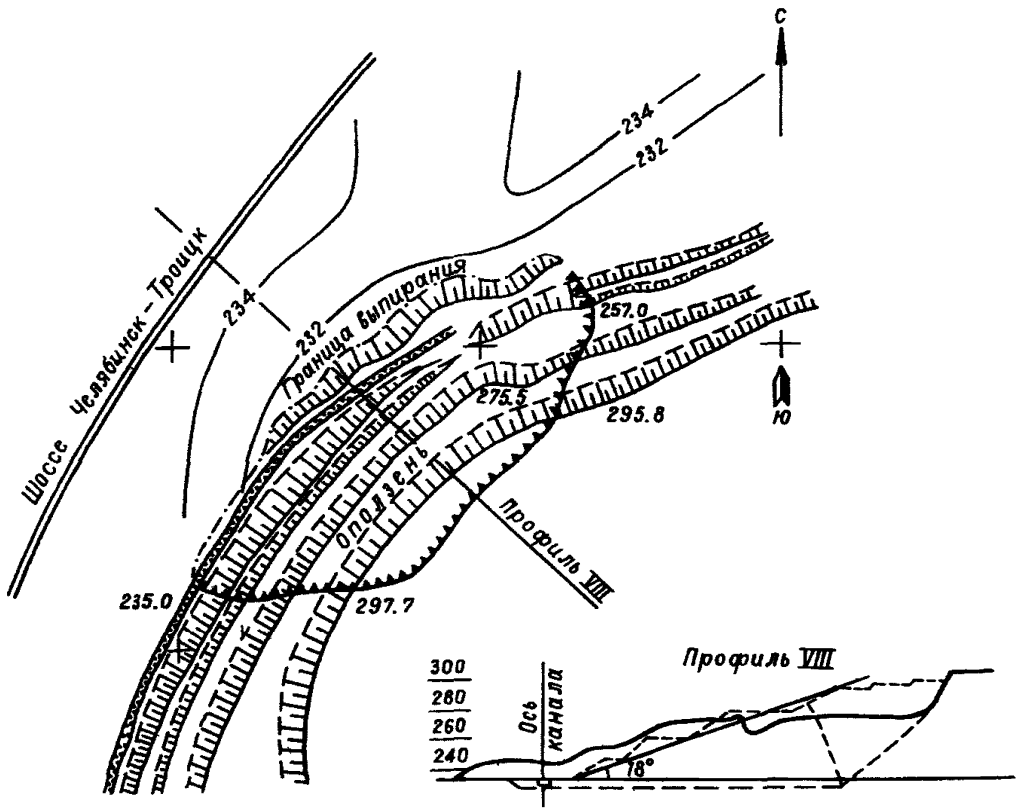

Рис. 31. План и разрез участка оползня северо-западной части Новочумляковского отвала разреза Коркинский

Инженерно-геологические условия участка отвала

Породы, слагающие отвал, их структура

Породы отвала представлены отложениями продуктивной свиты и глинами третичного возраста. В основании отвала залегают неогеновые пластичные глины и палеогеновые пески, распространенные между неогеновыми и палеогеновыми глинами; мощность глин от 0 до 4 м; мощность песков до 7,6 м. Ниже распространена повсеместно палеогеновая опоковидная глина; ее мощность достигает 40 м и более.

Физико-механические свойства пород

Угол трения пород отвала 30°, сцепление 1,5—2 т/м^2, породы основания имеют угол трения 15° и сцепление 4—6 т/м^2; среднее сопротивление сдвигу по наиболее слабым контактам пластичных глин при высоте отвала более 60 м $\tau^{I}_{max} = 8$ т/м^2.

Гидрогеологические условия участка

В основании отвала водосодержащими породами являются пески и опоковидные глины. Питание их в основном происходит атмосферными осадками. Уровень грунтовых вод колеблется от 0,5 до 4,9 м. Отвалы вызывают отжим из основания грунтовых вод и способствуют заболачиванию прилегающей территории.

Коэффициент устойчивости откоса отвала

В проекте откос принят с минимально допустимым коэффициентом запаса устойчивости $n = 1{,}1$; фактический коэффициент при некотором превышении угла наклона против проектного на данном участке $n \approx 1$.

Горно-технические условия

Параметры откоса отвала на деформирующемся участке

Общий угол откоса отвала 18°. Высота отвала 71 м из 3 ярусов, каждый высотой от 20 до 25 м с углом наклона откоса 30°.

Ведение горных работ на участках

Отсыпка отвала производится экскаватором ЭКГ; транспорт железнодорожный. Работы на участке не ведутся с 1976 г.

Влияние деформаций откоса отвала на ведение горных работ

Оползнем нарушена земная поверхность по ширине до 70—90 м и выведен из строя водоотводный канал; трасса восстановленного канала перенесена за пределы выпора отвала.

Характеристика деформации, оползня

Причина возникновения

Превышение угла наклона откоса отвала для данной высоты в условиях постепенного разуплотнения пород водой из канала, проложенного непосредственно у подошвы откоса.

Вид деформации

Подподошвенный оползень выпирания со сложной поверхностью скольжения; поверхность скольжения в породах отвала криволинейная; в породах основания она совпадает со слабым контактом глинистых слоев на глубине 6—10 м.

Результаты наблюдений за деформациями

Наблюдений не производили.

Степень развития деформации

Оползень развился полностью — верхняя площадка откоса

опустилась на 25—30 м (клин давления); призма упора сместилась горизонтально на 30—40 м; высота вала выпирания в основании 6—8 м.

Влияние внешних факторов на подвижки оползневого массива

Заметного влияния на смещение оползня внешние факторы не оказывают. Визуально оползневый массив после обрушения подвижек не испытывает.

Меры по обеспечению оптимально безопасных условий ведения горных работ на деформирующемся участке

При подходе следующего яруса к деформированному участку необходимо вести систематический осмотр площадок с целью выявления трещин. По данному и ранее происшедшим оползням уточнены характеристики прочности, по которым проведен расчет устойчивости отвала до высоты 150 м. Рекомендации по параметрам откосов отвала переданы Уралгипрошахту.

Северно-западный борт разреза Коркинский

Общие сведения

Место

ПО «Челябинскуголь», разрез Коркинский, северо-западный борт, устье выездной траншеи (рис. 32).

Время

Трещины обнаружены зимой 1973 г.

Вид деформации

Обнаружены трещины-заколы; к моменту обнаружения раскрытие трещин достигало 0,3—0,5 м.

Размер деформирующегося массива

К 1978 г. трещины распространились на 600 м по простиранию; высота деформирующегося участка борта достигла 110 м (230—120 м); средняя мощность призмы обрушения 80—100 м; объем деформирующегося прибортового массива 4 млн. $м^3$.

Инженерно-геологические условия участка борта

Породы, слагающие борт, их структура

Мощность покровных отложений, представленных в основном трепеловидной глиной, достигает 70 м. В основании покровных

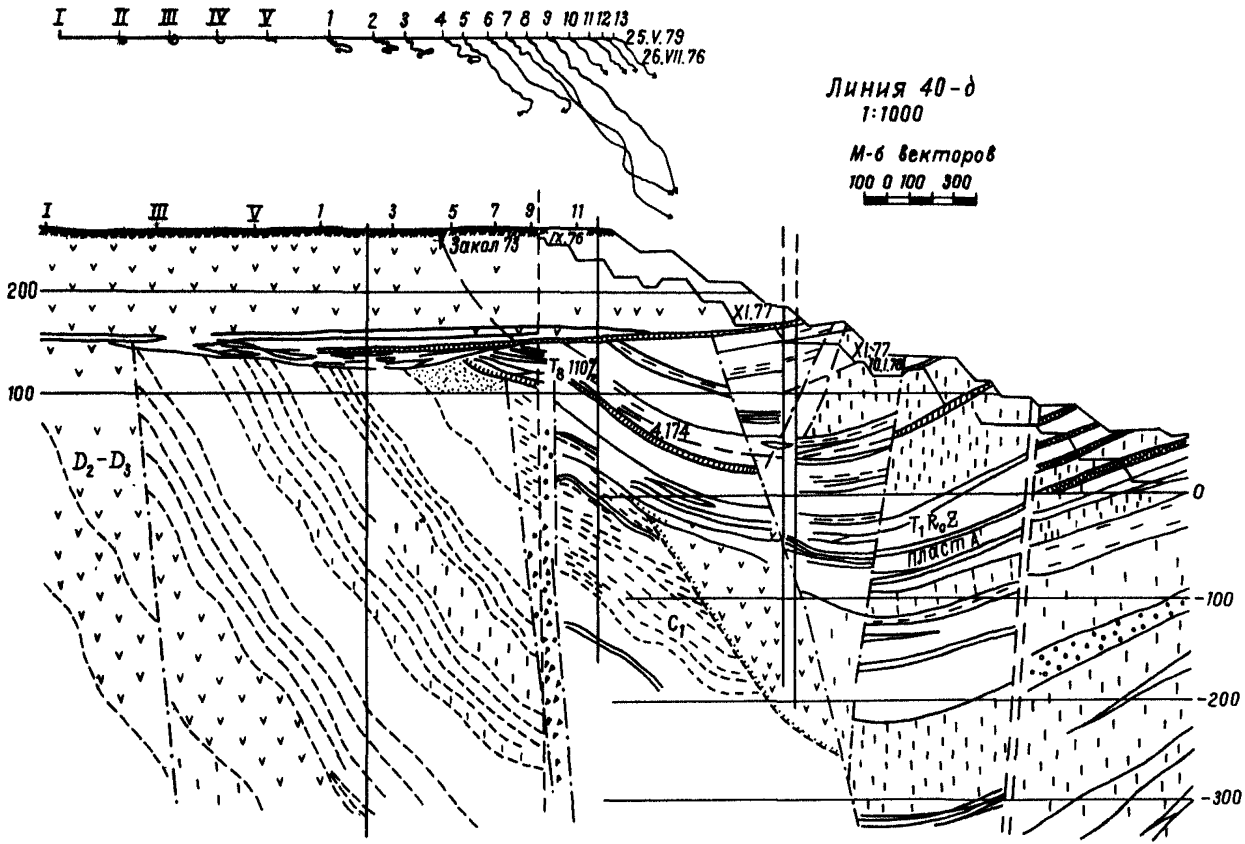

Рис. 32. Профиль северо-западного борта в устье выездной траншеи разреза Коркинский

отложений залегает водоносный горизонт мощностью до 2,5 м. Коренные породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами с прослойками угля. Рассматриваемый участок является синклинальной складкой сложной структуры с многочисленными дизъюнктивными нарушениями (см. профиль по наблюдательной линии 40—д).

Физико-механические свойства пород

Прочность пород массива характеризуется следующими показателями: глина опоковая $\varrho = 21°$, $K = 16$ тс/м^2, аргиллит $\varrho = 28°$, $K = 16{,}0$ тс/м^2, алевролит $\varrho = 33°$, $K = 27{,}0$ тс/м^2, песчаник $\varrho = 36°$, $K = 53{,}0$ тс/м^2, по контактам $\varrho' = 10°$, $K' = 2{,}0$ тс/м^2.

Гидрогеологические условия участка

Приток из водоносного горизонта составляет $Q = 3$ м^3/час. Спуск воды на дно разреза не организован и потоки воды размывают откосы уступов.

Коэффициент устойчивости борта

На момент обнаружения закола коэффициент запаса устойчивости борта находится в пределах 1,15—1,2.

Горно-технические условия

Параметры борта на деформирующемся участке

Высота 100 м (с земной поверхности до гор 130 м); угол наклона 22—23°.

Ведение горных работ на участке

Отрабатывалась нижняя часть откоса между гор. 130 м и 180 м; после обнаружения заколов участок был временно законсервирован. Отработка велась уступами 10—12 м без взрывных работ. На деформирующейся части борта проходят железнодорожные пути выездной траншеи и забойные пути.

Влияние деформаций борта на ведение горных работ

Ущерб незначительный. Потребовалась заделка щелей в здании тяговой электроподстанции 4 и удлинение шинных предохранителей в трансформаторах.

Характеристика деформации

Причина возникновения

Деформация связана с подрезкой слоистости.

Вид деформации

Заколы-трещины оконтуривают глубинный оползень вращения.

Результаты наблюдений за деформациями

Способ и объем наблюдений. В апреле 1973 г. проводились замеры по парным реперам, а в мае 1973 г. заложена маркшейдерская наблюдательная станция, состоящая из 3 профильных линий (40, 42, 44).

Величина и направление смещений массива. Величина смещения заколовшейся части составила около 1 м; в том числе 0,3—0,4 м до начала наблюдений и по профильной линии 40—д почти 600 мм с 25.05.73 г. по 6.04.79 г. В сентябре 1977 г. возник промежуточный закол. В 1978 г. старый закол стал закрываться, а новый раскрываться (см. векторную диаграмму на профиле наблюдательной линии 40—д).

Скорости смещения

Скорость развития деформаций земной поверхности прибортового массива имеет ступенчатый характер и зависит от состояния погоды в разные времена года (рис. 33). В дождливые периоды скорости смещения заметно увеличиваются (до 1,4 мм/сут), а в засушливые и зимой — уменьшаются до минимума (0,2—0,4 мм/сут).

Степень развития деформации

Оползень развился не полностью, продолжает развиваться по простиранию; к июлю 1978 г. деформации массива в виде трещин распространились на восток от основного закола на 400 м. При дальнейшей отработке до проектного контура деформации могли захватить борт на большую высоту — из-за неблагоприятного мульдообразного залегания пород.

Влияние внешних факторов на подвижки оползневого массива

График скорости развития деформаций показывает, что существует некоторое влияние количества атмосферных осадков на подвижки.

Меры по обеспечению оптимально безопасных условий ведения горных работ на деформирующемся участке

Прогноз устойчивости борта в рабочем и предельном состоянии

На данном участке параметры борта погашения были приняты из предположения, что здесь залегание пород такое же, как в центральной части северного борта. Однако возникшая деформация показала, что коэффициент запаса устойчивости борта на данном участке значительно ниже допустимого. Это не соответствовало предположению о геологическом строении участка. Поэтому срочно была выполнена инженерно-геологическая разведка деформирующегося участка, которая показала

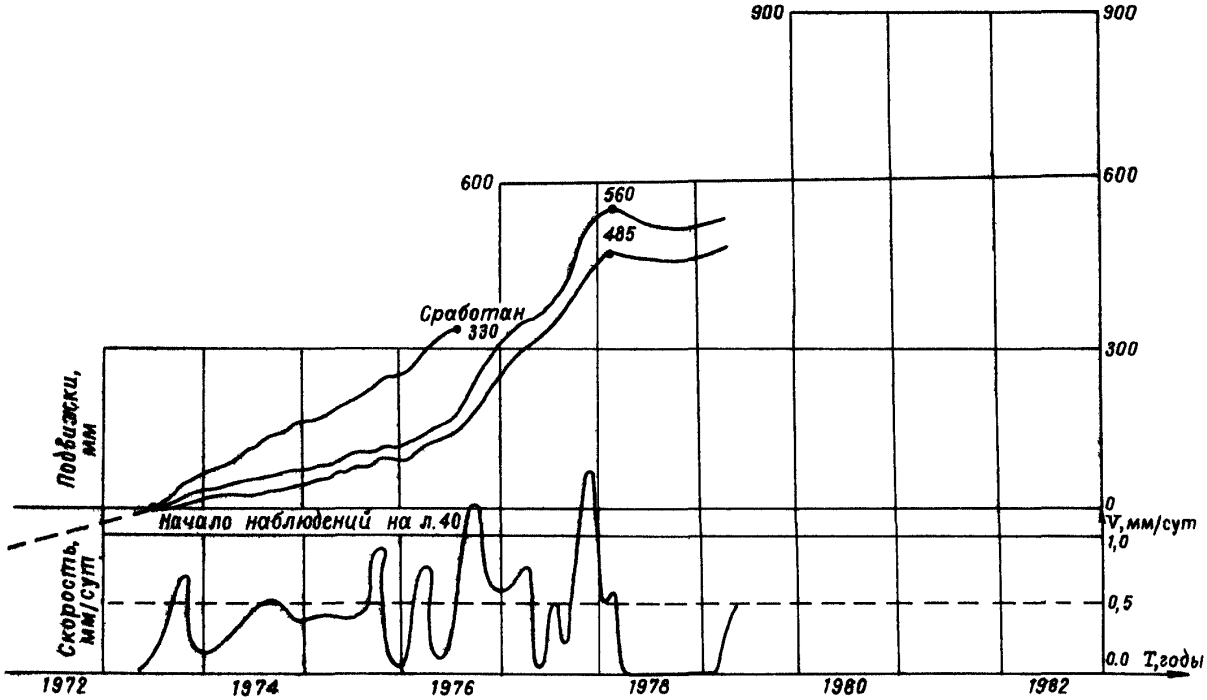

Рис. 33. Графики смещений и скоростей смещений прибортовой поверхности северо-западного борта разреза Коркинскии

мульдообразное залегание пород в верхней части борта и сильную тектоническую нарушенность. По новым геологическим материалам произведена оценка устойчивости участка. В результате осуществления противооползневых мероприятий верхняя часть борта погашения была значительно выположена.

Мероприятия по безопасной отработке или консервации деформирующегося борта

Принято решение на данном участке борт в рабочем положении отрабатывать под углом наклона более пологим, чем угол борта погашения (не допускать параллельного разноса уступов по всей высоте участка); продолжать наблюдения за деформациями верхней части борта. К 1980 г. железнодорожные пути выездной траншеи перенесены с заколовшегося массива, верхняя часть борта до заколов отработана под более пологим углом. Как показывают маркшейдерские наблюдения, за пределами закола продолжаются смещения со скоростью примерно 0,5 мм/мес.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Инструкция** по нивелированию I, II, III, IV классов. — М.: Недра, 1974. — 154 с.

2. **Техническая** инструкция по производству маркшейдерских работ. — Л.: Недра, 1973. — 360 с.

3. **Справочник** по маркшейдерскому делу. — М.: Недра, 1979. — 475 с.

4. **Хлебников А. В.** Универсальная программа обработки маркшейдерских плановых сетей. — Маркшейдерское дело и геодезия. — 1979, № 6. — С. 25—30.

5. ***Методические указания*** *по наземной стереофотограмметрической съемке* карьеров. Ч. I и II. — Л.: ВНИМИ, 1970. — 228 с.

6. **Наземная** стереофотограмметрическая съемка горных разработок. — М.: Недра, 1979. — 160 с.

7. **Программа** аналитической обработки измерений стереопары и снимка на ЭВМ «Минск—22(32)». — Л.: ВНИМИ, 1975. — 55 с.

8. **Фотограмметрический** метод измерения оползневых смещений. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1975. — 34 с.

9. **Кошевой О. П.** Современное состояние методов и средств измерения глубинных оползневых деформаций. Обзор. Серия: Гидрогеология и инженерная геология. — М.: ВИЭМС, 1973. — 44 с.

10. **А. с. 1170141** (СССР). Способ определения оползневых смещений в массиве/ВНИМИ; Авт. изобрет. А. М. Мочалов, Г. В. Созыкин. — Заявл. 19.07.83, № 3624520/22—03; Опубл. 30.07.85 в Б. И., 1985, № 28. М.кл[4] Е 21С 39/00, Е 21В 47/022.

11. **Руководство** по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. — М.: Энергия, 1980. — 68 с.

12. **Михелев Д. Ш., Рунов И. В., Голубцов А. И.** Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. — М.: Недра, 1977. — 245 с.

13. **Лукьянов В. Ф.** Расчеты точности инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1984. — 118 с.

14. **Методические указания** по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 166 с.

15. **Моделирование** проявлений горного давления/Г. И. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев, М. Ф. Шклярский, Г. Г. Юревич. — Л.: Недра, 1969. — 279 с.

16. **Кирпичев М. В.** Теория подобия. — М.: АН СССР, 1953. — 230 с.

17. **Инструкция** по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. — 188 с.

18. **Инструкция** по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий. — Л.: ВНИМИ, 1977. — 56 с.

19. **Фисенко Г. Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 378 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1. ТИПЫ РАЗРУШАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД 4

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ 17

2.1. Задачи маркшейдерских наблюдений за деформациями откосов на карьерах 17
2.2. Требования к методике наблюдений 19
2.3. Точность и периодичность наблюдений 23
2.4. Конструкции пунктов и реперов 24
2.5. Приборы и инструменты, применяемые в наблюдениях 27

3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ 30

3.1. Наблюдения на профильных линиях 30
3.2. Использование линейно-угловых сетей для наблюдений за деформациями бортов карьеров 41
3.3. Наблюдения с помощью методов геодезических засечек . . . 44
3.4. Особенности маркшейдерских наблюдений за деформациями отвалов 48

4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ВНУТРИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА 51

4.1. Общие положения 51
4.2. Обнаружение глубинных деформаций в откосах 52
4.3. Определение смещений и деформаций массива горных пород в откосах 55
4.4. Порядок проведения комплексных наблюдений за глубинными деформациями в откосах 60

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ, ОТКОСОВ УСТУПОВ И ОТВАЛОВ НА КАРЬЕРАХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ . 62

5.1. Условия применения фотограмметрического метода 62
5.2. Наземная стереофотограмметрическая съемка деформирующихся откосов на карьерах 62
5.3. Определение смещений методом псевдопараллаксов 66
5.4. Стереофотограмметрические наблюдения за развитием осыпей, оплывин, просадок и явлений поверхностной эрозии . . . 71
5.5. Использование методов аналитической фотограмметрии . . . 72

6. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НА КАРЬЕРАХ ПО НАБЛЮДАЕМЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ 75

6.1. Параметры процесса деформирования, устанавливаемые по результатам наблюдений 75
6.2. Анализ результатов маркшейдерских наблюдений 77
6.3. Оценка устойчивости откосов по результатам наблюдений и прогнозирование деформаций прибортовых массивов 80
6.4. Маркшейдерский контроль за ведением горных работ на деформирующихся бортах карьеров 87

ПРИЛОЖЕНИЯ 93

Приложение 1. Выбор схемы наблюдательной сети для наблюдений за деформациями бортов на примере разреза Коркинский . . 93

Приложение 2. Паспорта деформации бортов разрезов и откосов отвалов 102

ЛИТЕРАТУРА 115

Составители

Кандидаты техн. наук *А. М. Мочалов, Ю. Н. Гавриленко, Л. В. Фомичев,* д-р техн. наук *В. Т. Сапожников,* инженеры *Г. В. Созыкин, С. Р. Рейзвих*

Под редакцией проф., д-ра техн. наук *Г. Л. Фисенко*

Редактор *Т. Ю. Майборода*
Технический редактор *М. А. Тарасенко*
Художественный редактор *С. А. Филимонова*
Корректор *Ю. Б. Есельсон*

Сдано в набор 28.05.86 г. Подписано к печати 11.05.87 г. М-40927
Формат бумаги 60×90/16. Печ. л. 7,25. Уч.-изд. л. 7.
Заказ 52. Тираж 500. Цена 50 к.
Печатный цех ВНИИМИ

УДК 622.271.3:624.131.537

Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л., 1987, 118 с. (М-во угольной пром-сти СССР. ВНИИ горн. геомех. и маркшейд. дела).

НАБЛЮДЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ, БОРТЫ РАЗРЕЗОВ, ОТВАЛЫ, ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ

Изложены рекомендации по созданию наблюдательных сетей и закладке наблюдательных станций, описаны схемы и методика наблюдений за деформациями бортов карьеров, освещены вопросы обоснования точности и периодичности наблюдений, методика обработки и интерпретации результатов наблюдений, а также вопросы оценки устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям и прогнозу развития деформаций.

Предназначены для специализированных маркшейдерских групп и геолого-маркшейдерских служб горных предприятий, проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся проектированием, наблюдениями за деформациями и оценкой устойчивости бортов угольных разрезов и карьеров.

Ил. 33, табл. 17, библиогр. 19.

gost.e-ecolog.ru