Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
имени А. А. Скочинского

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Москва
1984

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР
Ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

УТВЕРЖДЕНЫ
директором ИГД
им. А. А. Скочинского
чл.-корр. АН СССР
А. В. ДОКУКИНЫМ
5 декабря 1982 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ



Москва
1984

УДК 622.014.3:351.823.3

"Методические указания по предотвращению вредного влияния горных работ на геологическую среду" разработаны по заданию управления охраны природы Минуглепрома СССР в Институте горного дела им. А.А.Скочинского канд.техн. наук Е.В.Беляевым.

В них теоретически обобщены исследования в области охраны литосферы и гидросферы от вредного влияния последствий подземной разработки угольных месторождений. Классифицированы, развиты и обоснованы теоретически и экспериментально методы прогноза преобразований среды, окружающей горные выработки, способы ее охраны, методы расчета и проектирования природоохранных мероприятий. Обобщен и оценен опыт охраны природы и ее ресурсов. Рекомендуются мероприятия по снижению потерь угля, уменьшению повреждений земной поверхности, защите водной среды от загрязнения и истощения.

Методические указания предназначены для научных и инженерно-технических работников, занимающихся исследованиями и проектированием мероприятий по охране недр, земли, воды в горнодобывающей промышленности.

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД им. А. А. Скочинского), 1984

БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В РАБОТЕ:

H_1 – глубина очистной выработки, м

α – угол падения (залегания) пород и пластов, град

m – рабочая мощность пласта, м

$m_г$ – геологическая мощность пласта, м

ℓ – длина очистной выработки, м

ℓ_t – то же по простиранию пласта, м

ℓ_u – то же вкрест простирания пласта, м

n – коэффициент разрыхления пород непосредственной кровли

$a_к$ – ширина камеры, м

$b_к$ – ширина межкамерного целика, м

$K_ф$ – кратность подработки

$K_п$ – предельная кратность подработки

$K_з$ – коэффициент усадки закладочного массива

$h_к$ – мощность непосредственной кровли очистной выработки, м

$K_н$ – коэффициент нормативной эффективности мер по охране

$K_р$ – коэффициент расчетной эффективности мер по охране

$K_{р.з}$ – то же при применении закладки

$K_{р.ч}$ – то же при частичной выемке пласта

W – плотность пород, $Н/м^3$

$\sigma_с$ – минимальная мгновенная прочность вмещающих пласт пород или зерен закладочного материала при одноосном сжатии, Па

E – модуль упругости (деформация) пород, $Н/м^2$

ρ – угол внутреннего трения пород, град

λ – коэффициент структурного ослабления пород

ζ – коэффициент бокового распора пород, $\zeta = tg^2(45^0 - 0{,}5\rho)$

ν – параметр упругого восстановления пород, $м^2/Н$; $\nu = (1-2\mu\zeta)/E$

j – коэффициент пересчета нормальных напряжений, $j = \cos^2\alpha + \zeta\sin^2\alpha$

$\lambda_{\frac{1}{2}}$ – параметр сыпучей среды в предельном состоянии,

$$\lambda_{\frac{1}{2}} = \sin \psi_{\frac{1}{2}} / \cos \psi_{\frac{2}{1}}$$

ε – угол между направлением максимального главного напряжения породного массива и касательной к линии скольжения,

$$\varepsilon = 45^0 - 0{,}5\rho$$

μ – коэффициент Пуассона

σ, τ – нормальные и касательные напряжения

$\sigma_1, \sigma_3, \sigma_2$ – главные нормальные максимальное, минимальное и среднее напряжения

σ_ρ – прочность пород на растяжение

Прямоугольные нормальные координаты точки:

t –горизонтальная координата, отсчитываемая по оси, параллельной простиранию пласта, м

u – координата, отсчитываемая по оси, направленной вкрест простирания параллельно напластованию, м

v – координата, отсчитываемая по оси, направленной по нормали к напластованию, м

Q – максимальная высота зоны полной подработки, м

H – ьысота подработанной толщи, м

Угловые параметры:

$$c = ctg\, \psi_3\,, \quad a = ctg\, \psi_1\,, \quad b = ctg\, \psi_2$$

Углы полных сдвижений, град:

$\psi_3 = 45^0 + 0{,}5\rho$

$\psi_1 = 45^0 + 0{,}5\rho - 0{,}5\alpha$

$\psi_2 = 45^0 + 0{,}5\rho + 0{,}5\alpha$

G – максимальный прогиб покрывающей толщи пород, м

η – осадка пород, м

ξ – горизонтальное перемещение пород, м

i – наклон породного массива

Деформация сжатия (–) и растяжения (+) породного массива:

ε_x – горизонтальная

ε_y – вертикальная

k – кривизна выпуклостью вверх (–) и вниз (+), I/м

Индексы зон подработанного массива:

А – зона полной надработки.

Б – зона полной подработки

В – зона сдвигов

Г – зона прогибов.

Д – участок полной подработки в главном сечении по простиранию

Ж, Е – участки полной подработки в главных сечениях вкрест простирания со стороны соответственно нижней и верхней границ очистной выработки

И, З – угловые участки мульды со стороны нижней и верхней границы выработки

q_o – коэффициент относительного оседания

ψ – коэффициент относительного горизонтального сдвига по простиранию пласта

χ – то же вкрест простирания

$K_к$ – коэффициент концентрации опорного давления

Примечания: I. Размерность величин принята в системе СИ (Международная система единиц). 2. Смысл индексов при буквенных обозначениях: индексы А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И означают принадлежность величины к зоне или участку, обозначенным этими индексами; индексы t, u, v означают, что величина ориентирована вдоль оси, обозначенной этими индексами; индекс $П$ означает предельную величину. 3. Смысл двойной индексации: верхний индекс I принимается, если координата $u \leq (Q-v)tg\alpha$, нижний индекс 2 принимается, если $u > (Q-v)tg\alpha$.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема охраны окружающей среды при подземной разработке угольных месторождений включает несколько аспектов: охрану недр; охрану земной поверхности и толщи горных пород от вредных геомеханических преобразований; охрану земли и воды от загрязнения отходами шахт.

Охрана окружающей среды промышленных регионов – важнейшая проблема XX века. Конституция и ряд законов СССР по охране недр, земли, воды и воздуха регулируют действия человека по отношению к природе. При подземной разработке угольных месторождений неблагоприятное влияние на природу проявляется в виде: геомеханических, гидрологических и химических преобразований толщи горных пород и земной поверхности в окрестности горных выработок, потерь угля в недрах и засорения земли, воды и воздуха отходами производства. Необходимо уметь бороться с этими вредными проявлениями работы шахт.

Несколько триллионов тонн запасов угля, разведанных до глубины 1,8 км, являются некондиционными и не числятся на балансе отрасли, так как отсутствует рациональная технология добычи: а) пластов тоньше 0,5 м, б) на глубинах более 1,2 км, в) пластов обводненных, сильно нарушенных, со слабыми и неустойчивыми вмещающими породами. Миллиарды тонн угля законсервированы под застроенной территорией и природными объектами: в Караганде – около 2 млрд.т, в Кузбассе – около 1 млрд.т, в Донбассе – 30% балансовых запасов, в Центральном Донбассе – 80% запасов (540 млн.т), под лесами Подмосковья – 0,7 млрд.т.

При подземной разработке из недр извлекается только 3/4 балансовых запасов угля, остальные теряются безвозвратно. В отходы ежегодно идет 10^7 т породы, 10^9 м^3 минерализованных вод. Угольные месторождения занимают около 10% территории СССР. В РСФСР они имеются в 23 областях, на Украине – в 5 областях. Только в Дон-

бассе ежегодно 100–200 км^2 территории оседает на 0,5–2,0 м, захламляются пустой породой и отходами углеобогащения 50 км^2 земли, атмосфера засоряется пылью и продуктами горения отвалов.

Охрана геологической среды при подземной разработке угольных месторождений – это комплекс горных мероприятий: а) по повышению полноты извлечения полезных ископаемых из недр; б) по снижению уровня вредных геомеханических преобразований толщи горных пород и земной поверхности; в) по предотвращению нежелательных гидрологических и химических преобразований и засорения земли, воды и воздуха отходами производства.

Повышение полноты извлечения угля из недр достигается за счет совершенствования систем разработки пластов и снижения эксплуатационных и общешахтных потерь угля при применении бесцеликовых способов охраны подготовительных выработок, шахтных стволов, зданий, сооружений и природных объектов. Применение бесцеликовых способов охраны объектов, находящихся в зоне вредного влияния горных выработок, возможно лишь при наличии данных о характере геомеханических преобразований толщи горных пород и земной поверхности, обусловленных добычей угля; о степени влияния этих преобразований на охраняемые объекты; о допустимом уровне влияния горных выработок на объекты.

Прогноз геомеханических преобразований горного массива, окружающего выработку, является предметом механики горных пород и ее раздела – сдвижение горных пород и земной поверхности.

Влияние геомеханических преобразований горного массива (выполняющего функции ограждения или основания для сооружения или природного объекта) на объект охраны является предметом строительной механики, гидротехники (если охраняется водный объект) или агрохимии (если охраняется почвенный слой земли).

Допустимый уровень влияния шахт на охраняемые объекты определяется их характером, назначением, устройством, расположением, природными и социальными условиями.

Таким образом, проблема охраны окружающей среды находится на стыке ряда установившихся научных направлений: горного, марк-

шейдерского и строительного дела, геологии и географии, физики и химии, социологии и экономики. Трудность решения этой проблемы соизмерима с ее социальным значением.

Прогнозирование влияния процессов добычи на окружающую среду дает возможность создать научную основу для проектирования мер ее охраны.

Меры охраны могут быть горными, строительными, гидротехническими, агрономическими и другими в зависимости от условий разработки месторождений, типа охраняемого объекта, его социальной и хозяйственной ценности и ряда других факторов.

Создание и обоснование научных основ проектирования мероприятий (главным образом, горных) по охране окружающей среды при подземной разработке угольных месторождений является основной целью настоящей работы.

Основная геомеханическая задача охраны окружающей среды от вредных геомеханических преобразований горного массива заключается в расчете параметров подземных выработок по условию сохранения допустимого уровня их воздействия на подрабатываемые объекты. Аналитически это условие имеет вид

$$\Delta \leq \Delta_{\text{п}} \; ; \quad d \leq d_{\text{п}} \; ,$$

где в левой части неравенств даны ожидаемые перемещения и деформации, а в правой – их предельно допустимые значения на охраняемом участке горного массива.

Основная технологическая задача охраны окружающей среды на шахте заключается в совершенствовании систем разработки пластов угля в целях повышения полноты извлечения угля из недр и сокращения объема отходов производства (породы, высокоминерализованных шахтных вод). Аналитическая форма этой задачи: $П \leq П_{\text{п}}$ или $v \leq v_{\text{п}}$,где в левой части неравенств соответственно фактические потери угля и объем отходов,а в правой – их предельные значения.

Решения основных задач получают проработкой и сравнением вариантов технологических и природоохранных мероприятий в конкретных социальных, горно-геологических и географических условиях.

В "Методических указаниях"... рассматриваются следующие задачи:

разработать прогноз геомеханических преобразований породного массива и земной поверхности в районе шахты;

установить допустимые перемещения и деформации породного массива и земной поверхности в окрестности капитальных горных выработок, сооружений, сельскохозяйственных угодий и водных объектов;

оценить экономический эффект таких природоохранных мероприятий, как повышение полноты извлечения угля из недр, сохранение участков земли, используемых в народном хозяйстве, защита водных объектов от загрязнения шахтными водами;

проконтролировать степень геомеханических преобразований породного массива и земной поверхности (перемещения, изменения физико-механических свойств);

рассчитать параметры горных выработок по фактору охраны среды;

рекультивировать нарушенные участки земли, восстановить нормальную эксплуатацию нарушенных объектов.

Геомеханические задачи охраны геологической среды решаются аналитически методами механики горных пород с экспериментальной проверкой результатов в производственных (наблюдательные геодезические станции на шахтах) и лабораторных условиях на моделях из эквивалентных материалов.

Технологические задачи охраны геологической среды решаются методами системного анализа условий подземной разработки угольных месторождений и научного обобщения производственного опыта с последующей проверкой результатов в промышленных условиях.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО ПОРОДНОГО МАССИВА

I.I. Характеристика и физическая модель породного массива

I.I.I. Горный массив угольных месторождений включает следующие инженерно-геологические комплексы: покровные отложения из слабых песчано-глинистых пород (глины, пески, супеси, суглинки), предел прочности на сжатие которых $\sigma_c \leq 1 \cdot 10^3$ кПа, угол внутреннего трения $\rho = 10...35^0$; зону выветривания из сильно трещиноватых коренных полускальных и скальных пород (до глубины 80... 150 м) из слоев аргиллита, алевролита, для которых: $\sigma_c = 1 \cdot 10^3 ... 3 \cdot 10^4$ кПа, $\rho = 30...38^0$; осадочные отложения из слоев аргиллита, алевролита, песчано-глинистого сланца, песчаника, известняка

средней прочности, для которых $\sigma_c = 3 \cdot 10^4 ... 1 \cdot 10^5$ кПа, $\rho = 30...38^0$.

Структура горного массива характеризуется ярко выраженной неоднородностью из-за слоистости, тектонической нарушенности, трещиноватости. В зависимости от среднего расстояния между трещинами породы делят на слаботрещиноватые ($\ell_т > 1$ м), среднетрещиноватые ($\ell_т = 0,3...1,0$ м), сильнотрещиноватые ($\ell_т < 0,3$ м). Классификация пород по трещиноватости [1] дана в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Класс пород	Трещиноватость массива	Расстояние между трещинами $\ell_т$, м	Характеристика массива
1	Очень редкая	3-1	Массивные и толстослоистые осадочные породы
2	Редкая	1-0,3	Массивные и толстослоистые осадочные породы
3	Густая	0,3-0,1	Тонкослоистые осадочные породы, зоны тектонических нарушений
4	Очень густая	0,1-0,03	Зоны дробления на значительных глубинах

Обследование трещиноватости пород в 9 лавах на шахтах Донбасса, проведенное В.Л.Сверженским, показало, что осадочные породы (аргиллиты) угольных месторождений относятся ко 2 и 3 классам. При проведении очистных выработок в их окрестностях под влиянием горного давления развиваются дополнительные трещины, и массив переходит в 3 и 4 классы по трещиноватости.

В осадочных породах имеются нормальносекущие и послойные трещины. Трещиноватость резко возрастает вблизи тектонических нарушений, а также в зоне влияния очистных работ. Число систем трещин различной ориентации достигает девяти в Кузбассе на Бочатском месторождении и в Прокопьевско-Киселевском районе. Плоскости ослабления расчленяют массив на большое количество отдельных элементов (породных блоков). Во многих случаях беспорядочность и хаотичность появления таких плоскостей ослабления придают горному массиву свойства статистической квазиизотропной среды. Системы структурного ослабления определяют блоковое строение массива со слабыми связями между достаточно жесткими и прочными блоками. Так, сцепление по контакту слоев составляет

10–30 кПа и менее, по тектоническим нарушениям 50–100 кПа, в трещиноватом массиве пород средней крепости 1–2 мПа, в крепких ненарушенных породах – до 3 мПа. В общем виде в трещиноватом массиве сцепление $C_м$ определяется по формуле

$$C_м = C_т + \lambda (C - C_т) ,$$

где $\lambda = 1/[1 + a_т \ell n(\ell_c/\ell_т)]$; $C_т$, C – сцепление породы по трещинам и в куске; $\ell_т$ – размер элемента; ℓ_c – размер системы элементов; a_c – коэффициент, возрастающий от 1 до 7 с увеличением предела прочности образцов пород на сжатие от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^5$ кПа.

Модуль упругости породы в куске в 2,8–4,4 раза больше, чем модуль упругости в трещиноватом массиве.

Характер геомеханических преобразований массива зависит от густоты трещин. При редкой трещиноватости массив ведет себя как анизотропная среда с предопределенными поверхностями ослабления, при частой – как однородное изотропное тело или как зернистая среда.

1.1.2. Решающим критерием для отнесения подрабатываемого массива к анизотропной или изотропной модели среды является соотношение расстояния между трещинами $\ell_т$ (размер блока) и характерного размера деформируемого массива: $\ell_c / \ell_т \geq 120$. Наиболее характерны значения $\ell_т$ от десятков сантиметров до одного-двух метров, значения ℓ_c – от десятков до сотен метров. Следовательно, горный массив, подработанный длинными очистными забоями порядка 100 м на глубине в несколько сотен метров при отходе очистного забоя от разрезной печи на десятки метров можно считать средой сыпучей изотропной.

Известно, что гипотезу о возможности отнесения сыпучего тела к сплошной среде можно применять для горного массива размером $\ell_c \geq 10 \ell_т / П^2$, где $\ell_т$ – размер блока структурного элемента, принимаемый примерно равным расстоянию между трещинами (см. табл. 1.1), а $П$ – относительная погрешность вычислений.

Основными параметрами нарушенного массива являются координаты и размеры очистной выработки. Изменчивость их колеблется в пределах 10–20%. Например, колебания мощности пласта в лаве составляют: до 5% в 43,5% случаев, от 5,1 до 10% – в 34,4% случаев, от 10,1 до 20% – в 18,4% случаев и более 20% – в 3,7% случаев. Таким образом, даже за счет погрешности исходных данных погрешность $П \geq 20\%$. Следовательно, условие применимости гипотезы

о сплошности подрабатываемого массива имеет вид $\ell_c \geqslant 10\ell_т / 0{,}2^2 = 250\ell_т$. Для пород 2, 3 и 4 классов (табл. I.I) размеры подрабатываемой области ℓ_c должны быть не менее 100–200 м, что обычно в условиях действующих шахт соблюдается при отходе лавы от разрезной печи не менее чем на длину лавы.

I.I.3. Итак, горный массив больших размеров, измеряемый десятками метров, моделируется сплошной псевдоизотропной сыпучей средой блокового строения со слабыми связями между достаточно жесткими и прочными элементами, размер которых не менее чем на два порядка меньше размеров массива. Сыпучая среда, имитирующая трещиноватый горный массив, обладает следующими свойствами:

отношение прочности пород на растяжение к действующим напряжениям сжатия мала настолько, что при приближенных вычислениях этим отношением можно пренебречь;

касательные напряжения в среде не превосходят усилий внутреннего трения;

до тех пор, пока касательные напряжения меньше усилий внутреннего трения, деформации среды незначительны;

деформации среды только сдвиговые, ее объемные деформации незначительны;

коэффициент плотности укладки структурных элементов близок 0,990...0,999.

I.2. Напряжения породного массива

I.2.I. Исследуем напряженное состояние массива в прямоугольной системе координат t, u, v , в которой горизонтальная ось t направлена по простиранию пласта, ось u – параллельно пласту по восстанию под углом α к горизонту, ось v – по нормали к напластованию под углом α к вертикали. В этой системе уравнения равновесия массива имеют вид

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_u}{\partial u} + \frac{\partial \tau_{uv}}{\partial v} + \frac{\partial \tau_{ut}}{\partial t} &= W\sin\alpha ; \\ \frac{\partial \tau_{vu}}{\partial u} + \frac{\partial \sigma_v}{\partial v} + \frac{\partial \tau_{vt}}{\partial t} &= W\cos\alpha ; \\ \frac{\partial \tau_{tu}}{\partial u} + \frac{\partial \tau_{tv}}{\partial v} + \frac{\partial \sigma_t}{\partial t} &= 0 . \end{aligned}\right\} \qquad (I.I)$$

Зависимости между напряжениями определяются по известным формулам:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{1,2} &= 0{,}5(\sigma_u+\sigma_v) \pm \sqrt{0{,}25(\sigma_u-\sigma_v)^2+\tau_{uv}^2}\ ; \\ \sigma_v &= \sigma_1 \cos^2\varphi + \sigma_2 \sin^2\varphi\ ; \\ \sigma_u &= \sigma_1 \sin^2\varphi + \sigma_2 \cos^2\varphi\ ; \\ \tau_{vu} &= 0{,}5(\sigma_2-\sigma_1)\sin 2\varphi\ , \end{aligned}\right\} \qquad (I.2)$$

где φ – угол между направлением σ_1 и осью v.

I.2.2. Естественное поле напряжений горного массива на угольных месторождениях обусловлено лишь силами гравитации и боковым распором. Тектонические напряжения в районах отложений осадочных пород на кристаллических платформах отсутствуют. Из уравнений равновесия (I.I) при $\alpha = 0$, $W = const$, $\nu = const$ следует, что естественное поле напряжений горного массива на глубине H_1 описывается уравнением $\sigma_1 = \sigma_v = WH_1$, ибо на площадке, нормальной направлению напряжения σ_v, касательные напряжения равны нулю. Поскольку массив находится в состоянии всестороннего сжатия без возможности бокового расширения, то в этом случае $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \zeta\sigma_1$.

I.2.3. Рассмотрим условие перехода породного массива в предельное состояние. Предельным называется такое состояние массива, при котором некоторое, даже малое, изменение сил уже приводит к потере его равновесия. Представим себе какую-нибудь площадку в массиве с нормалью n. На площадке действует вектор напряжения, имеющий нормальную σ_n и касательную τ_n компоненты. Напряжения могут достигнуть предела прочности пород. Прочность горных пород оценивается по теории Мора. Разрушение породы происходит в виде отрыва под действием растягивающего напряжения либо в форме среза в зоне сжатий.

Обычное предельное состояние сжатого горного массива, моделируемого сыпучей слоистой средой, описывается уравнением (I.3), специальное – системой уравнений (I.4):

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg}\rho + C, \qquad (I.3)$$

$$\left.\begin{aligned} \bar{\tau} &= tg\bar{\rho}\,\sigma_n + \bar{C} \\ \tau &< tg\rho\,\sigma_n + C. \end{aligned}\right\} \qquad (I.4)$$

Обычное предельное состояние горного массива в зоне растяжения описывается уравнением $\sigma = \sigma_p$, специальное – уравнениями

$$\bar{\sigma}_n = \bar{\sigma}_p \;;\; \sigma_n < \sigma_p \,,$$

где $\sigma_n ; \bar{\sigma}_n ; \tau ; \bar{\tau}$ – нормальные и касательные напряжения по площадкам сдвига, составляющим с направлением максимального главного напряжения σ_1 угол $\bar{\varepsilon}$ (черточка означает принадлежность параметра к контакту слоев);

$\sigma > \bar{\sigma} ; \rho > \bar{\rho} ; C > \bar{C}$ – прочностные параметры массива вне и по напластованию;

$$\text{угол } \varepsilon = (45^0 - 0{,}5\rho). \qquad (I.5)$$

В условиях специального предельного состояния, обусловленного наличием протяженных поверхностей ослабления по напластованию, ориентация площадок скольжения относительно главных напряжений изменяется. В этом случае угол $\bar{\varepsilon}_{1,2}$ зависит не только от прочности массива, но и от прочности на контакте слоев:

$$\left.\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_1 &= \frac{1}{2}\left\{ arc\sin\left[\frac{\sin\bar{\rho}}{\sin\rho}\left(1 - \frac{C\,ctg\rho - \bar{C}\,ctg\bar{\rho}}{C\,ctg\rho + 0{,}5(\sigma_1 + \sigma_2)}\right)\right] - \bar{\rho}\right\}, \\ \bar{\varepsilon}_2 &= 90^0 - \bar{\varepsilon}_1 . \end{aligned}\right\} \qquad (I.6)$$

В несвязной среде (если сцепление C мало по сравнению с напряжением σ_1) выражения (I.6) упрощаются до вида

$$\bar{\varepsilon}_{1,2} = \pm\frac{1}{2}\left(arc\sin\frac{\sin\bar{\rho}}{\sin\rho} - \bar{\rho}\right).$$

После преобразований формулы (I.3) условие перехода трещиноватого породного массива в предельное состояние в окрестности выработки записывается в виде

$$\sigma_1 = \kappa_к H_1 W \geq \sigma_c\left(1 + ctg^2\varepsilon\right) ,$$

откуда, выражая прочность σ_c через сцепление и угол внутреннего трения массива,

$$\sigma_1 \geq 2\left[C_т + \lambda(C - C_т)\right]\left(ctg\varepsilon + ctg^3\varepsilon\right), \qquad (I.7)$$

где $\sigma_c = 2C_м ctg\,\varepsilon$ – предел прочности массива при одноосном сжатии. Величины $C_т$, $C_м$, λ поясняются выше.

Подставим в формулу (I.7) типичные значения характеристик породного массива: $\rho = 25...35^0$; $C_т = 50$ кПа; $\kappa_к = 2...3$; $W = 25...30$ кН/м^3. Тогда на глубине более 300...400 м горный массив, сложенный даже очень прочными породами ($\sigma_c \approx 10^5$ кПа) переходит в окрестности очистных выработок в предельное напряженное состояние. При наличии слабых пород ($\sigma_c < 10^3$ кПа) массив переходит в предельное состояние уже на малых глубинах 50–100 м. В породах средней прочности ($\sigma_c \approx 10^4$ кПа) критическая глубина близка 200 м. Поскольку в преобладающем большинстве случаев глубина подземной разработки угля превышает несколько сот метров, можно утверждать, что породный массив в окрестности очистных выработок находится в предельном напряженном состоянии и для его исследования можно использовать методы теории предельного равновесия.

Основная форма геомеханических преобразований сыпучей среды в предельном состоянии – сдвиги по поверхностям скольжения, положение которых в пространстве находится методами статики сыпучей среды. Таким образом, статика сыпучей среды определяет лишь направление вектора перемещения пород, а величина перемещения массива определяется по заданному перемещению его границ.

I.3. Разрушение непосредственной кровли очистной выработки

I.3.I. Массив горных пород разрушается вследствие проведения очистных выработок. Проведение других выработок (нарезных, подготовительных и капитальных) приводит лишь к локальным изменениям толщи пород без ощутимых ее перемещений и деформаций.

Непосредственная кровля – это пачка слоев пород на контакте с пластом, которая беспорядочно обрушается. При этом породы разрыхляются за счет смещения соседних блоков друг относительно друга и подбучивают зависшую основную кровлю. Мощность непосредственной кровли обусловлена прочностью на отрыв блоков, мощностью угольного пласта и характером расположения обрушенных блоков, определяющим коэффициент разрыхления пород. В отличие от непосредственной расположенная над ней основная кровля плавно, сохраняя плотную упаковку блоков, оседает на подбучивающий ее рыхлый слой непосредственной кровли или на почву пласта.

Выделяются два типа геомеханического преобразования кровли: I тип – беспорядочное обрушение с резким увеличением пустотности нижних слоев и плавной посадкой верхних слоев с сохранением плотной упаковки блоков; 2 тип – плавная посадка всех слоев кровли с сохранением плотной упаковки блоков без стадии обрушения. Второй тип геомеханических преобразований характерен лишь для пластов мощностью до I м, нижние слои которых сложены прочными породами (известняками, песчаниками) I и 2-го классов по трещиноватости (табл. I.I) при управлении кровлей полным или частичным обрушением, а также во всех других случаях при управлении кровлей полной или частичной закладкой.

I.3.2. Под действием давления σ_v основной кровли на слой разрушенных пород непосредственной кровли толщиной N он сжимается на величину Δ_v. Процесс компрессионного сжатия рыхлого слоя подчиняется следующим граничным условиям: I) при $\sigma_v = 0$ $\Delta_v = 0$; 2) при $\sigma_v \to e$ имеем $d\Delta_v/d\sigma_v \to 0$ и $\Delta_v \to \Delta_{vn}$, где Δ_{vn} – предельное сжатие слоя; e – длительная прочность пород; остальные обозначения даны в предисловии.

Этим условиям отвечает следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\bar{\Delta}_v}{d\bar{\sigma}_v} = 1 - \bar{\sigma}_v ,$$

решение которого имеет вид

$$\bar{\Delta}_v = \bar{\sigma}_v + Z_1 - 0{,}5\bar{\sigma}_v^2 ,$$

где $\bar{\Delta}_v = \Delta_v / Z_2 \leq 1$; $\bar{\sigma}_v = \sigma_v / e \leq 1$; Z_1; Z_2 – постоянные параметры, определяемые из граничных условий:
при $\sigma_v = 0$ $Z_1 = 0$; при $\sigma_v = e$ $\bar{\Delta}_v = \Delta_{vn} / Z_2 = 0{,}5$, откуда $Z_2 = 2\Delta_{vn}$.

I.3.3. При управлении кровлей полным обрушением первоначальная толщина обрушенного слоя (до пригруза при $\sigma_v = 0$) равна $N = h_к n$. При $\sigma_v \to e$ толщина этого слоя приближается асимптотически к величине $h_к$. Таким образом, предельное сжатие $\Delta_{vn} = h_к n - h_к = h_к(n-1)$, где n – первоначальный коэффициент разрыхления пород. При управлении кровлей полной закладкой первоначальная толщина слоя закладочного материала (до пригруза при $\sigma_v = 0$), равная $N_з$, уменьшится при $\sigma_v = e_з$ на величину $K_з N_з$, где $K_з$ – коэффициент, характеризующий усадку заложенного массива при давлении, близком $e_з$; $N_з = m - h_o - \Delta_з$; h_o – конвергенция в призабойном пространстве; $\Delta_з$ – неполнота закладки, определяющая вели-

чину, на которую не подбучивается кровля пласта в момент возведения закладочной полосы; $e_з$ – прочность зерен закладочного массива.

Подставляя в исходное уравнение значения постоянных Z_1, Z_2, $\Delta_{vп}$, получим формулы для вычисления нормального сжатия разрушенного слоя пород непосредственной кровли (I.8) или сжатие слоя закладки (I.9):

$$\Delta_v = h_к (n-1)\left(2\sigma_v/e - \sigma_v^2/e^2\right); \qquad (I.8)$$

$$\Delta_{vз} = (m - h_0 - \Delta_з) K_з \left(2\sigma_v/e_з - \sigma_v^2/e_з^2\right). \qquad (I.9)$$

Длительная прочность пород в формулах выражается в долях мгновенной прочности σ_c в виде $e = (0{,}36..0{,}86)\,\sigma_c \approx 0{,}65\,\sigma_c$.

Подставляя это выражение в формулы (I.8) и (I.9), получим:

$$\Delta_v \approx h_к (n-1)\left(3\sigma_v/\sigma_c - 2{,}2\sigma_v^2/\sigma_c^2\right);$$

$$\Delta_{vз} \approx (m - h_0 - \Delta_з) K_з \left(3\sigma_v/\sigma_{cз} - 2{,}2\sigma_v^2/\sigma_{cз}^2\right),$$

где σ_c, $\sigma_{cз}$ – мгновенная прочность пород соответственно непосредственной кровли и закладки.

В формулах (I.8) и (I.9) и их модификациях $\sigma_v/e \le I$; $\sigma_v/e_з \le I$. Если фактические значения напряжений превышают длительную прочность пород или закладки, в расчет принимаются их пределы. При $\sigma_v/e_з \le 0{,}3$ последние квадратные слагаемые этих выражений можно в целях упрощения отбросить, погрешность не выйдет за пределы точности исходных данных.

I.4. Разрушение породных слоев покрывающей толщи

I.4.I. Рассмотрим условия предельного равновесия зависшей основной кровли над центральной областью выработанного пространства – $t_1 + t_1$ (рис. I.I), где можно не учитывать влияния границ выработки. Поскольку основная кровля еще не обрушилась, то давление ее на обрушенный слой непосредственной кровли отсутствует. Тогда при $v = 0$ имеем: $\partial\sigma_t/\partial t = 0$; $\partial\tau_{tv}/\partial t = 0$. Напряженное состояние основной кровли можно получить из условий ее равновесия (I.I), где в плоской задаче производные по координате u равны нулю. Тогда уравнения (I.I) при $v = 0$ упрощаются до вида: $\partial\sigma_v/\partial v = w\cos\alpha$, $\partial\tau_{tv}/\partial v = 0$.

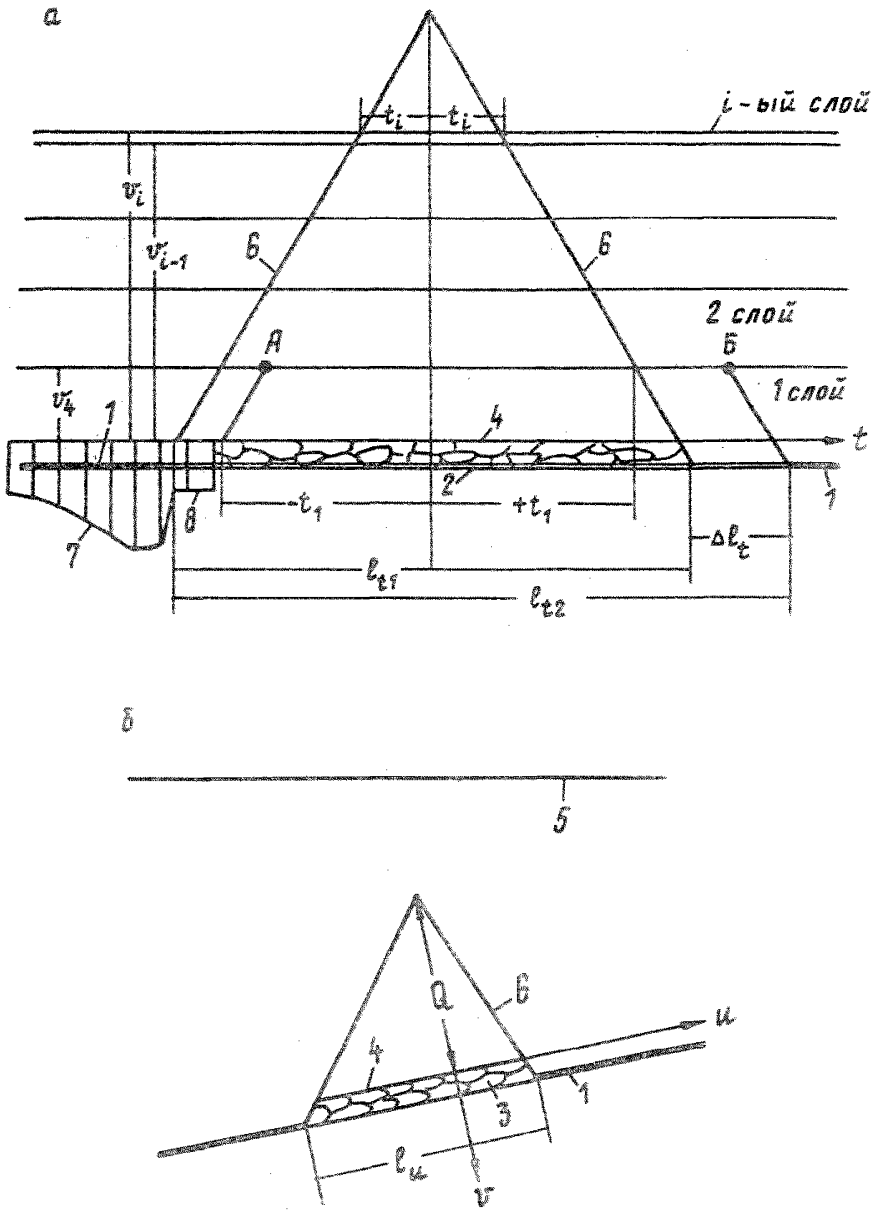


Рис. I.I. Расчетная схема подработанного массива горных пород:

а – на нормальном напластовании разрезе по простиранию; *б* – на вертикальном разрезе вкрест простирания; I – пласт; 2 – выработка; 3 – слой обрушенных пород непосредственной кровли; 4 – нижняя граница основной кровли; 5 – земная поверхность; 6 – граница обрушения основной кровли; 7 – эпюра опорного давления; 8 – эпюра отпора призабойной крепи

Интегрируя эти уравнения, получим $\sigma_v = W v \cos\alpha + c_1; \tau_{tv} = c_2$, где c_1 и c_2 – постоянные интегрирования, определяемые по граничным условиям: при $v = 0$ $c_1 = \sigma_0$, $c_2 = 0$, где σ_0 – внешняя нагрузка, приложенная к нижней границе основной кровли по нормали к напластованию.

В плоскости $v_1 = \bar{\sigma}_{p1} - \sigma_0 / W_1 \cos\alpha$ растягивающие напряжения σ_{v1} достигают предела контактной прочности $\bar{\sigma}_{p1}$, происходит отслоение и обрушение первого (нижнего) слоя основной кровли. Постоянная σ_0 при отсутствии давления на обрушенный массив непосредственной кровли и отпора крепи равна 0, поэтому положение плоскости отслоения первого слоя можно определить, если известна его контактная прочность на отрыв, объемный вес и угол падения пласта. После обрушения первого слоя, расположенный выше него слой оказывается зависшим, отслаивается и обрушается по тем же правилам, что и первый.

В общем случае условие отслоения и обрушения i-го слоя в пределах $-t_i + t_i$ (рис. I.I.) имеет вид

$$\sigma_{vi} = W_i \cos\alpha \left(v_i - v_{i-1}\right) = \bar{\sigma}_{pi} \quad ,$$

где v_i, v_{i-1} – ординаты плоскости отслоения соответственно i-го и (i-I)-го слоя основной кровли. Из этого условия следует, что

$$v_i - v_{i-1} = \bar{\sigma}_{pi} / W_i \cos\alpha \quad . \qquad \text{(а)}$$

Рассмотрим условия разрушения i-го слоя основной кровли в окрестности границ выработки в сечении с координатой t_i (рисунок I.I).

Элемент кровли после отслоения превращается в балку, защемленную на двух опорах, высотой $v_{i-1} - v_i$, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой $W_i \cos\alpha \left(v_{i-1} - v_i\right)$, где W_i – средняя плотность пород слоя i. Известно, что разлом такой балки в месте заделки наступает при напряжении

$$\sigma_t = \sigma_{pi} = \frac{-2 W_i \cos\alpha \; t_i^2}{v_{i-1} - v_i} \quad ,$$

откуда

$$t_i = \pm \sqrt{\frac{\sigma_{pi}\left(v_{i-1} - v_i\right)}{2 W_i \cos\alpha}} \quad ,$$

либо, учитывая зависимость (a) получим

$$t_i = \pm\sqrt{\frac{\sigma_{pi}\,\overline{\sigma}_{pi}}{2W_i^2\cos^2\alpha}}\ . \qquad (I.10)$$

Из этой формулы следует, что необходимым условием обрушения слоя кровли является наличие свободного пролета не менее $2t_i$.

I.4.2. Таким образом, разрушение (разлом) слоя основной кровли в месте заделки происходит под действием касательных и растягивающих нормальных напряжений путем среза-отрыва по площадкам (линиям) скольжения, проходящим через границу очистной выработки под углом ε к направлению главного напряжения σ_1.

Перемещение обрушающихся элементов основной кровли происходит по нормали к напластованию.

I.4.3. Рассмотрим напряженное состояние кровли при увеличении пролета выработки по простиранию от значения ℓ_{t1} , определяемого по выражению (I.10), до некоторого значения ℓ_{t2} (рис. I.I). В этом случае, согласно выражению (I.10), произойдет обрушение первого слоя кровли на высоту v_1 . По мере увеличения длины выработки от ℓ_{t1} до ℓ_{t2} величина консольной части первого слоя кровли увеличивается на $\Delta\ell_t$. Нормальные напряжения σ_{v1} в этой части слоя определяются по формуле $v_1 W\cos\alpha$, а максимальные горизонтальные напряжения растяжения в момент отрыва слоя от вышележащей толщи определим по известной формуле сопротивления материалов для консольной балки с жесткой заделкой :

$$\sigma_{t2} = \frac{3W\cos\alpha\,\Delta\ell_t^2}{v_1} = \sigma_{p2}\ ,$$

откуда

$$\Delta\ell_t = \pm\sqrt{\frac{e_p v_1}{3W\cos\alpha}} = \pm\sqrt{\frac{\sigma_{p1}\,\overline{\sigma}_{p1}}{3W^2\cos^2\alpha}}\ . \qquad (I.11)$$

После второго шага посадки непосредственной кровли (рисунок I.I, a) свободный пролет второго слоя увеличился до величины АБ. Устойчивость второго слоя определяется условием (I.10), поскольку напряженное состояние его определяется по аналогии с ранее рассмотренной задачей для первого слоя.

I.4.4. При последующем увеличении размеров выработки этот механизм обрушения будет повторяться с соблюдением следующих общих закономерностей.

Обрушение каждого слоя кровли происходит в том случае, если его свободный пролет, образующийся над выработкой или над обрушившимся нижним слоем, достигает значения, определяемого выражением (I.I0) при первом шаге обрушения, и выражением (I.II) при повторном обрушении. В этих формулах фигурируют параметры обрушающегося слоя. Зона обрушения по высоте ограничивается ординатой

$$y_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{\bar{\sigma}_{pi}}{W_i \cos \alpha} \geq Q ,$$

а со стороны края выработки непрерывной ломаной линией, любой прямой отрезок которой в пределах каждого слоя составляет с направлением напряжения σ_1 угол $\varepsilon_i = \pm (45^0 - 0{,}5\rho_i)$. Здесь $\bar{\sigma}_{pi}$ - сопротивление породы на отрыв по контакту i-го слоя; Q - нормальная высота зоны обрушения; ρ_i - угол внутреннего трения пород i-го слоя; n - число обрушившихся слоев.

I.4.5. Обрушение и сдвиг массива происходит циклами по мере развития очистных работ в момент достижения пролетом слоя критического размера. Массив расслаивается, слои разламываются в перегруженном сечении и обрушаются. Размеры критических пролетов t_i и Δl_t (рис. I.I) для типичных горно-геологических условий разработки пластов угля: $\rho \approx 25...35^0$, $C_T \leq 100$ кПа, $W = 25...30$ кН/м^3, $\sigma_{pi} = -C\,ctg\rho$, $C = 0{,}5\sigma\, tg(45^0 - 0{,}5\rho)$, $\sigma \leq 10^4$ кПа; $H \geq 500$ м, $\bar{\sigma}_{pi} = -\bar{\sigma}_T\, ctg\rho$ составляют 2...3 метра.

Разрушенная основная кровля над выработанным пространством представляет куполообразную систему плотноупакованных несвязных структурных элементов, размеры которых значительно (на I-2 порядка) меньше размеров системы. Основание купола сложено пористым слоем из породных блоков непосредственной кровли, способным сжиматься под давлением разрушенной части слоев основной кровли в пределах купола (в условиях полоской задачи - свода). Границы купола совпадают с поверхностями скольжения пород в массиве, пересекающими границы выработки.

Система элементов внутри свода и за его пределами рассматривается как сыпучая среда, находящаяся в предельном состоянии. Породный массив, перекрывающий свод, находится в устойчивом положении, зависая на опорах свода и сохраняя в основном природное напряженное состояние.

I.4.6. Перемещение пород в зоне полной подработки определяется при следующих условиях: отсутствуют явления разрыхления породных блоков основной кровли; границы зоны разрушенного породного массива совпадают с поверхностями скольжения сыпучей среды в предельном состоянии; перемещение происходит за счет уплотнения без возможности бокового расширения пористого слоя разрушенной непосредственной кровли или закладки согласно формулам (I.8), (I.9); происходит упругое восстановление породного массива.

I.4.7. Поскольку массив в окрестности очистной выработки находится в предельном состоянии, то граница, отделяющая разрушенную часть массива от ненарушенной, должна совпадать, очевидно, с линиями скольжения, проходящими через границы выработанного пространства (в плоской задаче – через границы щели). Линии скольжения составляют угол ε с направлением главных напряжений σ_1 (рис. I.2). Напряжения σ_1 у кромки пласта (на границах щели) направлены к пласту под углом $\varphi_1 = 90^0$, поэтому границы (9) свода разгрузки здесь составляют внутренние углы $\Psi_{\frac{1}{2}} = 90^\circ - \varepsilon \mp \alpha$ с горизонтом.

Напряжение σ_1 в окрестности вершины свода, где напряженно-деформированное состояние близко природному, принимаем вертикальным, т.е. $\varphi_2 = 90^0$. Здесь границы (9) свода разгрузки идут под углами $90^0 \pm \varepsilon$ к горизонту. Линии скольжения (9) имеют форму логарифмической спирали и описываются уравнением $R = \tau \exp(\vartheta \operatorname{tg}\rho)$, где R – радиус спирали; τ – параметр; $\vartheta = \ell - \varepsilon$ – угол между радиусом спирали и касательной к ней; ℓ – угол наклона напряжения σ_1 к горизонту. Исследуем форму линий скольжения 6 (рис. I.2).

При $\alpha = 0$ $\ell_1 = \ell_2 = \ell = 90^0$, откуда следует, что угол постоянен, радиус спирали (при постоянном ρ) не изменяется, т.е. спираль вырождается в окружность радиусом $\tau \exp[(90^\circ - \varepsilon)\operatorname{tg}\rho]$. По мере роста угла α соотношение кривизны линии скольжения у кромки пласта и в вершине свода обрушения увеличивается и выражается уравнением $\exp(\alpha \operatorname{tg}\rho) \leq 3$.

Замена спирали окружностью радиусом, равным среднему радиусу спирали на исследуемом ее участке, дает погрешность в кривизне в условиях пологого залегания пластов примерно до 30%. В технических расчетах допустима замена спирали окружностью.

На рис. I.2 показано направление напряжения σ_1 и линий скольжения 6 в вершине и основании свода. Если кривые 6 считать дугами окружности, то углы, образованные касательными к дугам в этих точках со стягивающими их хордами равны $0{,}5\alpha$, а углы этих каса-

тельных с направлением напряжения σ_1, как известно, равны ε. Отсюда из элементарных геометрических построений находим углы наклона стягивающих хорд I-го и 2-го семейств плоскостей скольжения к напластованию:

$$\psi_{\frac{1}{2}} = \psi_3 \mp 0{,}5\alpha ,$$

где $\psi_3 = 45^0 + 0{,}5\rho$.

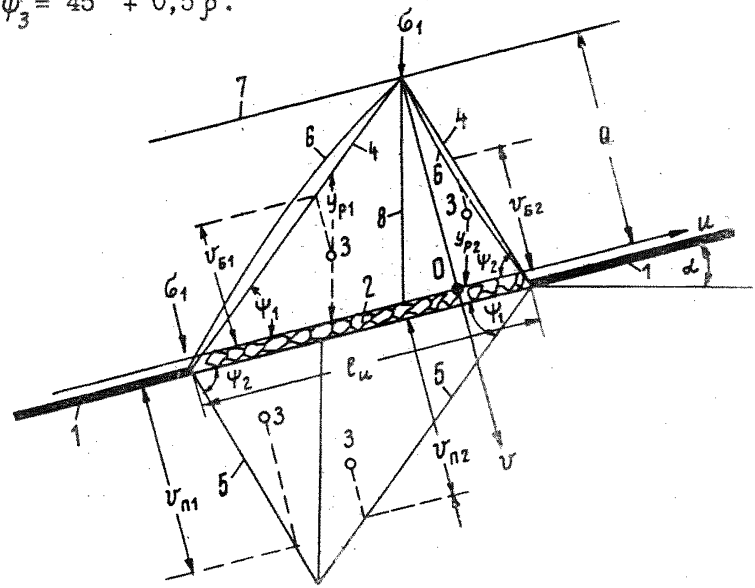


Рис. I.2. Расчетная схема зоны полной подработки и надработки.

I - пласт; 2 - выработка; 3 - расчетная точка; 4, 5 - расчетные границы зоны полной подработки и надработки; 6 - фактическая граница зоны полной подработки; 7 - нижняя граница толщи, перекрывающей зону полной подработки; 8 - граница между нижней и верхней областями зоны

Последующие вычисления значительно упрощаются, если заменить в пределах свода кривые участки линий скольжения прямыми отрезками. Предельная погрешность определения положения линий скольжения в системе координат t, u, v за счет этого упрощения приблизительно равна $\Delta l/l$, где $\Delta l \approx 0{,}5 l\, tg\, 0{,}25\alpha_c$ - стрела сегмента на хорде длиной l; α_c - центральный угол дуги на расчетном участке линии скольжения, где $\alpha_c = \alpha$. Расчеты показали, что при пологом залегании пласта искомая погрешность не превышает I0% и является приемлемой, поскольку она лежит в пределах

точности определения исходных данных. С помощью углов ψ_1 и размера выработанного пространства ℓ_u (рис. I.2) определяется нормальная высота свода разгрузки и его боковые границы. Надежность вычислений этих углов можно оценить по эмпирическим их значениям.

I.4.8. Зона Б кровли имеет форму многогранника. Основанием его является выработанный пласт, боковыми гранями, параллельными направлению лавы, - трапеции, а боковыми гранями вдоль очистного забоя - треугольники. Угол наклона боковых граней по простиранию к плоскости пласта у нижней границы выработки равен ψ_1, у верхней границы - ψ_2, вкрест простирания - $\psi_3 = 45^0 + 0{,}5\,\rho$, где ρ - осредненный в пределах зоны обрушения угол внутреннего трения пород.

Породный массив почвы упруго восстанавливается в пределах зоны полной надработки А.Зона А в почве имеет форму опрокинутого многогранника, симметричного верхнему, и имеет общее с ним основание.

Поскольку в зоне Б породный массив находится только под действием гравитации, то направление главных максимальных напряжений в пределах зоны можно принять вертикальным. В этом случае вертикальное давление σ_1 определяется по формуле

$$\sigma_1 = W\left(y_p + \frac{v}{\cos\alpha}\right),$$

где y_p - вертикальная высота купола, проходящая через расчетную точку (рис. I.2).

Для решения объемной задачи по определению напряжений пород в точке А с координатами u_A, t_A, v_A (рис. I.3) воспользуемся формулами плоской задачи, в которых расстояние по вертикали, проходящее через расчетную точку, от нижней плоскости основной кровли до границы зоны обрушения y_p найдем по формуле

$$y_p = Q\,\Phi,$$

где Φ - функция, учитывающая координаты расчетной точки и геометрические параметры зоны полной подработки; ее значения приведены в разделе 2 (см. табл. 2.I строки БД, БЕ, БЗ, БЖ, БИ).

Для перехода от вертикальных напряжений к напряжениям, нормальным напластованию, воспользуемся зависимостью (I.2), которую преобразуем к виду

$$\sigma_v = \sigma_1 j = W j\left(Q\,\Phi + \frac{v}{\cos\alpha}\right). \qquad (I.12)$$

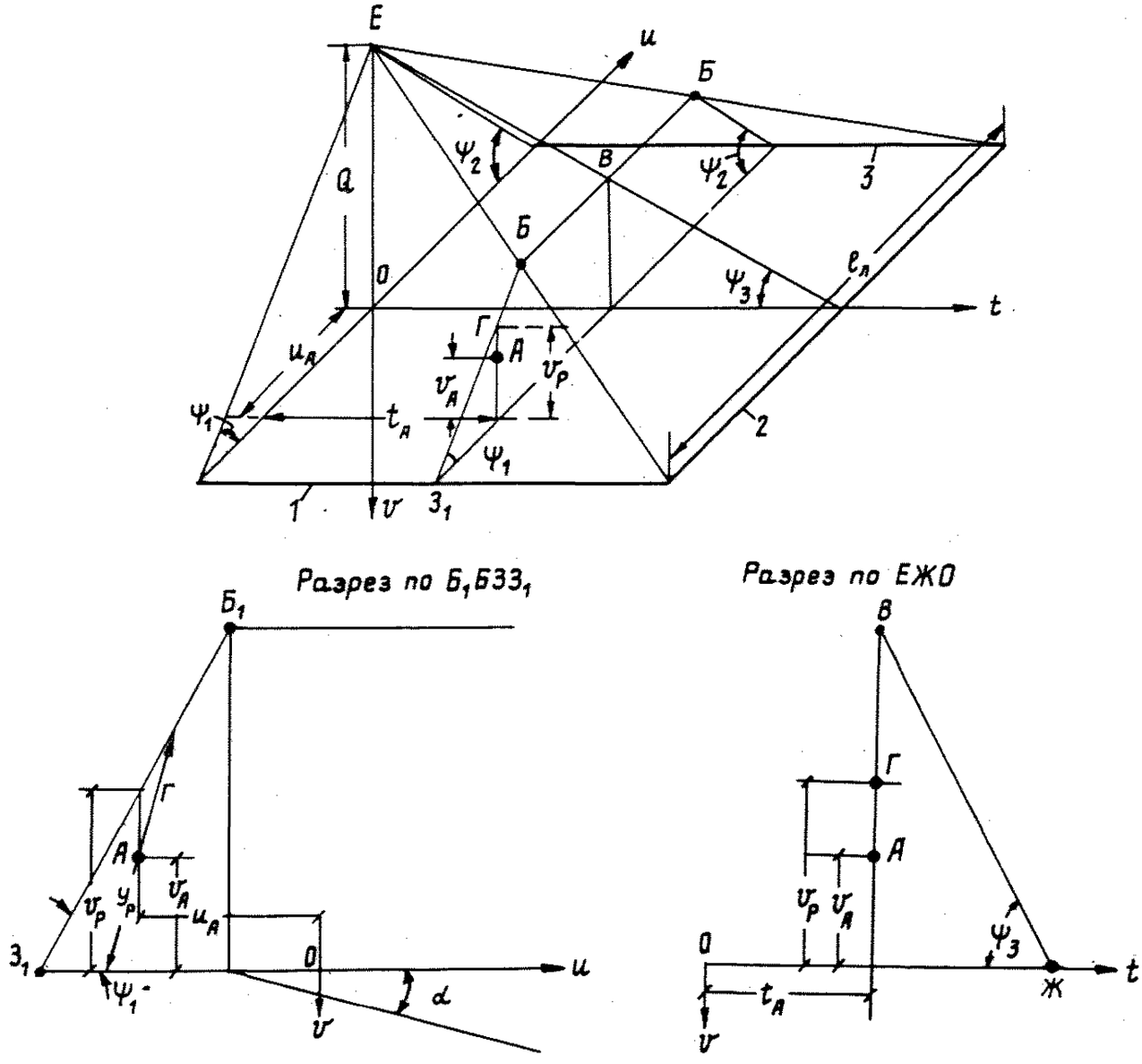


Рис. I.3. Расчетная схема зоны Б:

I, 2, 3 – границы очистного пространства соответственно по падению, простиранию, восстанию пласта; А – расчетная точка; t_A, v_A, u_A – координаты расчетной точки; v_p – высота пирамиды по нормали к напластованию, проходящая через точку А; Q – высота вершины; y_p – вертикальная высота пирамиды, проходящая через точку А

Зона полной подработки существует при $\alpha < 90^0 - \varepsilon = 45^0 + 0{,}5\rho$, что следует из расчетной схемы (рис. I.2).

I.4.I0. Нормальная к напластованию разгрузка пород σ определяется по формуле

$$\sigma_{v\delta} = \sigma_{vH} - \sigma_v . \qquad (I.I3)$$

Растяжения пород от разгрузки

$$\varepsilon_v = \left[\sigma_{v\delta} - \mu\left(\sigma_{up} + \sigma_{tp}\right)\right] E = \sigma_{v\delta}\, v . \qquad (I.I4)$$

Упругое восстановление пород кровли разгруженной зоны

$$\Delta_\delta = \int_{v_\delta}^{v} \varepsilon_v \, dv = w_j v \int_{v_\delta}^{v} \left(\sigma_{Hv} - Q\Phi + \frac{v}{\cos\alpha}\right) dv , \qquad (I.I5)$$

где σ_v – давление, определяемое по формуле (I.I2); $\sigma_{u\delta}$, $\sigma_{t\delta}$ – разгрузка пород в плоскости напластования соответственно вдоль осей u и t , равная $\zeta\,\sigma_{v\delta}$; $\sigma_{Hv} = w_j\,(v - H - u\,tg\alpha)\cos\alpha$ – напряжение до подработки по нормали к напластованию в точке с координатами u , v ; v_δ – расстояние, поясняемое на рис. I.2.

I.4.II. Напряжения и деформации почвы очистной выработки находим по расчетной геомеханической схеме (рис. I.2) почвы на вертикальном разрезе вкрест простирания, удаленном от границ выработки по простиранию на величину, не меньшую $-Q\,ctg\,\varepsilon$ от границ по простиранию, что позволяет применить решения плоской задачи.

Линии скольжения в почве параллельны соответствующим линиям в кровле, что позволяет использовать выражения, аналогичные формулам (I.I3) – (I.I5) для определения напряжений и деформаций в почве. Геомеханические преобразования в почве находим с помощью приведенного выше аналитического аппарата.

Упругое восстановление почвы $\Delta_я$ определяется по формуле

$$\Delta_я = \int_{v_я}^{v} \varepsilon_v \, dv , \qquad (I.I6)$$

где $v_я$ – расстояние, поясняемое на рис. I.2.

I.4.I2. Конвергенция вмещающих пласт пород h_o вычисляется по формуле

$$h_o = \Delta_\delta - \Delta_н . \qquad (I.I7)$$

В таблице I.2 подсчитаны ориентировочные максимальные значения конвергенции пород основной кровли и почвы для условий Донбасса: $E = I \cdot I0^{II} \ldots 5 \cdot I0^{II}$ Па; $W = 24 \ldots 28$ кН/м^3; $\rho = 25 \ldots 35^0$; $\zeta = 0{,}2 \ldots 0{,}4$; $\nu = 0{,}I \cdot I0^{-II} \ldots I \cdot I0^{-II}$ Па; $\ell_м = I00 \ldots 300$ м; $H_1 = 400 \ldots I600$ м; $\alpha \leqslant 30^0$.

Таблица I.2

Глубина лавы $H_д$, м	Длина лавы $\ell_м$, м	Конвергенция $h_о$, см
400	I00 200 300	3–4
800	I00 200 300	I0–I5
I200	I00 200 300	20 30 36
I600	I00 200 300	30 50 60

I.4.I3. Перемещение пород кровли $\Delta_{бv}$ в точке с координатами u и v вдоль оси v складывается из сжатия Δ_v обрушенного слоя непосредственной кровли или закладки, определяемого по формулам (I.8) или (I.9), и упругого восстановления $\Delta_б$ в расчетной точке кровли. Если между основной кровлей и слоем обрушенных пород непосредственной кровли существует зазор Δ, его тоже следует учитывать. Следовательно:

$$\Delta_{бv} = \Delta_v + \Delta_б + \Delta \,. \qquad (I.I8)$$

Здесь величина зазора $\Delta = h_к + m - h_к n + \Delta_д - \Delta_б \geqslant 0$, где $\Delta_б$, $\Delta_д$ – упругое восстановление соответственно кровли и почвы, определяемое по формулам (I.I5) и (I.I6) при $v = 0$. Если по расчету $\Delta < 0$, то принимается $\Delta = 0$ (это наиболее распространенный случай).

Найдем величину $\Delta_{бv}$ по формуле (I.I8) для наиболее типичных условий: $\Delta = 0$ (наблюдается явление полного самоподбучивания); значение упругого восстановления $\Delta_б$ мало по сравнению с уплотнением Δ_v и им можно пренебречь. Поскольку в условиях

полного самоподбучивания $N = h_к n = h_к + m$, то в формуле (I.8) $h_к(n-1) \cong m$, откуда

$$\Delta_{бv} = \Delta_v = m \frac{\sigma_v}{e}\left(2 - \frac{\sigma_v}{e}\right). \qquad (I.I9)$$

Поскольку перемещения основной кровли происходят только вдоль оси v, то $\Delta_u = \Delta_t = 0$.

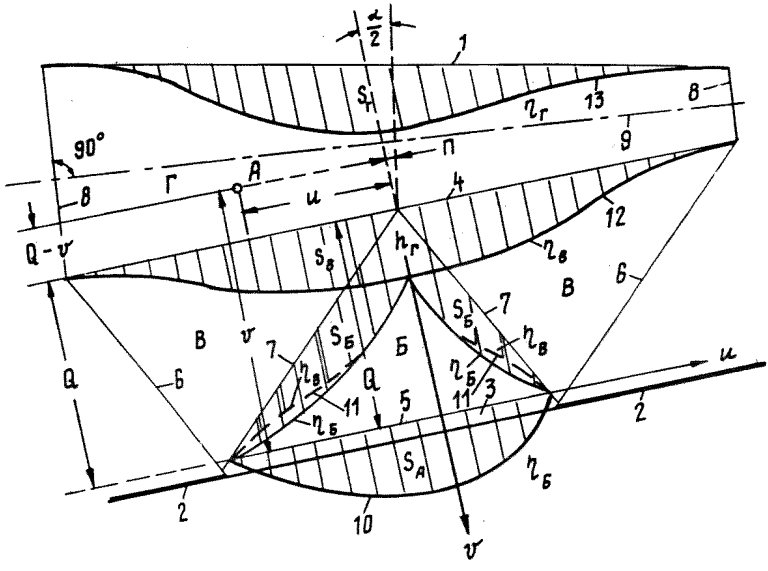
I.5. Горно-геологические процессы в массиве пород, перекрывающем зону полной подработки

I.5.I. Нижняя граница зоны Г (позиция 4 рис. I.4) параллельная напластованию, касается вершины свода разгрузки. Нейтральная ось изгиба близка биссектрисе угла между границами покрывающей толщи. Напряженно-деформированные состояния зон разрушенной основной кровли и опорного давления взаимосвязаны. Если размеры выработанного пространства малы по сравнению с его глубиной, то момент сопротивления массива, перекрывающего основную кровлю, и отпор пород в зоне опорного давления могут быть настолько велики, что прогиб этой зоны окажется меньше максимума перемещений основной кровли и будет наблюдаться зависание покрывающей толщи. И наоборот, при достаточно широком развитии очистных работ вес этой зоны почти полностью передается на основную кровлю. Прогиб этой толщи пород, сопровождающийся выдавливанием пород из зоны опорного давления, наблюдается до тех пор, пока он не достигнет максимума осадки вершины зоны полной подработки. В этот момент, как это следует из рис. I.4, согласно известному и широко используемому принципу сохранения объемов (а в сечении – площадей) мульд оседаний: $S_д = S_б = S_в = S_г$, породы зоны сдвигов В полностью заполнят образовавшийся в результате перемещений массива зоны Б объем пустот $S_б$, что приведет к восстановлению горизонтального распора пород, а следовательно, и к повышению сопротивляемости пород сдвигу и снижению касательных напряжений по площадкам сдвига. Это, в конечном счете, уравновесит подработанный массив.

I.5.2. Если перекрывающая толща сложена слабыми трещиноватыми породами и мощность наносов велика, то слагающий ее массив может находиться в предельном состоянии.

Главные максимальные напряжения в пределах толщи, перекрывающей основную кровлю и зону сдвигов, вертикальны. Линии скольжения в условиях обычного предельного состояния направлены под

углом $\pm\varepsilon$ к вертикали, а линии скольжения, обусловленные специальным предельным состоянием – параллельны напластованию. Напряженное состояние покрывающей толщи не отличается от природного до подработки.


90°
Г
А
П
Б
В
Б
Г
Б
В
Б
В
Б
Б
А
Б
Б
В
Б
Б
Б

сдвига по линии скольжения АБ одинаков на всем ее протяжении вследствие отсутствия объемных деформаций сыпучей среды. Поскольку линии скольжения 3-го семейства по напластованию не входят в зоны разуплотнения, то по ним может произойти лишь проскальзывание – относительный сдвиг соседних слоев.

Для определения перемещения покрывающей толщи (если она находится в предельном состоянии) необходимо: а) отыскать векторы перемещений границ основной кровли 5 (рис. I.5, точки $Б_I$ и $В_I$) по формуле (I.I6); б) принимая векторы перемещения пород в зоне сдвигов равными параллельным составляющим векторов перемещения на границе (точки $Б_I$ и $В_I$), найти векторы перемещения пород в сечении IX (точки Б и В рис. I.5); в) принимая векторы перемещения пород по линиям скольжения в покрывающей толще равными соответствующим параллельным составляющим векторов перемещения на границе 4 (точки Б и В рис. I.5) найти суммарное перемещение расчетной точки А. Решение этих задач производится в векторном исчислении, т.е. учитывается не только числовое значение, но и направление перемещений в каждой области и на их общих границах. Графическое решение этой задачи показано на рис. I.5.

Как показали исследования, суммарные перемещения пород покрывающей толщи в предельном состоянии близки перемещениям прогибающейся под действием силы тяжести плиты, защемленной по границам, прогиб которой ограничен величиной смещения основной кровли в вершине свода.

Из рис. I.5 следует, что векторы перемещений на периферии мульды направлены под углом $\pm\varepsilon$ к вертикали, возрастая по абсолютной величине от нуля на границе до максимума в середине мульды. По мере приближения расчетных точек к центру мульды наклон векторов к вертикали уменьшается до нуля. На краях мульды существуют горизонтальные растяжения, в середине – сжатия.

I.5.3. Если породы зоны Г не переходят в предельное состояние, то перемещения покрывающей толщи можно уподобить поперечному изгибу упругой плиты (а в плоской задаче – балке), защемленной по контуру, под действием гравитации. Подобная аналогия широко используется в геомеханике. В этом случае максимальный прогиб плиты (балки) определяется ее размерами, массой и модулем деформации. Прогиб ограничивается сопротивлением пород зоны Б.

I.5.4. Положение нейтральной оси балки относительно ее средней линии определяется для разномодульного материала отношением модулей деформаций на растяжение и сжатие, но в рассматриваемом

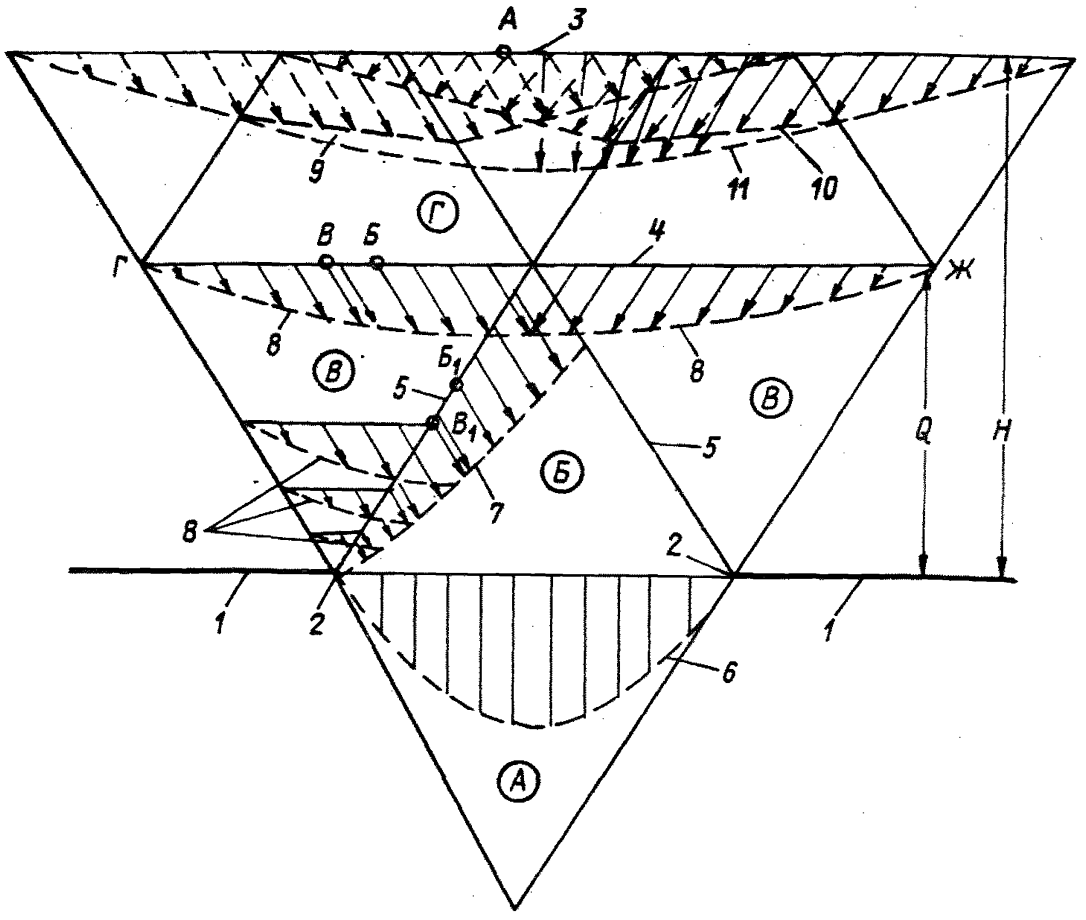


Рис. I.5. Схема перемещений покрывающей толщи на нормальном к напластованию разрезе по простиранию пласта:

I - пласт; 2 - границы выработанного пространства;3 - земная поверхность; 4 - нижняя граница покрывающей толщи; 5 - граница зоны полной подработки; 6 - эпюра уплотнения разрыхленных пород непосредственной кровли; 7 - эпюра перемещений пород зоны сдвигов В на границе 5; 8 - эпюры перемещений пород в зоне сдвигов; 9, I0 - эпюры составляющих перемещений пород у земной поверхности,параллельных соответственно I-му и 2-му семейству линий скольжения; II - суммарная эпюра перемещений пород у земной поверхности

Примечание. На рис. I.5 составляющие векторов перемещений показаны пунктиром. В кружках даны индексы зон.

случае речь идет о массиве горных пород, свойства которого резко отличаются от свойств образца горных пород. Установлено, что модуль на сжатие пород в массиве в 3–4 раза меньше, чем в образце [I]. В массиве сжатие происходит за счет уменьшения пустотности. Все это позволяет в приближенных вычислениях принять модули деформаций массива на растяжение и сжатие примерно одинаковыми, тогда нейтральная ось балки будет расположена в центре ее сечения под углом 0.5α к горизонту.

I.5.5. Уравнение прогибов упругой плиты можно определить, зная изгиб плиты по ее нейтральной плоскости (в разрезе – нейтральной оси балки) в главных сечениях $u = 0$ или $t = 0$:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{вкрест простирания} & G_u = \psi G \ ; \\ \text{по простиранию} & G_t = \varphi G \ , \end{array}\right\} \qquad (I.20)$$

где $\varphi = I - 2T^2 + T^4$; $\psi = I - 2U^2 + U^4$ – функция распределения прогибов плиты в главных ее сечениях соответственно по- и вкрест простирания пласта, принятые равными уравнению упругой линии; G – максимальный прогиб плиты; $T = t/L_д$; $U = (u + П)/L$ – относительные координаты расчетной точки вдоль осей t, u; $L = Q(a + \beta)$, $L = 2Qc$ – длина полумульды в главном сечении соответственно вкрест – и по простиранию (рис. I.6, участки Д, Е, Ж); $П$ – поправка за счет угла падения пласта, поясняемая на рис. I.4.

Если точка находится на участке З или И, то согласно схеме (рис. I.6, a)

$$L_{\substack{з \\ и}} = \pm(a+\beta)\left(Q + \frac{t}{2c}\right); \quad U_{\substack{з \\ и}} = \frac{(u+П)}{L_{\substack{з \\ и}}} \ .$$

Относительные координаты определяются по следующим правилам. На участке Д координата $U = I$, на участках Е, Ж координата $T = I$ (рис. I.7). Это следует из принятой физической модели подрабатываемого массива: перемещения точек расположенных на одной линии, параллельной оси u на участке Д или параллельной оси t на участках Е и Ж, равны согласно известному понятию о зонах полной подработки, где в главных сечениях перемещения равны.

Координата T точки, расположенной на участке З или И определяется на основании следующего. Прогиб плиты в точке I на участке З или И (рис. I.6) можно найти по формуле

$$G_{u_1} = \psi_{\substack{з \\ и}} \Delta_2 \ ,$$

где $\psi_{\substack{з \\ и}}$ – функция распределения осадки вдоль оси u в зоне З

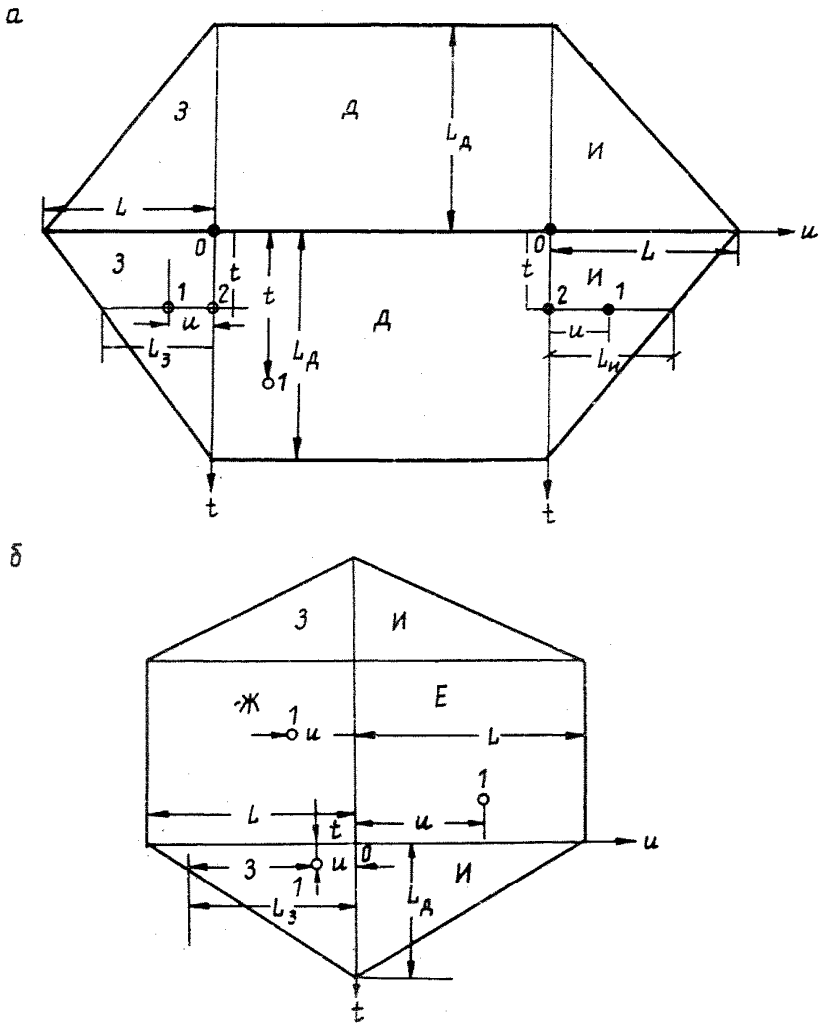


Рис. I.6. Схема подработанного массива на разрезе по напластованию, поясняющая способ определения относительной координаты точки I, лежащей на участке З, или И, или Д:

$$а - \text{при } \frac{\ell_u}{a+b} > \frac{\ell_t}{2c}\ ; \ б - \text{при } \frac{\ell_u}{a+b} < \frac{\ell_t}{2c}$$

или И; G_{u2} – прогиб в точке 2, равный $\psi_д G$, так как точка 2 лежит на участке, где $\Phi_д = I$. Наряду с этим по формуле (I.20)

$$G_{u1} = \psi_{\substack{з\\ и}} G .$$

Следовательно, можно составить уравнение:

$$\psi_д G = \psi_{\substack{з\\ и}} G,$$

откуда $\psi_{\substack{з\\ и}} = \psi_д$, что возможно лишь если $T_{\substack{з\\ и}} = T_д = \frac{t}{2Qc}$.

I.5.6. Максимальный прогиб G под действием равномерной нагрузки ρ , нормальной нейтральной оси изгиба, определяется по формуле сопротивления материалов для балки жесткостью EJ , длиной D_1 , с защемленными краями: $G = D_1^4 p / 384 EJ \leq \Delta_{бv}^m \cos\alpha / 2$, в которой в условиях пологого падения толщина балки принята постоянной, равной $(H-Q)\cos 0{,}5\alpha$. Учитывая наклон нейтральной оси на угол $0{,}5\alpha$, найдем:

$$P = W(H-Q)\cos^2\frac{\alpha}{2}; \quad D_1 = D\cos\frac{\alpha}{2};$$

$$J = \frac{1}{12}(H-Q)^3\cos^3\frac{\alpha}{2}; \quad E = E_r \cdot \lambda / (1-\mu^2);$$

где $\Delta_{бv}^m$ – перемещение, определяемое по формуле (I.I8) при $v_p = Q$;

D – расчетный пролет плиты,

$$D = min\begin{cases} 2\ell_t \\ 2\ell_u \cos\frac{\alpha}{2} \end{cases};$$

λ, E_r – коэффициент структурного ослабления и модуль деформаций пород зоны Г.

Подставляя эти значения аргументов в расчетную формулу, получим

$$G = \frac{WD^4(1-\mu^2)\cos^3 0{,}5\alpha}{32\lambda E_r (H-Q)^2} \leq \Delta_{бv}^m / \cos\frac{\alpha}{2} . \qquad (I.2I)$$

Если $\ell_u < \ell_t$, то $G = \frac{W\ell_u^4(1-\mu^2)\cos^7 0{,}5\alpha}{2\lambda E_r (H-Q)^2} \leq \Delta_{бv}^m / \cos\frac{\alpha}{2}$. (I.22)

Если $\ell_u > \ell_t$, то $G = \frac{W\ell_t^4(1-\mu^2)\cos^3 0{,}5\alpha}{2\lambda E_r (H-Q)^2} \leq \Delta_{бv}^m / \cos\frac{\alpha}{2}$. (I.23)

Если G выходит за свой предел, в расчет берется предел.

I.5.7. Перемещения пород в плоскости напластования вдоль оси u находят из обоснованного выше условия, что зона Г работает на изгиб как балка переменного сечения с нейтральной осью, проходящей по биссектриссе угла, образованного в вертикальной плоскости следами на ней верхней и нижней границ зоны Г. В этом случае перемещение $\Delta_{ги}$ в точке Т является суммой двух величин: составляющей вдоль оси u прогиба по нормали к нейтральной оси изгиба, равной $G_т tg\, 0{,}5\alpha$, и составляющей вдоль оси u вектора поворота точки h $G_т$ относительно нейтральной оси балки на основании закона плоских сечений балки, т.е.

$$\Delta_{иг} = G_т tg \frac{\alpha}{2} + G'_т h .$$

Здесь $G_т$ прогиб в точке T, определяемый по формуле (I.20); $G'_т$ – первая производная $G_т$ по координате u ; h – расстояние от точки T до нейтральной оси изгиба, определяемое по формуле

$$h = v - \frac{Q+H}{2} + u\, tg\alpha .$$

Аналогично найдем перемещение в плоскости напластования в направлении оси t :

$$\Delta_{гt} = \frac{G'_т h}{\cos 0{,}5\alpha} .$$

Найдем первую производную прогибов по оси t:

$$\frac{\partial G_т}{\partial t} = G \frac{\partial(\Phi\Psi)}{\partial t}$$

и по оси u :

$$\frac{\partial G_т}{\partial u} = G \frac{\partial(\Phi\Psi)}{\partial u} ,$$

где $\frac{\partial(\Phi\psi)}{\partial t}$, $\frac{\partial(\Phi\psi)}{\partial u}$ – производные произведения $\Phi\Psi$ по осям t и u.

I.5.8. Переход от плоской задачи к объемной иллюстрирует рис. I.7, на котором видно, что прогиб $G_т = \Psi G_{mт}$, где $G_{mт} = \Phi G$, следовательно

$$G_т = \Psi\, \Phi\, G . \qquad (I.24)$$

Таким образом, для решения объемной задачи по определению прогиба плиты в точке T мы должны решить плоские задачи по определению осадки в двух сечениях, проходящих через расчетную

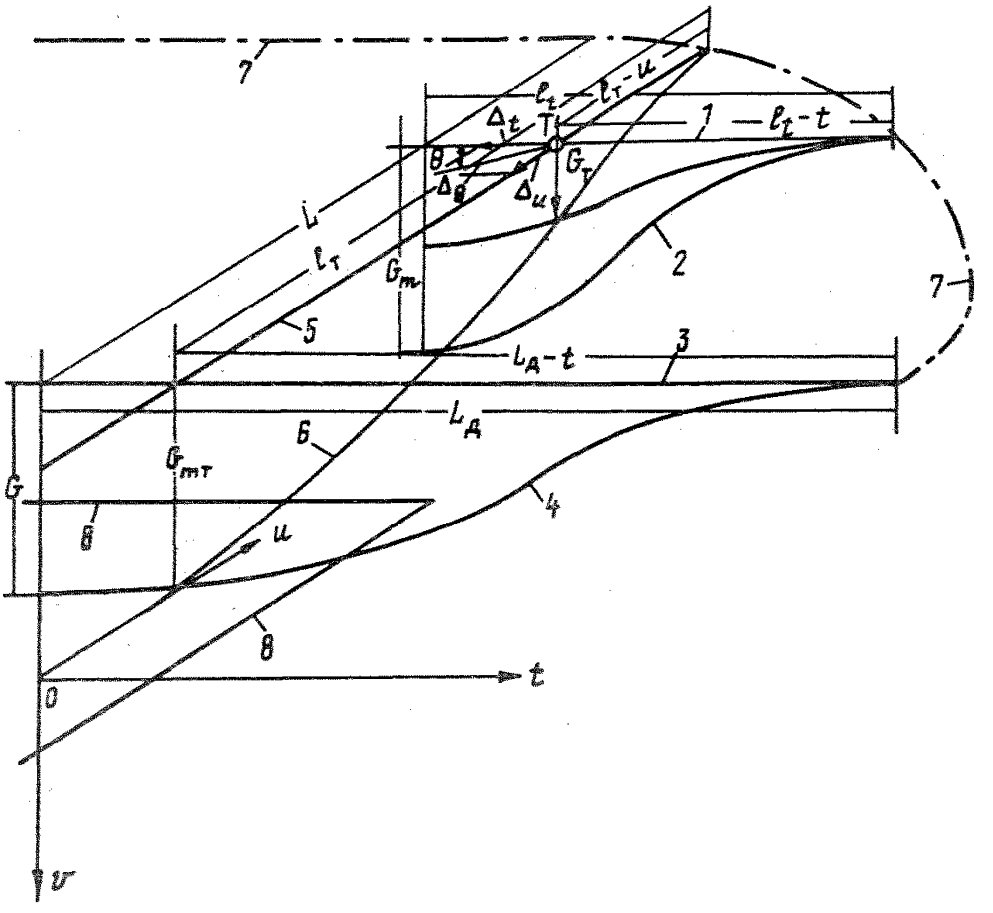


Рис. I.7. Схема, поясняющая порядок расчета перемещений подработанного массива в зоне Г в условиях объемной задачи:

I - сечение по простиранию пласта, проходящее через точку Т; 2 - график осадки массива в сечении I в условиях плоской задачи; 3 - главное сечение по простиранию пласта, проходящее через участок Д, где решение плоской задачи справедливо; 4 - график осадки массива в сечении 3; 5 - сечение вкрест простирания пласта, проходящее через точку Т; 6 - график осадки массива в сечении 5; 7 - граница зоны Г; 8 - граница очистной выработки; Δ_t Δ_u - составляющие вектора Δ_θ перемещения точки Т в плоскости напластования соответственно вдоль осей координат t, u; l, $l_д$ - длина полумульды в главных сечениях соответственно вкрест - и по простиранию пласта

точку, - вкрест простирания (5) и по простиранию (3) и перемножить результаты. Параметр ℓ_τ, входящий в расчет, означает расстояние в плане от оси координат t до границы подработанной зоны по нормали, проходящей через расчетную точку (рис. I.7). Находим его в функции от главных параметров ℓ_u и ℓ_t эллипса, считая, что граница сдвижений горных пород 7 в плане описывается уравнением эллипса $\ell_\tau = \ell_u\sqrt{\ell^2 - u^2}/\ell_t$ (буквенные обозначения приводятся на рис.I.7). Расчеты упрощаются, если заменить криволинейные границы на прямолинейные.

Для определения составляющей перемещения точки в плоскости напластования в объемной задаче $\Delta_\theta = \sqrt{\Delta_t^2 + \Delta_u^2}$ (рис. I.7) требуется решение двух плоских задач по определению прямоугольных составляющих Δ_t, Δ_u в сечениях I и 5 в функции от нормальной к напластованию составляющей Δ_τ, найденной из решения объемной задачи. Перемещение Δ_θ направлено под углом $\theta = arctg\,\Delta_t/\Delta_u$ к простиранию пласта(рис. I.7).

I.5.9. Нормальная к напластованию высота зоны полных сдвижений определяется в зависимости от углов ψ_1, ψ_2, ψ_3 и размеров выработанного пространства, а предельное значение Q_n находится по условию (I.2I), из которого следует:

$$\frac{W(Q-H)(4Q_c)^4\cos^3 0{,}5\alpha}{32\lambda E_r (Q-H)^5\cos^3\alpha} = mq\cos\alpha \approx \frac{3mQW\cos\alpha}{\sigma_c}.$$

После сокращений это выражение представляется в виде

$$\frac{2{,}46Qc^4\cos^3 0{,}5\alpha}{\lambda E_r (1-H/Q)^2\cos^4\alpha} \approx \frac{m}{\sigma_c}.$$

Приближенное (с погрешностью $\pm$ I0%) решение этого уравнения: $Q = 0{,}8H$. Решение найдено графически построением функции $y = \varphi(Q/H)$, которая приближается с точностью до I0m к нулю при $Q/H = 0{,}8$.

I.6. Геомеханические процессы в зоне опорного давления

I.6.I. К боковым границам основной кровли примыкает область опорного давления. В ней сжатие пород превышает первоначальные (природные) напряжения.

Область опорного давления делится на две зоны: зону сдвигов (зоны АВГ и БВД рис. I.8), где наблюдаются перемещения пород,

и зону повышенных напряжений, где ощутимые перемещения пород отсутствуют (зоны АГК и БДЛ, рис. I.8).

Границы зоны сдвигов на разрезе (рис. I.8) определяются по расположению линий скольжения, пересекающих границы областей, где существует разуплотнение, разрыхление, пустотность пород, либо только в эти области могут сдвигаться породы. Такими областями, как было показано выше, являются зона Б у границ 7, 8 (рисунок I.8). Границы 3, 4 зоны сдвигов, проходящие через точки А, Б (рис. I.8) определяем тем же методом, что и при определении границ зоны полной подработки. В точках А, Б, Г, Д линии скольжения наклонены к направлению главного наибольшего напряжения под углом ε. При специальном предельном состоянии линии скольжения идут по напластованию. Условие существования специального или обычного предельных состояний сжатия определяется условиями (I.3) и (I.4). При существовании специального предельного состояния плоскость напластования составляет с направлением σ_1 угол α, бо́льший угла $\bar{\varepsilon}_1$ и меньший угла $\bar{\varepsilon}_2$ (углы ε_1 вычисляются по формуле (I.6)). Отсюда следует, что сдвиги по напластованию могут существовать в достаточно широком диапазоне горно-геологических условий, так как угол $\bar{\varepsilon}_1$ близок 0, а угол $\bar{\varepsilon}_2$ близок 90^0. При $\bar{\rho} \approx 0{,}5\rho$ ...$0{,}8\rho$ имеем $\bar{\varepsilon}_1 \approx 10...35^0$; $\bar{\varepsilon}_2 = 55...80^0$.

Если принять в области Г – Д направление σ_1 примерно вертикальным, то расчеты показывают, что практически при любом угле падения пласта возможен сдвиг пород по напластованию. Отсюда заключаем, что верхняя граница зоны сдвигов 5 совпадает с проходящей через точку В линией, параллельной оси u (рис. I.8).

При больших напряжениях горного массива породы находятся одновременно в условиях как обычного, так и предельного состояния, когда касательные напряжения, определяемые по формуле (I.2), превышают прочность не только по напластованию, но и в других направлениях. Поэтому боковые границы зоны сдвигов 3, 4 (рис. I.8) следует совмещать с линиями скольжения обычного предельного состояния, проходящими через границы очистной выработки А и Б. Их пересечение с границей 5 в точках Г и Д, где напряжение σ_1 вертикально, происходит под острым углом к горизонту, равным $90^\circ - \varepsilon$. Следовательно, средний угол наклона линии 3 к горизонту в точках А и Г составляет $\beta = 90^0 - \varepsilon - 0{,}5\alpha = \delta - 0{,}5\alpha$, а наклон линии 4 в точках Б и Д $\gamma = \delta + 0{,}5\alpha$, при $\alpha = 0$ средний наклон границы свода обрушения $\delta = 90^\circ - \varepsilon$. Зная наклон

границ 3, 4, 5 к горизонту и положение в пространстве характерных точек А, Б, В (рис. I.8) положение зоны сдвигов можно считать известным.

I.6.2. Эпюры вертикальных напряжений пласта в зонах опорного давления (II) показаны на рис. I.8. Давление на пласт у границы

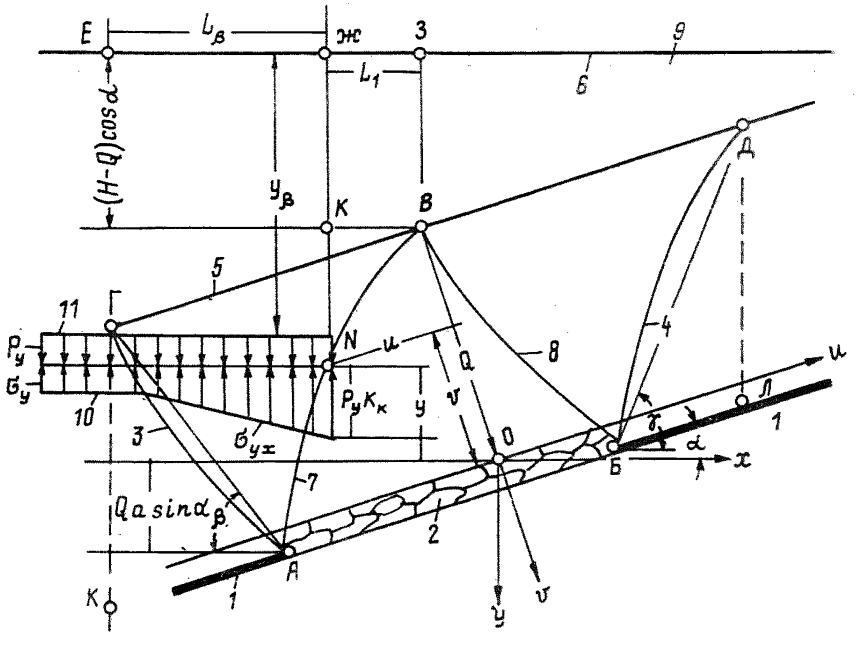


Рис. I.8. Схема зоны сдвигов на вертикальном разрезе вкрест простирания пласта:

I - пласт; 2 - выработанное пространство; 3, 4 - границы зоны сдвигов соответственно по падению и восстанию пласта; 5 - верхняя граница зоны сдвигов; 6 - земная поверхность; 7, 8 - границы зоны полной подработки; 9 - зона прогибов; I0 - эпюра отпора горному давлению; II - эпюра природного давления в ненарушенном массиве

выработанного пространства может быть найдено из условия равновесия системы вертикальных сил P_i слева и справа от вертикального сечения, проходящего через точку В (рис. I.8). Рассмотрим систему, расположенную слева от точки В. Влияние правой части свода уравновесим горизонтальной равнодействующей. Составим уравнение вертикальных сил в несвязной сыпучей среде[x], действу-

x) Силами взаимодействия в сечении ЗВ пренебрегаем.

щих слева от точки В на горизонталь, проходящую через точку И с координатами u, v:

$$\sum P_i = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = L_\beta p_y + WL_1(H-Q)\cos\alpha + W(Q\cos\alpha -$$

$$- y)^2 0{,}5\,ctg\gamma + L_\beta \sigma_y + 0{,}5 L_\beta \sigma_y (\kappa_\kappa - 1) = 0,$$

где p_y – природное вертикальное напряжение в ненарушенном массиве; σ_y – отпор пород в ненарушенном массиве, равный $(H\cos\alpha - y)W$; P_2, P_3 – сила тяжести участков КВЗВ и ВКИ; L_β – длина зоны опорного давления, равная $Q(a+b)-L_1$, где $L_1 = (Q\cos\alpha - y)\,ctg\,\gamma$; y – вертикальная ордината точки пересечения горизонтального сечения, где определяются напряжения, с границей зоны полной подработки, $y = v\cos\alpha - u\sin\alpha$.

Аналогичное уравнение можно составить для системы, справа от точки В (рис. I.8). Решая полученные уравнения равновесия, при $p_y = -\sigma_y$, получим значение коэффициента концентрации давления:

$$\kappa_{\kappa_2'} = 1 + \frac{2(Q\cos\alpha - y)(H-Q)\cos\alpha \cdot ctg^{\gamma}_{\beta} + (Q\cos\alpha - y)\,ctg^{\gamma}_{\beta}}{(H\cdot\cos\alpha - y)\left[Q(a+b) - (Q\cos\alpha - y)\,ctg^{\gamma}_{\beta}\right]}. \qquad (I.25)$$

При $\alpha \leqslant 30^0$

$$\kappa_\kappa \approx 1 + \frac{2(Q-y)(H-Q) + (Q-y)^2}{(H-y)(Q-y)}. \qquad (I.26)$$

Здесь верхние индексы и параметры относятся к участку массива в окрестности нижней границы выработанного пространства, нижние – к верхней границе.

В условиях пологого залегания пласта ($\alpha < 30^0$) уравнение (I.26) при $y = 0$ упрощается до вида

$$\kappa_\kappa = 1 + \frac{(2H-Q)}{H}, \qquad (I.27)$$

из которого следует, что величина κ_κ изменяется от 2 до 3, что соответствует наблюдаемым ее значениям на шахтах.

I.6.3. Формула (I.25) получена при следующих допущениях: эпюра отпора p_y имеет форму трапеции, максимум p_y расположен у границы свода; зона опорного давления распространяется от границы свода до вертикали, проходящей через точки Г или Д. Эти предпосылки являются общепризнанными.

I.6.4. Дополнительные деформации пород могут быть подсчитаны в функции от напряжений известными методами механики горных пород. Перемещения пород происходят по поверхностям скольжения, пересекающим зоны разуплотнения, ориентация которых рассмотрена выше. Поверхности скольжения, не входящие в зоны разуплотнения массива, очевидно, не могут быть реализованы. Например, сдвиги по напластованию могут происходить лишь в области БВД (рис. I.8). Со стороны падения в области АВГ перемещения могут происходить по плоскостям, наклоненным под углом β к горизонту, а по напластованию могут наблюдаться лишь сдвиговые деформации (проскальзывания друг относительно друга) при перемещении соседних слоев.

I.6.5. В условиях всестороннего повышенного сжатия в зоне сдвигов отсутствуют трещины с ощутимым раскрытием, природная пустотность массива не увеличивается, величиной объемных деформаций можно пренебречь. Поскольку все породы зоны сдвигов находятся в предельном состоянии, то перемещения точек, лежащих на одной какой-либо линии скольжения ($ББ_I$ или $ВВ_I$, рис. I.5) считаем постоянными, равными вектору перемещения в точке пересечения этой линии скольжения с границей 4 (точки Б, В).

Следовательно, в некоторой точке 0 (t , v , u) зоны сдвигов нормальное к напластованию перемещение Δ_{Bv} равно перемещению пород перекрывающей толщи на границе 4 в точке 0 с координатами:

$$t_0 = (v - Q)c + t; \quad v_0 = Q; \quad u_0 = (v - Q)\beta + u \geqslant 0$$

или $u_0 = u + (Q - v)a$, если $u < 0$, т.е.

$$\Delta_{Bv} = \Delta_{rv} . \qquad (I.28)$$

Перемещения вдоль оси u определяются по формулам: в окрестности нижней границы очистной выработки

$$\Delta^{н}_{Bu} = \Delta_{Bv}\, ctg\,(\beta + \alpha), \qquad (I.29)$$

в окрестности верхней границы

$$\Delta^{в}_{Bu} = \Delta_{Bv}\, ctg(\gamma - \alpha). \qquad (I.30)$$

Перемещение вдоль оси t равно

$$\Delta_{Bt} = \Delta_{Bv}\, ctg\,\delta . \qquad (I.3I)$$

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕДРАХ

2.I. Метод прогноза перемещений горных пород

2.I.I. При проведении очистной выработки с полным обрушением непосредственная кровля пласта беспорядочно обрушается и разрыхляется, образуя пористый крупнообломочный слой породы, мощность которого зависит от типа кровли. При управлении кровлей закладкой этот слой создается искусственно. Для кровли I и II типов (по классификации ВУГИ) происходит полное подбучивание основной кровли, для III - частичное. Под давлением основной кровли этот слой сжимается (механика процесса рассмотрена в п. I.3.2).

Сжатие слоя Δ_y определяется при управлении кровли полным обрушением по формулам:
для кровель I и II типов

$$\Delta_y = m_3 q_0 , \qquad (2.I)$$

для кровель III и IУ типа*)

$$\Delta_y = h_к (n-1) q_0 , \qquad (2.2)$$

для плавнооседающей кровли

$$\Delta_y = 0 ,$$

при управлении кровли полной закладкой

$$\Delta_y = (m_3 - \Delta_3) K_3 q_0 , \qquad (2.3)$$

где m_3-мощность пласта с поправкой на конвергенцию; $m_3 = m - h_0$; q_0 - коэффициент сжатия слоя, определяемый по формуле

$$q_0 = \frac{3W}{\sigma_c} j\varphi Q - \frac{2{,}2W^2}{\sigma_c^2} j^2 \varphi^2 Q .$$

При $\frac{\sigma_y}{\sigma_c} \leqslant 0{,}3$ $\quad q_0 \approx \frac{3W}{\sigma_c} j\varphi Q ;$

$h_0 = \Delta_Б - \Delta_A$ - конвергенция за счет упругого восстановления вмещающих пород; σ_c - прочность на одноосное сжатие породы непосредственной почвы и кровли или зерен материала закладочного масси-

*) Если $h_к \geqslant \left(\frac{m}{n-1} - h_0\right)$, то в формулу вместо сомножителя $h_к (n-1)$ подставляется величина m_3.

ва (минимальная); Φ – функция распределения перемещений, определяемая по таблице 2.I; $\Delta_з$ – неполнота закладки; $\Delta_Б$; $\Delta_А$ – упругое восстановление вмещающих пласт пород соответственно кровли, почвы, определяемое согласно п. I.4.I0 по приведенным ниже формулам, следующим из выражений (I.I5) и (I.I6), в которых координата $v = 0$:

при $u \leqslant Q \cdot tg\alpha$

$$\Delta_{\substack{Б\\А}} = \nu j W \left\{ \frac{v_{\substack{Б\\А}}^2}{2} \left(cosec\alpha - cos\alpha - \lambda_1 tg\alpha \right) + v_{\substack{Б\\А}} \left[(H + u \cdot tg\alpha) cos\alpha + \lambda_1 (u - Q\alpha) \right] \right\}; \quad (2.4)$$

при $u \geqslant Q tg\alpha$

$$\Delta_{\substack{Б\\А}} = \nu j W \left\{ \frac{v_{\substack{Б\\А}}}{2} \left(cosec\alpha - cos\alpha - \lambda_2 tg\alpha \right) + v_{\substack{Б\\А}} \left[(H + u tg\alpha) cos\alpha + \lambda_2 (-u - Q\beta) \right] \right\}, \quad (2.5)$$

где $v_я = -Q\varphi_я$, $v_Б = v + Q\varphi_Б / \lambda_1$ – линейные параметры разгруженной зоны в почве и кровле пласта (при определении упругого восстановления вмещающих пласт пород координата $v = 0$); $\varphi_Б$, $\varphi_я$ – функция распределения, выбираемая из табл.2.I для зон Б, А и соответствующего участка; $Q \geqslant 0{,}8H$ – параметр, поясняемый на рис. 2.I, 2.2 и определяемый по максимуму величин $\ell_u / (a + b)$; $-\ell_t / 2c$. Если Q выходит за свой предел, в расчет берется $Q = H$.

2.I.2. Породный массив над разрушенным слоем непосредственной кровли под давлением теряет равновесие и упорядоченно с сохранением слоистой структуры перемещается под действием собственного веса по нормали к напластованию в сторону выработки на величину сжатия слоя Δ_v и толщину щели между слоем и породным массивом до тех пор, пока давление массива σ не уравновесится сопротивлением слоя сжатию.

Вертикальные η и горизонтальные ξ перемещения подрабатываемого массива в точке с координатами t, u, v в зоне Б (рис. 2.I и 2.2) определяются по формулам:

$$\eta_Б^* = (\Delta_v + \Delta_Б + \Delta) cos\alpha; \quad (2.6)$$

$$\xi_Б = \eta_Б \, tg\alpha, \quad (2.7)$$

где Δ_v – параметр, определяемый по формуле (2.I) в зависимости от типа и способа управления кровлей; $\Delta = \Delta_А - \Delta_Б + m - h_к(n-1) -$ за-

---

x) I. При $\alpha > \rho$ в формуле (2.6) слагаемое $\Delta = 0$.

2. При управлении кровли закладкой слагаемое Δ означает неполноту закладки.

Таблица 2.1

Зона, участок	Координаты зоны, участка						χ	$\psi_в$	φ	ψ	$\frac{\partial\varphi}{\partial t}$	$\frac{\partial\psi}{\partial t}$	$\frac{\partial\psi}{\partial u}$
	t		u		v								
	от	до	от	до	от	до							
АД	0	$(Q-v)c$	Qa	$-Q\beta$	N	$-Q$			$1+t/Qc$				
АЕ			$Qa+v\beta$	$Q(a-\beta)$					$-\frac{u+Q\beta}{aQ}$				
АЗ	0	$(Q-v)c$											
АЖ		0	$Q(a-\beta)$	$-Q\beta-va$					$-\frac{aQ-u}{Q\beta}$				
АИ	0	$(Q-v)c$											
БД	0	$-(Q-v)c$			Q	0			$1+t/Qc$	v/Q			
БЕ		0	$(Q-v)tg\alpha$	$(v-Q)\beta$					$-\frac{\sin\psi_2}{\cos\psi_1}\left(\beta+\frac{u_2}{Q}\right)$	$\frac{\sin\psi_2\cdot v\,tg\alpha}{\cos\psi_1\cdot Q}-\frac{v}{Q\cos\alpha}$			
БЗ	0	$-(Q-v)c$											
БЖ		0	$(Q-v)a$	$(v-Q)tg\alpha$					$-\frac{\sin\psi_1}{\cos\psi_2}\left(a-\frac{u_1}{Q}\right)$	$\frac{\sin\psi_1\cdot v\,tg\alpha}{\cos\psi_2\,Q}+\frac{v}{Q\cos\alpha}$			
БИ	0	$-(Q-v)c$											
ВД	$-(Q-v)c$	$-(Q+v)c$	0		Q	0	0	$-c$					
ВЕ		$-(Q-v)c$	$(v-Q)\beta$	$-Q\beta-va$			a	0					
ВЗ	$-(Q-v)c$	$-(Q+v)c$					$-\beta$	0					
ВЖ		$-(Q-v)c$	$Qa+v\beta$	$(Q-v)a$			a	c					
ВИ	$-(Q-v)c$	$-(Q+v)c$					$-\beta$	$-c$					
ГД	0	$-2Qc$	$u\lessgtr\Pi$		$H+u\,tg\alpha$	Q			$1-2T^2+T^4$	1	$-t/Q^2c^2+$ $+t^3/4Q^4c^4$	0	0
ГЕ		0	Π	$\Pi+\frac{1}{K}$					1	$1-2U^2+U^4$	0	0	$4u^3K^4-4uK^2$
ГЖ			$\Pi+\frac{1}{K}$	Π					1		0	0	
ГЗ	0	$-2Qc$	$\Pi+\frac{1}{\Lambda}$	Π					$1-2T^2+T^4$	$1-2U_3^2+U_3^4$	$-t/Q^2c^2+$ $+t^3/4Q^4c^4$	$2MU_3^2(1-U_3^2)2$	$4U_3^3\Lambda-4U_3\Lambda$
ГИ			Π	$\Pi+\frac{1}{\Lambda}$						$1-2U_и^2+U_и^4$		$2MU_и^2(1-U_и^2)2$	$4U_и^3\Lambda-4U_и\Lambda$

Примечания: Участок Д существует, а участки Е и К отсутствуют, если $\ell_t/2c < \ell_u/(a+\beta)$; 2. Участки Е и К существуют, а участок Д отсутствует, если $\ell_t/2c > \ell_u/(a+\beta)$; 3. Участки Д, Е, К существуют одновременно, если $Q \le 0{,}8H$; 4. Расположение участков показано на рис. 2.3; 5. Относительные координаты: $T = \pm/2Qc$; $U = (u+\Pi)/Q(a+\beta)$; $U_{з\,и} = (u+\Pi)/(\pm a \pm \beta)(Q+t/2c)$; 6. Параметры: $\Pi = (v-Q)tg\,\alpha/2$; $K = 1/Q(a+\beta)$; $M = (a+\beta)/c$; $\Lambda = 1/(a+\beta)(Q+t/2c)$.

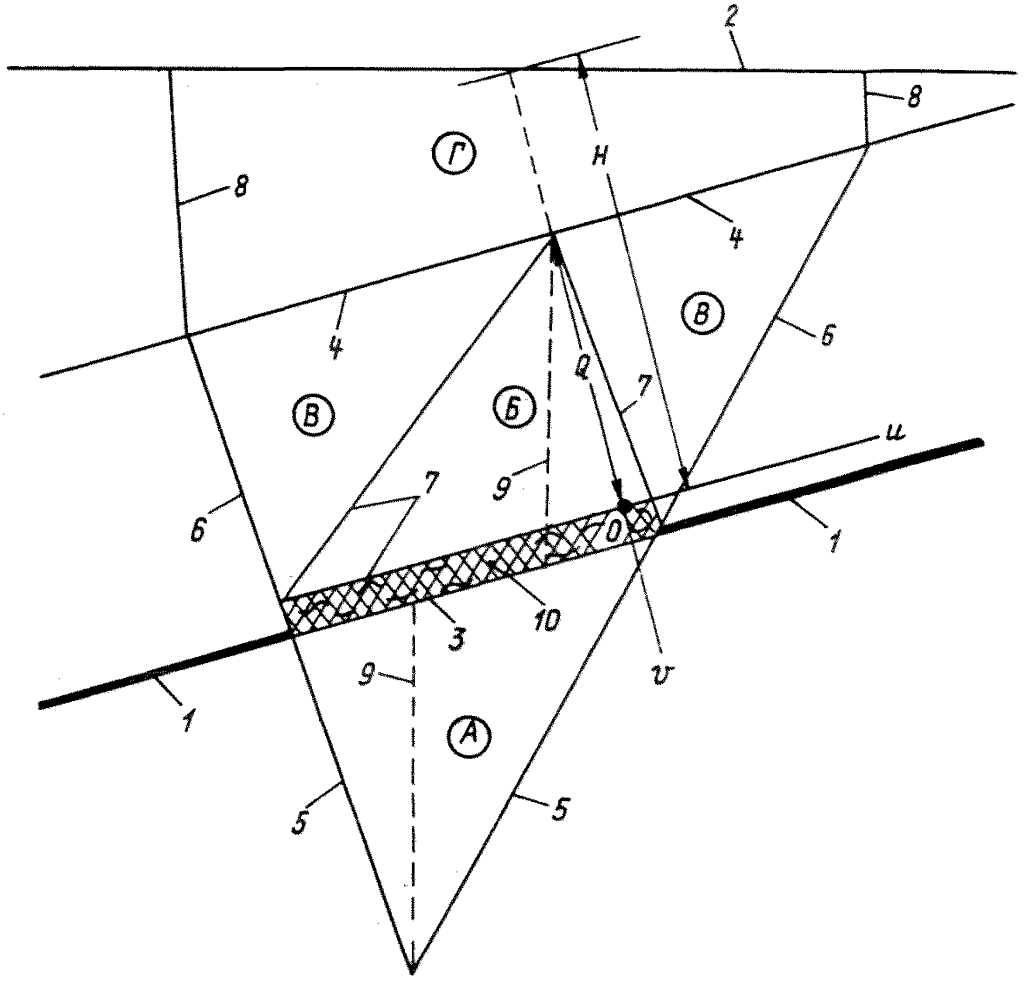


Рис. 2.I. Вертикальный разрез подработанной толщи вкрест простирания пласта:

А, Б, В, Г – зоны соответственно упругого восстановления почвы, полной подработки, сдвигов и прогибов; I – пласт; 2 – земная поверхность; 3 – почва очистной выработки; 4 – верхняя граница зоны В; 5, 6, 7, 8 – соответственно границы зон А, Б, В, Г; 9 – граница между нижней и верхней областями зоны Б и А; I0 – слой беспорядочного обрушения непосредственной кровли

зор (щель) между обрушившимся слоем непосредственной кровли и зависшей основной кровлей (при определении $\Delta_б$ координата $v = 0$).

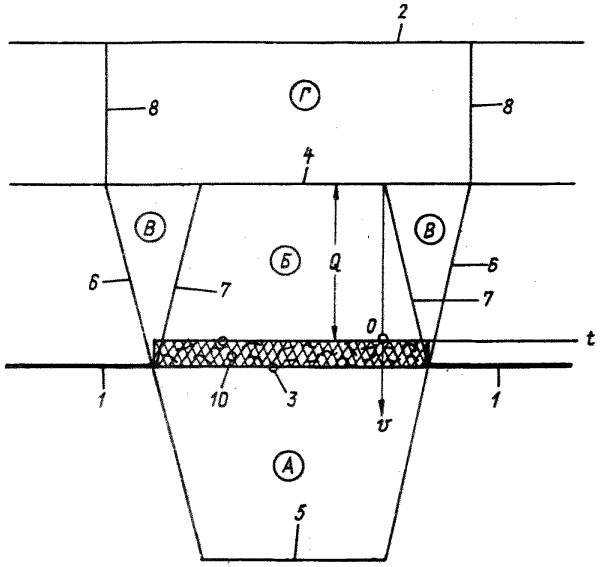


Рис. 2.2. Разрез подработанной толщи по простиранию плоскостью, нормальной напластованию, проходящей через вершину зоны Б.Обозначения те же, что на рис. I

2.I.4. Вертикальные и горизонтальные перемещения массива в точке с координатами t, u, v в зоне В определяются по формулам (2.8)-(2.I0), в зоне Г - по формулам (2.II)-(2.I3): вертикальное перемещение

$$\eta_в = \eta_0 , \tag{2.8}$$

горизонтальное - вкрест простирания пласта

$$\xi_{вu} = \eta_в \chi , \tag{2.9}$$

горизонтальное - по простиранию

$$\xi_{вt} = \eta_в \varphi_в , \tag{2.I0}$$

вертикальное перемещение

$$\eta_r = \varphi\psi G \cos\frac{\alpha}{2}, \qquad (2.11)$$

горизонтальное – вкрест простирания

$$\xi_{ru} = \left(tg\frac{\alpha}{2} - \frac{h}{\psi \cos 0{,}5\alpha}\frac{\partial\psi}{\partial u}\right)\eta_r, \qquad (2.12)$$

горизонтальное – по простиранию

$$\xi_{rt} = \left(\varphi\frac{\partial\psi}{\partial t} + \psi\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)h G. \qquad (2.13)$$

В этих формулах G – определяется из выражений (I.2I)–(I.23); h – определяется согласно п. I.5.7; η_0 – осадка некоторой точки 0 с координатами t_0, u_0, v_0, определяемая по формуле (2.II). Координаты находят согласно указаниям п. I.6.5; χ, φ_i – коэффициенты, приведенные в табл. 2.I; Φ, ψ – функции распределения прогибов зоны Г соответственно по – и вкрест простирания. Значения этих функций и их производных выбираются по табл. 2.I.

2.2. Метод прогноза деформаций подработанного массива горных пород

2.2.I. Деформации определяются дифференцированием соответствующих функций перемещения (2.I)–(2.I3) по координате, совпадающей с направлением деформации.

2.2.2. Деформации пород в зоне Г и В и на земной поверхности проявляются в форме деформаций растяжения и сжатия ε, наклонов i и кривизны κ, определяемых как производные перемещений по осям координат t, u, v.

Например, на участке Д (рис. 2.3):

$$i_{rt} = \psi G \cos\frac{\alpha}{2}\frac{\partial\varphi}{\partial t};\ \kappa_{rt} = \frac{\psi G \cos\frac{\alpha}{2}}{Q^2 c^2}\left(\frac{0{,}75 t^2}{Q^2 c^2} - 1\right);\ \varepsilon_{rt} = h\kappa_{rt}; \qquad (2.14)$$

вкрест простирания на участках Е и Ж:

$$i_{ru} = \varphi G \cos\frac{\alpha}{2}\frac{\partial\psi}{\partial u};\ \kappa_{ru} = \varphi G \cos\frac{\alpha}{2}\frac{12u^2 - 4(a+\beta)^2 Q^2}{(a+\beta)^4 Q^4}; \qquad (2.15)$$

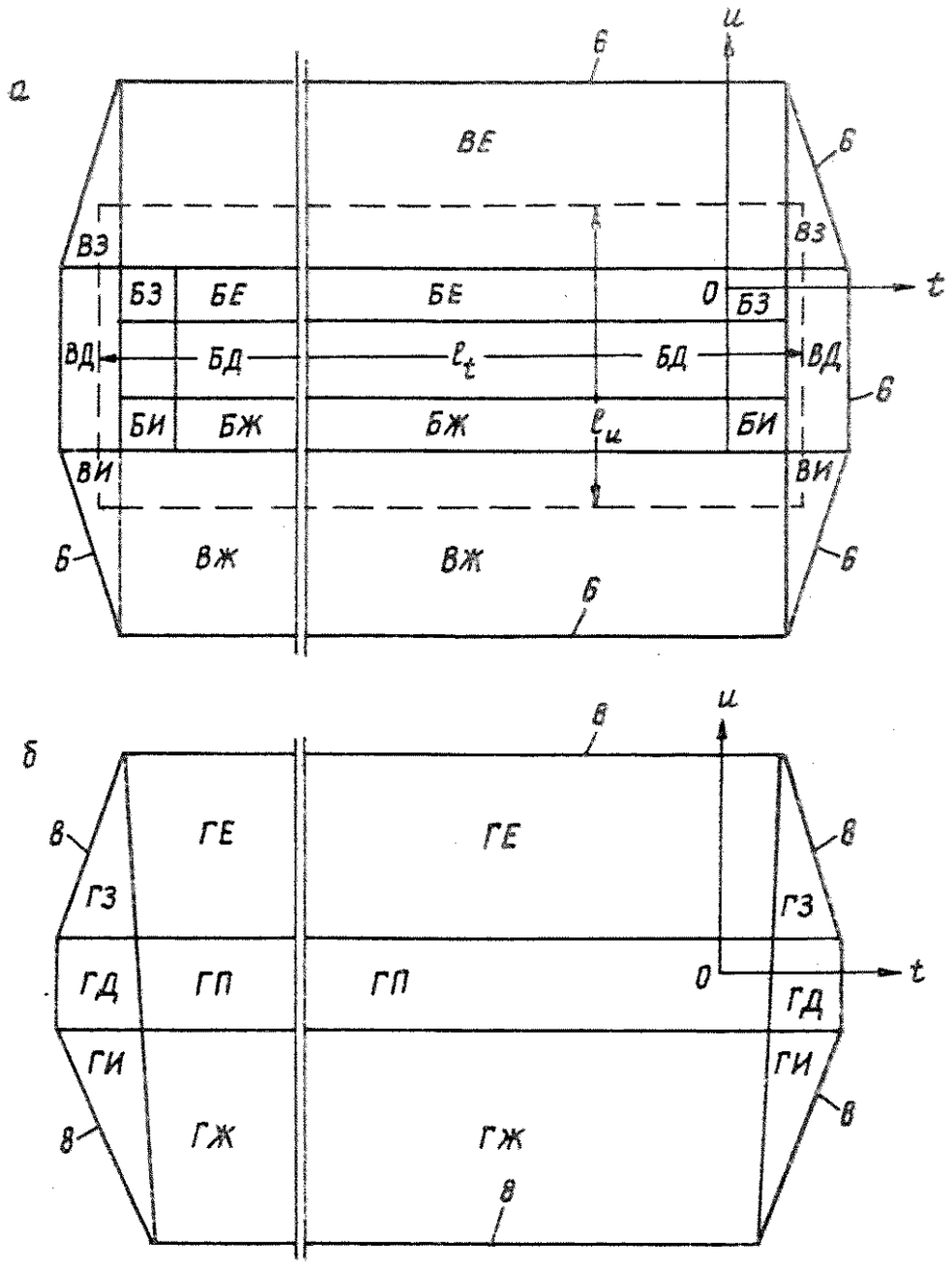


Рис. 2.3. Разрез толщи по напластованию в зонах Б и В (а), Г (б):

ВД, ВЖ, ВЕ, БД, БЖ, БЕ (первая буква означает индекс зоны, вторая - индекс участка) - прямоугольные участки зон В, Б соответственно по простиранию, падению и восстанию пласта; ВЗ, ВИ - треугольные участки зоны В соответственно по падению и восстанию пласта; соответственно расположены участки ГП, ГЕ, ГЖ, ГЗ, ГИ в зоне Г. Пунктиром показана граница выработанного пространства; остальные обозначения те же, что на рис. 2.1

$$\varepsilon_{ги}=G\varphi\left[\left(4u^3K^4-4uK^2\right)\cos\frac{\alpha}{2}+\left(12u^2K^4-4K^2\right)h\right]. \qquad (2.15)$$

Максимальные значения этих деформаций (при $\alpha \leqslant 10^0$):
наклон земли на краю мульды

$$i=\frac{m}{Qc}; \qquad (2.16)$$

кривизна в центре и на краю мульды соответственно

$$\kappa=-\frac{m}{Q^2c^2}; \quad \kappa=\frac{2m}{Q^2c^2}, \qquad (2.17)$$

горизонтальные деформации в середине и на краю мульды соответственно

$$\varepsilon=\frac{m(Q-H)}{2Q^2c^2}; \quad \varepsilon=-\frac{m(Q-H)}{Q^2c^2}. \qquad (2.18)$$

2.2.3. Сдвиг по контакту 4 (рис. 2.1,2.2) зон Г и В в главных сечениях:

по простиранию

$$\Delta_t=Gh\left(\varphi\frac{\partial\varphi}{\partial t}+\varphi\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)-G\varphi\psi c\cos\frac{\alpha}{2}; \qquad (2.19)$$

вкрест простирания в нижней области (рис. 2.1)

$$\Delta_{иж}=\varphi\psi G\left[\frac{h}{\psi}\frac{\partial\psi}{\partial u}+\sin\frac{\alpha}{2}-a\cos\frac{\alpha}{2}\right]; \qquad (2.20)$$

вкрест простирания в верхней области (рис.2.1)

$$\Delta_{ив}=\varphi\psi G\left(\frac{h}{\psi}\frac{\partial\psi}{\partial u}+\sin\frac{\alpha}{2}-b\cos\frac{\alpha}{2}\right). \qquad (2.21)$$

2.2.4. Геомеханические преобразования основной кровли проявляются также в раскрытии трещин при прогибе слоев в сторону выработанного пространства. Раскрытие трещин Δ_u определяется по формуле

$$\Delta_u\approx\frac{3m_j\ell_T W}{\sigma_c},$$

где ℓ_T - среднестатистический размер блока (табл.1.1), м.

Раскрытие трещин в направлении напластования не превышает 1 мм. Раскрытие трещин по нормали к напластованию (трещины расслоения) определяется по формуле $\Delta_v=(\eta_б-\eta_г)\cos\alpha$.

Трещины расслоения появляются в пределах всей зоны Б (рисунок 2.I) при последовательном оседании слоев снизу вверх. Однако обычно они закрываются при перемещении очистного забоя на шаг посадки кровли. Лишь на границе свода они стационарны.

Максимальную высоту распространения трещин расслоения от пласта по нормали к напластованию можно принять равной максимальной высоте зоны полной подработки Q.

2.2.5. Значения деформаций других видов могут быть подсчитаны по формулам (I5)-(42) методических указаний [7].

2.3. Прогноз изменения напряжений подработанного породного массива

2.3.I. Вертикальные $\sigma_{вy}$ и горизонтальные $\sigma_{вx}$ сжимающие напряжения в любой точке зоны опорного давления определяются согласно расчетной схеме (рис. I.8) по формулам:

$$\sigma_{вy}=(H+u\,tg\alpha)W\cos\alpha\left[1+(k_к-1)\frac{v(a+b)-u+(Q-v)\frac{a}{b}}{v(a+b)}\right];\ \sigma_{вx}=\sigma_y\,\zeta,$$

где u, v – координаты расчетной точки; $k_к$ – коэффициент, определяемый по формулам (I.25), (I.26). Верхний параметр a в формуле означает принадлежность точки к области нижней границы выработки, нижний параметр b – к верхней границе (рис. I.3).

2.3.2. Степень перегрузки ленточного целика шириной $b_{ц}$, вытянутого по простиранию, определяется по формуле

$$C_{пи}=\sigma_v/\sigma_{vн}=1+\ell_ц\left[1-\ell_ц(a+b)/H\right]/b_ц;$$

вкрест простирания – по формуле

$$C_{пt}=1+\ell_t\,(1-2\ell_t\,ctg\,\varphi_з/H)/b_t,$$

где $\ell_ц$, ℓ_t – средняя длина лав, ограничивающих целик со стороны соответственно вкрест простирания и по простиранию пласта; $b_ц$, b_t – размер целика в направлении соответственно вкрест и по простиранию пласта.

2.3.3. Степень разгрузки C_p пород в зоне полной подработки определяется по формуле $C_p=\sigma_{vн}/\sigma_v$. На участках БЖ и БЕ она равна

$$C_{p\,\frac{ж}{г}} = \frac{(v - H - u\,tg\alpha)\cos\alpha}{\lambda_{\frac{1}{2}}(-Q\,ctg\,\varphi_2 + u - v\,tg\alpha) + v/\cos\alpha};$$

на участке БД

$$C_{pд} = (v - H)/(t\,tg\,\varphi_3 - Q + v).$$

Горное давление в зоне полной подработке определяется по формуле (I.I2).

Область применения расчетного метода: угол падения пласта не должен превышать $90^0 - \rho$. При величине угла ρ, колеблющейся в пределах $20...50^0$, угол $\alpha < 40...70^0$; длина разгрузочной выработки должна быть в несколько раз меньше глубины, иначе над серединой очистной выработки образуется область полной подработки, где разгрузка породного массива отсутствует. При больших размерах выработанного пространства область разгрузки локализируется в окрестностях границ выработанного пространства.

Пример. Определить степень разгрузки горного массива лавой, отрабатываемой по простиранию, и горное давление в расчетной точке В. Исходные данные: $\rho = 30^0$; $\alpha = 20^0$; $W = 25$ кН/м^3; длина лавы $\ell_ц = I20$ м; средняя глубина разгрузочной лавы $H_1 = I000$ м; расположение расчетной точки В относительно границ и почвы разгрузочной лавы характеризуется расстояниями $a_3 = I50$ м, $a_1 = 50$ м, $a_4 = 30$ м; $m = I,5$ м; $n = I,3$; $h_к = 5$ м; $\zeta = 0,34$.

Находим аргументы расчетной формулы: $\varphi_1 = 50^0$, $\varphi_2 = 70^0$, $\lambda_2 = I,46$, $N = 6,5$ м, $H = -H_1/\cos\alpha = -I060$ м, $u = -33$ м > $>(Q - v)tg\alpha$, $v = -22$ м, $Q = -II2$ м. При этих значениях аргументов $C_p = I3,2$; $\sigma_v = I,7$ мПа.

2.4. Учет фактора времени

2.4.I. Напряжения, перемещения и деформации породного массива в точке с координатами t, u, v определяются на некоторый момент времени T, при котором зафиксировано положение границ выработанного пространства. В том случае, если требуется определить изменение напряженно-деформированного состояния массива за некоторый период времени $T_1 - T_2$, то системы координат определяются на моменты $T_{1,2}$ и в них отыскиваются показатели начального и конечного напряженно-деформированного состояния, а затем вычисляется их разность. Так, если за T_1 принять момент начала переме-

щения пород, а за T_2 – момент завершения,то, следовательно, средняя скорость ω перемещения точки подработанного горного массива определяется по формуле $\omega = \Delta / T_a$, где Δ – максимальное перемещение точки; T_a – активный период перемещений, при отработке пласта по простиранию равный $2Hc/\omega_з$; при отработке пласта вкрест простирания – $H(a+b)/\omega_з$; $\omega_з$ – осредненная скорость очистного забоя.

2.4.2. Скорость перемещений в некоторый момент $\omega_т = d\Delta/dT$, где Δ – перемещение, являющееся некоторой функцией от T. Эту функцию можно получить, если выразить в формулах перемещения пород (2.2)-(2.13) размеры очистных выработок ℓ_u, ℓ_t в зависимости от скорости развития горных работ:

$$\ell_u = \omega_u T_u \; ; \quad \ell_t = \omega_t T_t ,$$

где ω_u, ω_t – средняя скорость очистного забоя в направлении осей u и t; T_u, $T_т$ – продолжительность очистных работ, проводимых в направлении осей u и t.

2.4.3. Перемещения слоев кровли импульсивны. Время между отдельными импульсами определяется периодом между посадками основной кровли T_n. Число импульсов за весь период перемещения точки $n_u = T_a / T_n$. Осадка за время одного импульса $\Delta_т = \eta_б / n_u$, где $\eta_б$ – перемещение точки за период активной стадии процесса сдвижения T_a, определяемое по формуле (2.2).

Ширина возможного раскрытия трещин расслоения основной кровли не превышает величины $\eta_б$, определяемой по формуле (2.2). Через период T_n трещина закроется.

2.4.4. Наблюдаются две стадии процесса преобразования породного массива: формирования гравитационных зон и стационарная. Первая стадия в условиях пологого падения пластов фиксируется в период отхода очистного забоя от разрезной печи примерно на длину лавы. В этот период по мере увеличения выработанного пространства растет нормальная высота зон Б и В, утоньчается покрывающая толща и увеличивается ее прогиб, растет давление на слой разрушенных пород, увеличивается его сжатие и перемещение массива. Гравитационные процессы активны в пределах всей подработанной области. В конце этой стадии зона Б приобретает форму пирамиды с квадратным основанием.

Затухающая стадия обусловлена ползучестью пород слоев при постоянном во времени давлении основной кровли. Процесс этот

неуправляем, длится многие месяцы, а иногда и годы, но влияние его на окружающую среду незначительно. Процесс во времени затухает по экспоненте, асимтотически приближаясь к нулю.

2.5. Порядок вычисления перемещений пород

2.5.I. Расчетная точка может находиться: в зоне обрушения непосредственной кровли А; в зоне обрушения основной кровли Б; в зоне сдвигов В; в зоне Г, перекрывающей основную кровлю, или вне этих зон (см.рис.2.I-2.2).

2.5.2. Каждая из зон А, Б, В, Г в плоскости, параллельной напластованию, делится на 5 участков: участок Д в зоне полной подработки над границей выработки со стороны простирания, участок Д в зоне полной подработки над нижней границей очистной выработки, участок Ж в зоне полной подработки над верхней границей очистной выработки, участки З, И - угловые (рис. 2.3).

Индексы зон и участков определяются по табл. 2.I в функции от координат точки t, u, v и параметров a, b, c, Q, α, H, N.

2.5.3. Для построения системы координат, в которой производится расчет деформаций и перемещений горного массива, необходимо определить угловые параметры ψ_1, ψ_2, ψ_3. На нормальном к напластованию разрезе по простиранию пласта от границ очистных выработок под углами ψ_1 и ψ_2 провести границы 7 зоны В и ось u на расстоянии N от кровли пласта. Найти две точки пересечения границ 7 на первом (рис.2.I) и втором (рис.2.2) разрезах, при этом за расчетную точку перемечения принимается та, которая ближе к пласту. Из расчетной точки пересечения опустить перпендикуляр на ось u (если расчетная точка находится на разрезе вкрест простирания) или на ось t (если она находится на разрезе по простиранию) и через эту точку провести параллельно напластованию на обоих разрезах границу 4, при этом если точка пересечения находится выше земной поверхности, то за границу 4 принимается земная поверхность. Найти начало координат как основание перпендикуляров из точек пересечений линий 4 и 7 на оси t и u и определить параметры Q и H. Далее на совмещенном плане горных работ и охраняемого объекта определить расстояния от заданной точки А до границ выработки (или их продолжения) по падению a_1, по восстанию a_2 и по простиранию a_3, а также разность a_4 вертикальных отметок почвы пласта под точкой А и этой точки.При этом,

если вертикальная проекция точки расположена в выработанном пространстве, то величины a_1, a_2, a_3 берутся со знаком плюс, если вне выработанного пространства, то со знаком минус.

Далее определяются координаты точки по формулам:

$$t = -a_3 - c(Q-N); \quad u_1 = \frac{a_1}{\cos\alpha} + (Q-N)a + a_4 \sin\alpha \leq 0 ,$$

если u_1 выходит за свой предел, то

$$u_2 = -\frac{a_2}{\cos\alpha} - (Q-N)b + a_4 \sin\alpha ;$$

$$v = -a_4 \cos\alpha + N .$$

2.5.4. По табл. 2.I по координатам определить индексы зоны и участка, в которых находится расчетная точка. В зависимости от индексов находят расчетные формулы и параметры по табл. 2.I. Значения модуля деформации E_r и коэффициента структурного ослабления λ принимаются по данным геологических изысканий либо по справочникам в зависимости от типа пород как средневзвешенное по мощности отдельных пачек в пределах соответствующих зон. При грубых подсчетах допустимо принимать $G = \eta_6/\cos\alpha$ (в этом случае E_r и λ не определяются). Эти упрощения могут несколько завысить значения перемещений, что можно, однако, отнести в запас надежности расчета.

2.5.5. Перемещение за некоторый период времени подсчитывается либо как произведение скорости перемещений на время (если за это время расчетный участок находится в одной зоне), либо как разность перемещений, подсчитанных на начало и конец периода.

2.5.6. Влияние на окружающую среду нескольких очистных выработок учитывается следующим образом. Если очистные выработки образуют общее выработанное пространство (рис. 2.4, *а*), то в расчет берутся размеры не отдельной выработки, а общего выработанного пространства. Определение перемещений породного массива в данном случае производится по общим правилам, изложенным выше.

Если очистные выработки не имеют общих границ, то перемещение подработанного массива в зоне влияния нескольких выработок производится по следующим правилам. Определяются и суммируются перемещения от каждой выработки, к сумме прибавляется поправка за счет активизации перемещений от влияния второй выработки,

если точка лежит в зоне активизации. Поправка на активизацию любой точки равна нулю, если зона $Б_2$ 2-ой выработки (пройденной после I-ой) находится вне зоны $Б_I$ I-ой выработки (рис. 2.4, б). В этом случае зона $Б_2$ находится либо вне, либо в пределах зоны $Б_I$ I-ой выработки, что не приводит к изменению давления пород

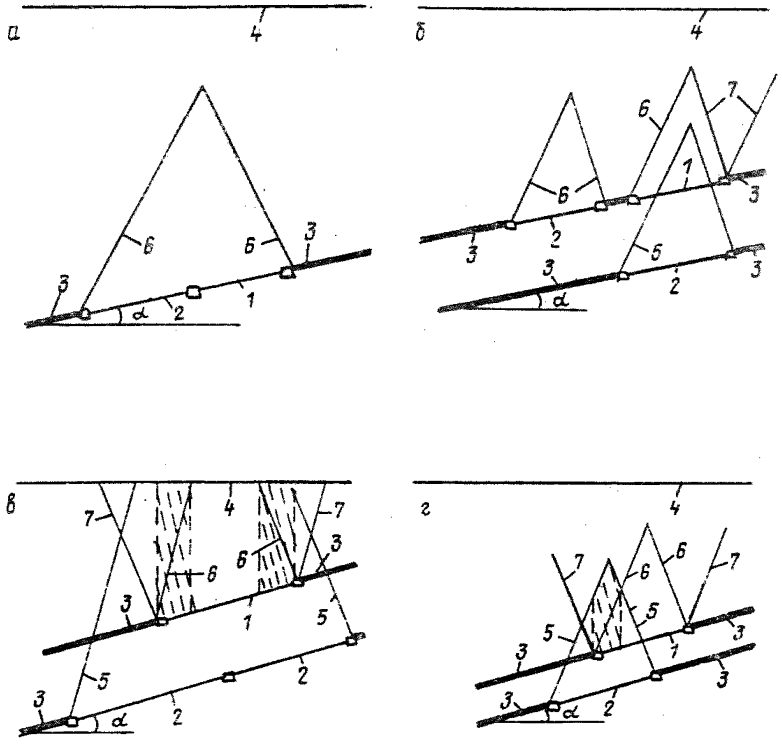


Рис. 2.4. Схемы повторной подработки горного массива:

две выработки с общим выработанным пространством (а); три выработки, не вызывающие активизацию сдвижений (б); активизация при полной (б) и при неполной (г) подработке; I - первая выработка; 2 - выработка, приводящая к повторной подработке; 3 - уголь; 4 - земная поверхность; 5 - границы зоны $Б_2$ второй выработки; 6 - границы зоны $Б_I$ первой выработки; 7 - границы зоны В

на зону А I-ой выработки, а следовательно, не вызывает и дополнительных перемещений. Если это условие не соблюдается (рисунок 2.4, б, г), то образуется область активизации пород, где происходят дополнительные перемещения подработанного массива за счет увеличения давления на зону А. Зона активизации ограни-

чивается границей 5 зоны $Б_2$; почвой пласта первой выработки и двумя вертикальными плоскостями, совмещенными: I) с границей I-ой выработки, находящейся в зоне $Б_2$; 2) с точкой пересечения 4 зон $Б_I$ и $Б_2$ (рис. 2.4, *б*, *г*). Зоны активизации показаны на рис. 2.4, *б*, *г* штриховкой.

Поправка за счет активизации перемещений точки в зоне Б определяется по формулам

$$\Delta_\eta = \Delta_v \cos\alpha \; ; \qquad \Delta_\xi = \Delta_v \sin\alpha \; ,$$

где Δ_η, Δ_ξ – активизация соответственно осадок и горизонтальных перемещений; Δ_v – величина, определяемая по формулам п. 2.I.I в функции от параметра $q_0 = 3w_j y / b_c^2$; y – длина вертикального отрезка, проходящего через расчетную точку А между границами 5 и 6 зон $Б_I$ и $Б_2$ (рис. 2.5), определяемая графически.

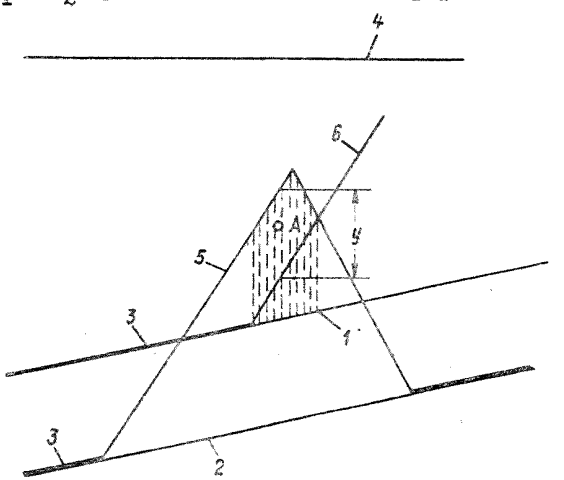


Рис. 2.5. Схема влияния повторной подработки:

А – расчетная точка. Обозначения те же, что на рис. 2.4

2.5.7. Поправка на активизацию перемещений точек в зоне Г и Б определяется по формулам (2.8)-(2.I3), в которых величина δ означает дополнительный прогиб, принимаемый равным поправке на активизацию перемещений в вершине свода зоны Б (расчетная точка А на рис. 2.5 находится в вершине треугольника). Эта поправка вводится лишь в тех случаях, когда прогиб δ превышает свое предельное значение $\eta_6 / \cos\alpha$.

2.5.8. Если расчетная точка массива А с координатами t, u, v (рис.2.6) некоторый период времени находилась в зоне Г, а затем по мере развития горных работ оказалась в зоне В, аналитически этот случай записывается в виде

$$t > Qc - Jcv \quad \text{или} \quad u_{\substack{ж\\ \xi}} > \pm v(a+\beta) \pm (v-Q)\cdot\frac{\beta}{a}, \qquad (2.22)$$

то составляющие суммарного перемещения точки определяются по формулам (2.23)-(2.25):
вертикальная

$$\eta_2^{гв} = \psi_2 \Phi_2 \eta_{б2} / \cos\alpha ; \qquad (2.23)$$

горизонтальная по простиранию пласта

$$\xi_t^{гв} = \xi_t^{г} + \xi_t^{в} = \eta_1 h_1 \left(\Phi_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial t_1} + \psi_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial t_1} \right) + \left(\eta_2^{гв} - \eta_1 \right) \chi ; \qquad (2.24)$$

горизонтальная вкрест простирания пласта

$$\xi_u^{гв} = \xi_u^{г} + \xi_u^{в} = \eta_1 \left(tg\alpha - \frac{h_1}{\cos 0{,}5\alpha} \frac{\partial \psi_1}{\partial t_1} \right) + \left(\eta_2^{гв} - \eta_1 \right) \psi_в , \qquad (2.25)$$

где $\xi_t^{г}$, $\xi_t^{в}$, $\xi_u^{г}$, $\xi_u^{в}$ – горизонтальные составляющие перемещений точки соответственно по простиранию и вкрест простирания (индексы соответственно t, u в зонах Г, В (индексы соответственно Г, В); η_1 – вертикальная составляющая вектора перемещения точки в зоне Г, равная

$$\eta_1 = \frac{\Phi_1 \psi_1 \eta_{б1}}{\cos\alpha} ;$$

ψ_1, Φ_1 – функции распределения прогибов в дополнительных I-ой и 2-ой системах координат (рис.2.6), определяемые по табл. 2.I (строки ГД, ГЕ, ГЖ, ГЗ, ГИ). При этом в формулы параметров А,Б, К,Л,М,П,Т,U для вычисления функций распределения вместо координат t, u, v основной системы подставляются координаты в дополнительных системах $t_1 = t_0$, $u_1 = u_0$, $v_1 = v$, $v_2 = 0$.

Кроме того, при вычислении ψ_1, Φ_1 значение параметра Q принимается равным v;

t_0, u_0, v_0 – функции координат основной системы, приведенные в п. I.6.5;

$\eta_{б1}$, $\eta_{б2}$ – перемещения, определяемые по формулам (2.2), в которых координаты $t = u = 0$, а параметр Q принимается при определении $\eta_{б1}$ равным координате v;

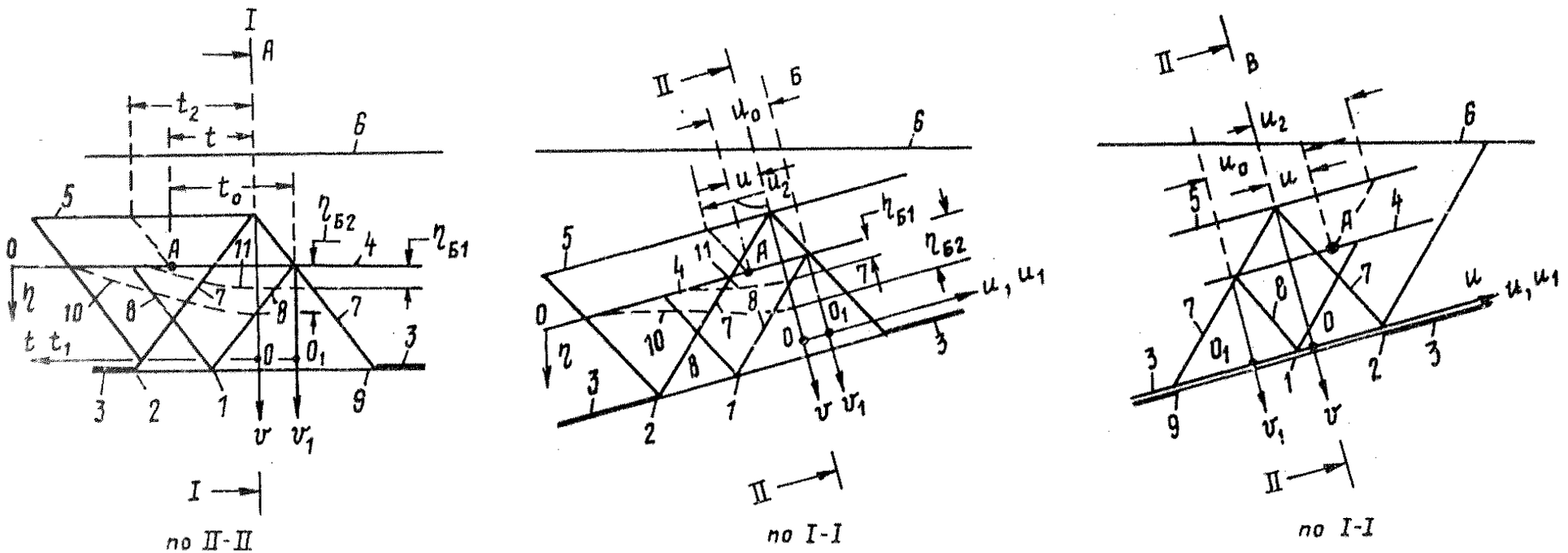


Рис. 2.6. Расчетные схемы:

А – нормальный разрез подработанной толщи по простиранию; Б, В – вертикальные разрезы толщи при отработке пласта соответственно по падению и по восстанию; I, 2 – положения очистного забоя; 3 – пласт; 4, 5 – общие границы зон В и Г при положении забоя соответственно I и 2; 6 – земная поверхность; 7, 8 – общие границы зон В и Б при положении забоя соответственно 2 и I; 9 – разрезная печь; I0, II – эпюры вертикальных перемещений соответственно $\eta_2^{гв}$ и η_1 в сечении по напластованию, проходящем через расчетную точку

h_1 – параметр h в первой дополнительной системе координат, определяемый по формуле

$$h_1 = 0{,}5(H - v) - u_0 \operatorname{tg}\alpha ;$$

ψ , χ – параметры, выбираемые из табл.2.I для соответствующего участка зоны В.

2.5.9. Если расчетная точка массива с координатами t , u , v (рис.2.7) некоторый период времени находилась в зоне Г, потом по мере увеличения выработанной площади оказалась в зоне В, а затем – в зоне Б (аналитически этот случай записывается в виде условия (2.22), то ее суммарное перемещение в зонах Г, В, Б определяется по формулам (2.26)-(2.28):

вертикальное перемещение

$$\eta = \psi_з \Phi_з \eta_{бз} / \cos\alpha + \eta_з ; \qquad (2.26)$$

горизонтальное перемещение по простиранию пласта

$$\xi_t = \xi_t^r + \left(\frac{\Phi_з \psi_з}{\cos\alpha} \eta_{бз} - \eta_1 \right) \chi , \qquad (2.27)$$

горизонтальное перемещение вкрест простирания пласта

$$\xi_u = \xi_u^r + \left(\frac{\Phi_з \psi_з}{\cos\alpha} \eta_{бз} - \eta_1 \right) \psi_в + \eta_з \operatorname{tg}\alpha , \qquad (2.28)$$

где ξ_t^r, ξ_u^r, η_1 , χ , $\psi_в$ – величины, поясняемые в п. 2.4.8; $\Phi_з$, $\psi_з$ – функции распределения прогибов, определяемые в порядке, указанном в п.2.I.4, при этом в формулы параметров T, U , П, К, Л, М для вычисления этих функций вместо координат t , u , v подставляются координаты $t_з = t_0$, $u_з = u_0$, $v_з = Q - \Delta Q$, а вместо параметра Q подставляется величина $v_з$; $\eta_{бз}$ – перемещение, определяемое по формулам системы (2.2), в которых координаты $t = u = 0$, а параметр Q принимается равным $v_з$; t_0 , u_0 – величины, приведенные в п.I.6.5. $\eta = (\Delta_v' + \Delta')\cos\alpha$ – вертикальная составляющая перемещений в зоне Б; Δ_v' – величина дополнительного сжатия слоя разрушенных пород или закладки, определяемая по формуле (2.I), в которой при вычислении коэффициента q_0 (см. п.2.I.I) вместо φ подставляется величина $\varphi + \psi$ (значения φ и ψ приводятся в табл. 2.I в строках БЕ – БИ); $\Delta' = \Delta_A' - \Delta_Б'$ – изменение зазора (щели) между обрушающимся слоем непосредственной кровли (или слоем закладки) и залежью основной

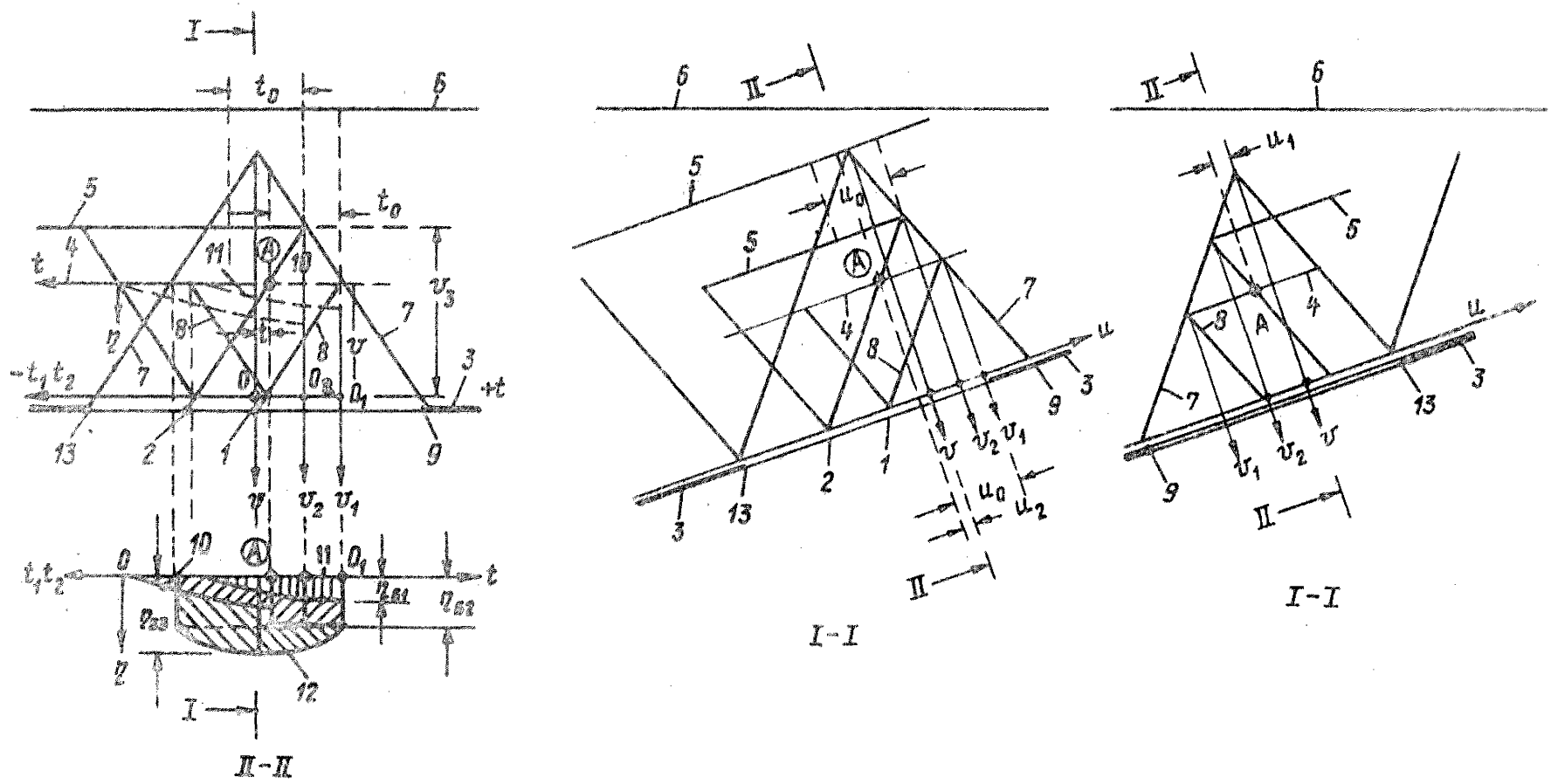


Рис. 2.7. Расчетные схемы:

I–II – то же, что на рис. 2.6, I2 – эпюра η_3;
I3 – конечное положение лавы

кровлей за счет дополнительного упругого восстановления почвы и кровли; $\Delta'_{Я}$, $\Delta'_{Б}$ – дополнительное упругое восстановление пород соответственно почвы и кровли, определяемое по формулам (2.4) и (2.5), в которых величины $v_{Я}$, $v_{Б}$ заменяются их приращениями:

$$\Delta v_{Я} = \Delta Q \, \Delta \Phi_{Я}; \qquad \Delta v_{Б} = \Delta Q \, \Delta \Phi_{Б} / \lambda_{\frac{1}{2}};$$

ΔQ – приращение параметра Q, определяемое по следующему правилу:

$$\text{если} \quad u < 0 \quad \text{то} \quad \Delta Q = min \begin{cases} (Q - v)\,0{,}5 + t/2c, \\ \dfrac{(Q - v)\,a + u}{a + b}; \end{cases}$$

$$\text{если} \quad u > 0 \quad \text{то} \quad \Delta Q = min \begin{cases} (Q - v)\,0{,}5 + t/2c, \\ \dfrac{(Q - v)\,b - u}{a + b}; \end{cases}$$

$\Delta \Phi_{\frac{Я}{Б}}$ – приращение функции Φ, определяемое по формулам, приведенным в табл.2.I на пересечении столбца Φ и строк соответственно АД–АЕ и БД–БЕ, в которые подставляются следующие значения координат: $t = -2cQ$; $u_{\frac{1}{2}} = \pm Q(a + b)$.

В приближенных вычислениях величину $\Delta'_{Я,Б}$ отбрасывают.

2.5.I0. Если расчетная точка массива А с координатами t, u, v некоторый период времени находилась в зоне В, а затем, по мере развития горных работ, оказалась в зоне Б (аналитически этот случай записывается в виде (2.22), то ее суммарное перемещение в зонах В и Б определяется по формулам (2.26)–(2.28), в которых слагаемые $\xi^{\Gamma}_{t} = \xi^{\Gamma}_{u} = 0$.

2.5.II. На рис. 2.6. приводится расчетная схема, поясняющая формулы (2.22)–(2.24). Расчетная точка А задана координатами t, u, v в системе с центром в точке 0 при положении 2 забоя на момент времени T_2. Как следует из рис. 2.6, точка А в момент T_2 находится в зоне В (отсчет времени – от момента отхода лавы от разрезной печи). При положении I забоя на момент времени $T_1 < T_2$ эта точка находилась на общей границе 4 зон В и Г.

За период T_1 точка сместилась на величину, нормальные составляющие которой находят по формулам (2.II)–(2.I3) в системе коор-

динат с центром в точке O_1 (рис. 2.6). Величину горизонтальных составляющих определяют первые слагаемые в формулах (2.24) и (2.25). Поскольку точка А задана в системе t, u, v, то для вычисления составляющих в дополнительной системе координат по формулам (2.I2) и (2.I3) нужно перейти от заданной системы координат к системе t_o, u_o, v_o. Этот переход рассмотрен в п. I.6.5.

При переходе забоя в положение 2 за период от T_2 до T_1, произойдет дополнительное перемещение точки в зоне В, составляющие которого находят как разность двух величин: первой – перемещения, полученного по формулам (2.8)-(2.I0), и второй – по формулам (2.II)-(2.I3) при положении I забоя в системе координат t_o, u_o, v_o.

При вычислении вертикальной составляющей перемещения точки в системе координат t, u, v учитывать фактор времени не надо, так как выражение (2.8) определяет суммарную осадку точки за весь период T_2.

Рассмотрим более сложную задачу, когда точка в процессе перемещения находилась в зонах Г, В, Б.

История процесса поясняется на рис. 2.7 и включает следующие этапы. Точка А задана координатами t, u, v в системе с центром О при положении I3 забоя на момент времени T_3. В некоторый момент времени ($T_I < T_3$) при положении I забоя точка А находилась на границе зон Г, В и ее перемещения в системе координат t_o, u_o, v_o, являющихся функциями от t, u, v (см. п. I.6.5) в момент T_I описываются уравнениями (2.II)-(2.I3). На рис. 2.7 показана эпюра η_1 (позиция II).

В следующий момент ($T_2 < T_3$) при положении 2 забоя точка А находилась на границе зон В, Б и ее перемещения за время $T_2 - T_I$ в системе координат t_2, u_2, v_2 описываются уравнениями (2.8)-(2.I0) в порядке, о котором говорилось ранее. За время от T_2 до T_3 произойдет дополнительное перемещение точки в зоне Б под воздействием дополнительного давления $\Delta\sigma_v$ пород на точку А в пределах свода, которое определяется по формуле

$$\Delta\sigma_v = W_j \Delta Q \cdot \Delta\Phi .$$

Поскольку $\Delta Q = \frac{\Delta u}{a+\beta}$ или $\Delta Q = \frac{\Delta t}{2c}$, то

$\Delta\sigma_v = W_j \frac{\Delta u}{a+\beta} \Delta\Phi$, если отработка пласта идет вкрест простирания,

либо $\Delta\sigma_v = W_j \frac{\Delta t}{2c} \Delta\Phi$ при отработке пласта по простиранию.

Подставляя эти значения в формулы (2.2), (2.3), найдем дополнительное перемещение:

$$\eta_3 = (\Delta_v' + \Delta') \cos\alpha ,$$

где Δ_v' - величина дополнительного сжатия слоя разрушенных пород или закладки, определяемая по формуле (2.I), в которой

$$q_0 = \frac{3W_j}{\sigma_c} \Delta\Phi \Delta Q ,$$

Здесь $\Delta\Phi$ - определяется по формулам, приведенным в табл. 2.I для зоны Б по столбцу Ф, в которых вместо t, u_1, Q подставляются их приращения $\Delta t = \Delta Q c$; $u_1 = \Delta Q a$; $u_2 = \Delta Q b$; ΔQ.

Суммарный вектор перемещения точки А (рис. 2.7) равен векторной сумме составляющих в зонах Б, В, Г, что и реализовано в уравнениях (2.26)-(2.28).

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

3.I. Классификация горно-геологических процессов

3.I.I. Основными горными факторами, определяющими степень геомеханических и инженерно-геологических преобразований земли являются: размеры очистной выработки, глубина разработки пласта, его мощность и угол падения, прочность пород непосредственной кровли, угол внутреннего трения пород и некоторые другие их механические характеристики.

3.2.2. По интенсивности проявления геомеханических преобразований на земной поверхности можно выделить следующие их типы:

I) перемещения с сохранением сплошности массива (очень легкий тип);

2) перемещения с нарушением сплошности массива и образованием плавной мульды оседания (легкий и средний тип преобразования);

3) перемещения с образованием трещин разлома слоев и выходом их на земную поверхность при подработке пологими пластами (тяжелый тип преобразований);

4) перемещения с образованием трещин расслоения и уступов на земной поверхности при подработке крутыми пластами (тяжелый тип преобразований земли);

5) образование отдельных воронок и привалов на земной поверхности (очень тяжелый тип преобразования земли).

В табл. 3.I приводится типизация угольных шахт по их влиянию на земную поверхность.

3.2. Преобразования земной поверхности легкого и среднего типа

3.2.I. Основные показатели и форма геомеханических преобразований земной поверхности очень легкого, легкого и среднего типа даны в табл. 3.I. Длина мульды несколько больше размера выработанного пространства, а глубина ее не превышает вынимаемой мощности пласта. Длина борта мульды оседания при полной подработке соизмерима с глубиной очистной выработки, уклоны бортов не превышают $2m/H$, т.е. измеряются тысячными долями единицы, а искривления – до $10\,m/H^2$. Такие геомеханические преобразования визуально незаметны, но для находящихся в пределах мульды оседания зданий и сооружений могут быть опасными (в стенах зданий появляются трещины, изменяются проектные уклоны коммуникаций, рвутся трубопроводы, повышается уровень грунтовых вод и т.д.). Мульды оседания возникают во всех случаях подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых.

При достаточно больших размерах очистного пространства зона Б (рис. I.2, I.3) распространяется до земной поверхности и наступает стадия полной подработки. Полная подработка характеризуется переходом от воронкообразной к тарелкообразной мульде оседания с плоским дном и закончившейся активной стадией процесса геомеханических преобразований геологической среды. В этой стадии восстанавливается природное напряженное состояние подработанного массива.

3.2.2. Перемещения и деформации земной поверхности проявляются в форме оседаний η, горизонтальных перемещений ξ_t, ξ_u, наклонов i_t, i_u, горизонтальных деформаций ε_t, ε_u, кривизны κ_t, κ_u. Значения их определяется по формулам (2.II) – (2.I5), в которых ордината v принимается равной $H + u\,tg\alpha$.

Таблица 3.I

Тип условий	Основные показатели, определяющие геомеханические преобразования массива и земной поверхности			Форма геомеханических преобразований подрабатываемого массива и земной поверхности	Бассейн или угленосный район - аналог
	Кратность подработки H/m	Суммарная вынимаемая мощность пластов m, м	Угол падения пластов, град		
I	2	3	4	5	6
Очень легкий	Более I00	$\sim\Delta_д + \Delta_б \geq m$	Любой	Плавные преобразования с сохранением сплошности подрабатываемого массива	Донбасс (шахты, разрабатывающие весьма тонкие пласты мощностью до 0,7 м)
Легкий	Более I00	0,7-I,2	"	Преобразования с нарушением сплошности массива, образованием в выработанном пространстве разрыхленного слоя обрушенных пород, образованием и закрытием трещин расслоения. Мульда оседания глубиной до I м без трещин и уступов на земле	Красноармейский район Донбасса
Средний	Более I00	I,2-3,5	"	То же, но мульда оседания глубиной до 3 м	Донецко-Макеевский район Донбасса

Окончание табл. 3.I

I	2	3	4	5	6
Тяжелый	От $\frac{1}{(n-1)\cos\alpha}$	-	До 45	То же, но образование мульды оседания сопровождается появлением несквозных трещин в грунте	Ленинский и Беловский районы Кузбасса
	До I00	Более 3,5	Более 45°	То же, что и в средних условиях, но образование мульды оседания сопровождается появлением уступов и трещин на земле	Центральный район Донбасса
Очень тяжелый	До $\frac{1}{(n-1)\cos\alpha}$	Более $0,3\sin\alpha h_н$	До 45°	Толща разбита сквозными трещинами и воронками, соединяющими выработанное пространство с земной поверхностью	Подмосковный бассейн
			Более 45°	Толща вплоть до земной поверхности обрушилась в выработанное пространство верхнего горизонта	Прокопьевско-Киселевский район Кузбасса

Обозначения: $\Delta_л$, $\Delta_б$ - параметры, определяемые по формулам (2.4) и (2.5);
$h_н$ - мощность покровных отложений, в м;
n - коэффициент разрыхления, при отсутствии данных принимать $n = I.4$.

3.2.3. Область полной подработки (рис.3.I) с координатами:

$$a\left(Q-\frac{H_в}{1+a\,tg\,\alpha}\right)\leq u\leq\left(\frac{H_г}{1-в\,tg\,\alpha}-Q\right)в\;; \qquad (3.I)$$

$$c(Q-H)\leq t\leq(H-Q)c$$

считается наиболее благоприятной для подрабатываемых объектов. Полная подработка может осуществляться либо по площади, когда координаты t, u лежат в своих пределах, либо по одному направлению - вкрест или по простиранию, что следует из приведенных выше

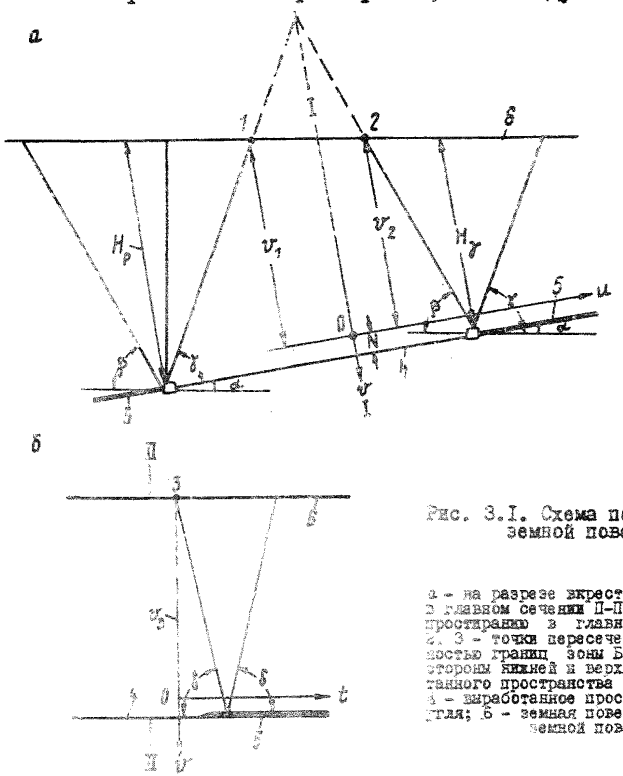


Рис. 3.I. Схема полной подработки земной поверхности:

а - на разрезе вкрест простирания пласта в главном сечении II-II; б - на разрезе по простиранию в главном сечении I-I; 1, 2, 3 - точки пересечения с земной поверхностью границ зоны Б соответственно со стороны нижней и верхней границ выработанного пространства и по простиранию; 4 - выработанное пространство; 5 - пласт угля; 6 - земная поверхность; v - осадка земной поверхности

критериев изменения координат. Так, если координаты t охраняемой области укладываются в указанные критерии (3.I), а координаты u не укладываются, то эффект полной подработки проявляется лишь по простиранию, и наоборот. Деформации по простиранию пласта в зоне полной подработки отсутствуют, а перемещения и деформации вкрест простирания определяются по формулам:

$$\eta = \Delta_v \cos\frac{\alpha}{2}\cos\alpha\ ;\ \xi_u = \eta\, tg\frac{\alpha}{2}\ ;\ i_u = -\frac{\Delta_v}{H}\left(\frac{1}{q_0}-1\right) tg\alpha\, \ell n(1-q_0)$$

$$\text{или}\ \ i_u = \frac{3\Delta_v}{H}\left(\frac{1}{q_0}-1\right)\frac{\sigma_v}{\sigma_c}\, tg\alpha\ ;\ \varepsilon_u = i_u\, tg\frac{\alpha}{2}\ ;\ \kappa_u = 0\ . \qquad (3.2)$$

3.3. Преобразования земной поверхности тяжелого типа при подработке пологими пластами

3.3.I. Геомеханические преобразования земной поверхности тяжелого типа при $\alpha < 45^0$ (табл. 3.I) показаны на рис. 3.2.

Непосредственная кровля, сложенная песками и глинами, беспорядочно обрушается на высоту N, равную $m/(n-1)$, где m – вынимаемая мощность пласта, n – коэффициент разрыхления пород.

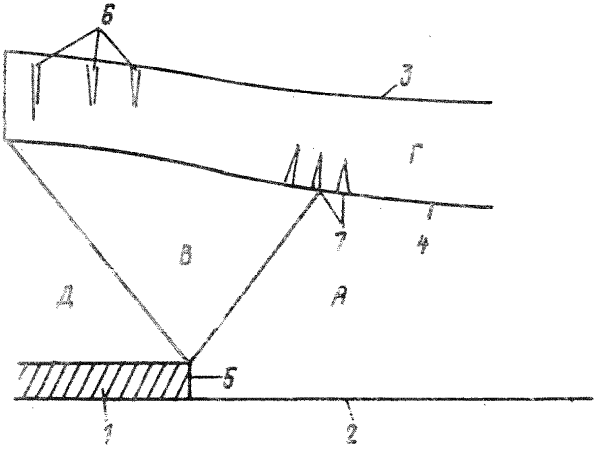


Рис. 3.2. Схема тяжелых геомеханических преобразований толщи углевмещающих пород при отработке пологих пластов:

А – зона беспорядочного обрушения; В – зона сдвигов; Г – зона прогибов; 3 – земная поверхность; 4 – верхняя граница зоны беспорядочного обрушения пород непосредственной кровли; 5 – граница очистной выработки; 6 – система трещин, выходящих на земную поверхность и затухающих с глубиной; 7 – система трещин, выходящих в зону беспорядоченного обрушения и затухающих в направлении земной поверхности

Породы основной кровли и четвертичные отложения (наносы) упорядоченно проседают, уплотняя разрыхленный слой обрушенных пород непосредственной кровли. Высота зоны беспорядочного обрушения, пронизанная водопроводящими трещинами, составляет около $10m$, т.е. 20–30 м.

Зона полной подработки при малой глубине горных работ в условиях Подмосковного бассейна может отсутствовать, так как слабые обводненные покровные отложения неустойчивы, обладают малой прочностью на изгиб и плавно оседают на разрыхленный слой непосредственной кровли.

Прогибаясь в сторону выработанного пространства, зона Г у земной поверхности при горизонтальных деформациях грунта более $I \cdot I0^2$, как правило, разбивается трещинами (позиция 6 на рис.3.2) в краевых частях мульды оседания примерно на расстоянии $\ell_т = cm/n-1$ в плане от границы выработки. Трещины распространяются на глубину h, не превышающую величины $(H_1 - m/n-1)0,8$. В середине мульды оседания на земной поверхности образуются зоны смятия, а в нижней части зоны Г возможно образование трещин разрыва (позиция 7 на рис. 3.2).

3.3.2. Граничные углы сдвижения δ (см. рис. 3.2) могут быть определены по формуле $\delta = 45^0 + 0,5\rho$, где ρ – угол внутреннего трения (средневзвешенное его значение по мощности отдельных литологических разностей пород).

3.3.3. Продолжительность процесса геомеханического преобразования (сдвижения) надугольной толщи составляет в бассейне около I5 месяцев, продолжительность активной стадии деформации подсчитывается по формуле $2H_1 c/\omega_3$, где H_1 – глубина пласта, ω_3 – средняя скорость подвигания очистного забоя.

3.3.4. При глубине залегания угольного пласта 45...I00 м и вынимаемой мощности пластов I,5...3,0 м горные породы зон Б и Г образуют обычно единую зону трещинообразования.

3.3.5. Геомеханические преобразования земной поверхности на шахтах проявляются в основном в образовании провалов и мульд. При достижении зоной трещинообразования земной поверхности образуются котловинные провалы, а там где эта зона не достигает поверхности – плавные мульды (с довольно пологими склонами).

Глубина мульды оседания может быть вычислена по формуле $\eta = m q_0$. Пример вычисления η для типичных горно-геологических условий Подмосковного бассейна дан в табл. 3.2 при $\alpha < 4^0$, W = 20 кН/м^3.

Таблица 3.2

Вынимаемая мощность пласта m, м	Глубина залегания пласта H_1, м	Породы кровли и почвы	Глубина мульды оседания η, м	
			Расчетное значение	Измеренное значение
3,0	50	Песчаные глины и пески (σ_c = 3500 кПа)	I,9	2,I
2,0	60	Песок - 50%, Глина - 45%, Известняк - 5%	I,2	I,3

Наклон подработанной земной поверхности определяется по формуле $i = \eta / H_1 c$. Подсчитанные значения i для условий Подмосковного бассейна при ρ = I4...36°, H_1 = 50...I00 м, η = 2...3 м приводятся в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Глубина разработки H_1, м	Наклоны i (в градусах) при вынимаемой мощности пласта m, м		
	I,8	2,4	2,8
50	I	I,4	I,6
65	0,8	I,I	I,3
80	0,6	0,8	I,0

3.3.6. Предельная ширина раскрытия трещин на земной поверхности равна 0,8 $i\,(H_1 - m/(n-1))$. Для условий Подмосковного бассейна она составляет 0,I-0,5 м.

3.4. Преобразования земной поверхности тяжелого типа при подработке крутыми пластами

3.4.I. При отработке крутопадающих пластов угля на земной поверхности могут появляться уступы и трещины в процессе перемещения слоев основной кровли, ее расслоения и проскальзывания соседних слоев. Этот вид деформаций при отработке пологих пластов на земной поверхности обычно не проявляется, поскольку относительные сдвиги протекают в глубине массива без раскрытия

трещин. Ощущаются он иногда в виде среза крепи стволов на контакте сдвигающихся слоев. Механизм образования уступов поясняется схемой, приведенной на рис. 3.3.

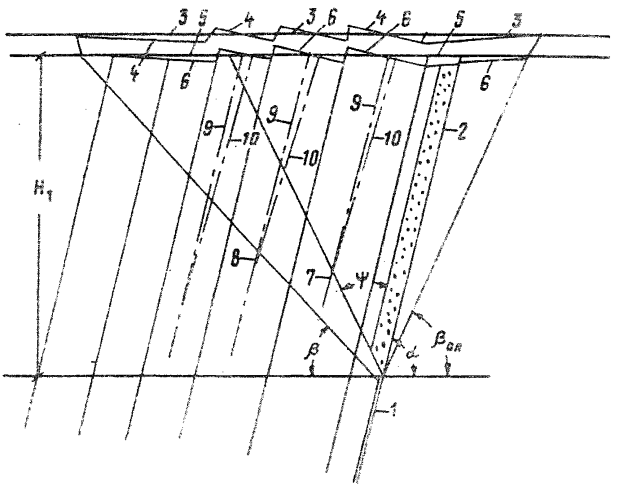


Рис. 3.3. Схема образования уступов на земной поверхности:

I - угольный пласт; 2 - выработанное пространство; 3, 4 - профиль земной поверхности до и после подработки; 5, 6 - профиль выхода коренных пород под наносы до и после подработки; 7, 8 - границы основной кровли и зоны сдвига; 9, 10 - положение средней линии слоя основной кровли до и после подработки

3.4.2. В результате прогиба в сторону выработанного пространства слоев основной кровли, торцы которых выходят под наносы, происходит поворот торцов около нейтральной линии изгиба слоя и образование уступа на контакте сдвигающихся соседних слоев за счет взаимного их разворота. Высота уступа определяется по формуле

$$h_y = \frac{\overline{\sigma}_p i}{W_j} ;$$

расстояние между уступами - по формуле

$$l_1 = \frac{\overline{\sigma}_p \sec\alpha}{W_j} .$$

где i – угол поворота слоев (в радианах), который в ориентировочных подсчетах можно принять равным $m\cos\alpha / H_1 ctg\rho$; $\overline{\sigma}_p$ – прочность на разрыв по контактам слоев, определяемая по табл.3.4.

Таблица 3.4

Тип контакта слоев	Значение $\overline{\sigma}_p$ (кПа) для пород кровли, сложенных		
	аргиллитом	алевролитом	песчаником
Плоскость скольжения	0–I0	5–50	–
Углистый прослой	5–I5	5–I00	I5–250
Растительные остатки	I0–I50	25–300	I50–500
Детрит	–	300–700	300–I500

3.4.3. При $500 \leqslant H_1 \leqslant I000$ м, $\alpha = 50...70^0$, $W = 27$ кН/м^3, $\zeta = 0{,}3...0{,}4$, $\overline{\sigma}_p \leqslant I500$ кПа число отрабатываемых пластов в пределах горизонта, формирующих общую мульду оседания, до I0; суммарная мощность пластов до I0 м; возможная величина уступов для условий Центрального района Донбасса $h < 30$ см, а расстояние ℓ между ними менее 60 м.

3.4.4. Наносы обычно сглаживают уступы, поэтому при высоте до 0,I м они незаметны на земной поверхности. Из этого следует, что визуально заметные на земной поверхности уступы (в условиях, близких Центральному району Донбасса) возникают лишь при отработке свиты пластов суммарной мощностью не менее 3–4 м.

3.5. Преобразования земной поверхности очень тяжелого типа

3.5.I. Провальные воронки и сопровождающие их сквозные трещины появляются над очистными выработками, расположенными на очень малой глубине разработки пластов, когда обрушение непосредственной кровли пласта распространяется до земной поверхности. Возможность образования воронок, сопровождающихся большими трещинами, пересекающими всю подработанную толщу, выражается в виде

$$H_1 \frac{\cos\alpha}{m} \leqslant \frac{1}{n-1} .$$

В условиях пологого залегания пласта воронки и сквозные трещины (при $n \geqslant I{,}I...I{,}2$) возникают при кратности подработки от 5

до 10. Провальные воронки и сквозные трещины в основном располагаются над границами выработанного пространства. Они особенно опасны в тех случаях, когда горные работы ведутся под водоемами.

3.5.2. Провалы земной поверхности образуются в случае, когда зона беспорядочного обрушения слоев непосредственной кровли распространяется до земной поверхности (рис.3.4), т.е. при соблюдении условия $H_1 < N = h_к n/\cos\alpha$. При пологом и наклонном залегании угольных пластов провалы не образуются, так как глубина разработки превышает величину N. Проявляются они при разработке верхних горизонтов мощных крутых пластов.

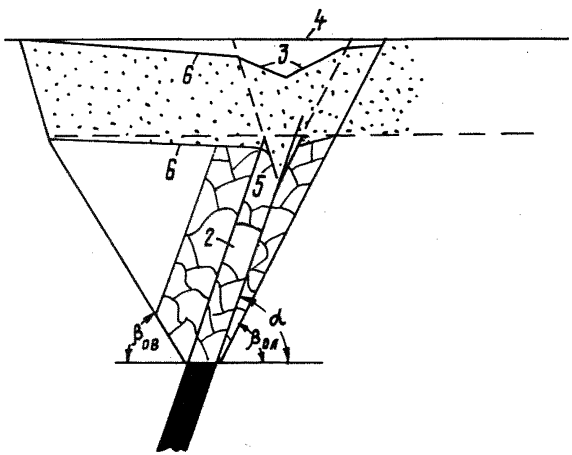


Рис. 3.4. Схема образования V - образных провалов на земной поверхности при выемке мощного крутого пласта:

I - угольный пласт; 2 - выработка; 3 - профиль провала; 4 - профиль земной поверхности до подработки; 5 - воронка; 6 - борт мульды

3.5.3. Ширина $в$, глубина h и объем V провала определяются по формулам:

$$в = m_0 + 2H_1 c\ ;\quad h = \frac{m_0^2}{2(m_0 + 2H_1 c)c}\ ;\quad V = 0{,}5 в h \ell\ ,$$

где ℓ - размер выработанного пространства по простиранию пласта;

$m_0 = m / \sin\alpha$ – горизонтальная мощность пласта; H_1 – мощность наносов.

3.5.4. Условия образования провалов на земной поверхности:

$$m \geq \frac{H_1 \sin\alpha}{3} ; \quad \alpha \geq 45° + 0{,}5\rho .$$

3.6. Другие преобразования земли

3.6.I. Геомеханические преобразования земной поверхности приводят к нарушению структуры, пористости, влажности и механических свойств грунтов.

В зоне сдвижений удельное сопротивление грунта уменьшается до 60%, а в среднем на 25% (как в зоне сжатий, так и в зоне растяжений). Изменение угла внутреннего трения и пористости происходит в пределах I0%.

3.6.2. Существенные изменения грунты претерпевают вследствие изменения гидрогеологического режима подповерхностных грунтовых вод при осадке земной поверхности. Образование мульды оседания приводит к переувлажнению, заболачиванию, а иногда и подтоплению территории из-за повышения уровня грунтовых вод относительно опустившейся поверхности. Подъем уровня грунтовых вод шахтной поверхности примерно равен осадке подработанной территории. Переувлажнение грунтов приводит к резкому падению прочности оснований и может быть причиной разрушения оснований сооружений. Почвенный слой в зоне подтопления теряет первоначальные биологические свойства, снижается урожайность сельхозугодий, гибнут в результате затопления корневой системы деревья.

3.6.3. Изменение рельефа местности в результате осадок территории может быть причиной эррозионных процессов, смыва плодородного слоя, появления оползней на склонах. В результате появления трещин и уступов на земной поверхности затрудняется сельхозобработка земли. Возможно резкое изменение гидрологических условий, образование депрессионных воронок. В пределах мульд оседаний могут застаиваться дождевые воды, образовываться водоемы, болотистые участки.

3.6.4. Около I млрд. $м^3$ пустых пород и 2,5 млрд. $м^3$ шахтных вод ежегодно выдаются на земную поверхность, засоряя и захламляя природную среду. Отвалы породы являются источниками засорения атмосферы продуктами горения и пылью; воды и почвы – продуктами растворения и выщелачивания горных пород. Большие площади вокруг них объявляются опасной зоной в результате взрывов газов и пожаров. Только в Донбассе под складами пустой породы и отходами обогатительных фабрик занято более 500 $км^2$.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОСНОВАНИЯХ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ

Вредное влияние очистных выработок на подрабатываемые объекты: здания, сооружения, коммуникации – проявляется в перемещениях и деформациях грунта в их основании, перемещении сооружений, напряжении и нагрузке конструкций, в появлении трещин в стенах зданий.

4.I. Перемещение и деформации грунта в основании сооружений

4.I.I. Перемещения определяются по формулам (2.II)-(2.I3), в которых координата $v = H + u\,tg\,\alpha$. Размеры подрабатываемого сооружения (исключая коммуникации) малы по сравнению с размерами области преобразований, поэтому достаточно вычислить перемещения и деформации точки (рис. 4.I) в центре застроенной площадки с координатами t_0, u_0, v_0 и полученные их значения отнести ко всему расчетному участку.

4.I.2. Деформации грунта в основании: наклоны, кривизна, горизонтальные растяжения или сжатия в направлении простирания пласта – определяются по формулам (2.I4), вкрест простирания – по формулам (2.I5) в функции от координат центра застроенного участка земли.

4.I.3. Перемещение основания фундамента при подработке земной поверхности в сечении по простиранию пласта, нормальном к напластованию, следует определять при $i \leq 0{,}0I$ по формуле

$$\eta_c = \eta_0 + (t_0 - t) i_0 + (t_0 - t)^2 \kappa_0 m_\kappa \; ; \quad \xi_c = \xi_0 + \varepsilon_0 (t_0 - t) m_\varepsilon \; . \qquad (4.I)$$

Для определения перемещений основания фундаментов в вертикальной плоскости вкрест простирания в формулы (4.I) вместо $t_0 - t$ следует подставлять $(u_0 - u)\cos\alpha$. Здесь η_0 , ξ_0 , ε_0 , i_0 , κ_0 – соответственно осадка, горизонтальное перемещение и деформация, наклон и кривизна основания в точке 0 (рис. 4.I); t , u – координаты расчетной точки; t_0 , u_0 – координаты точки 0; m_κ, m_ε – коэффициенты, характеризующие изменчивость кривизны и горизонтальных деформаций грунта в пределах основания сооружения (коэффициенты условий работы).

Координаты точки 0 (рис.4.I) изменяются во времени по мере изменения границ выработанного пространства, поэтому на практике в качестве расчетных значений перемещений или деформаций земной поверхности в точке 0 пользуются их максимальными значениями, определяемыми по формулам (2.I6)-(2.I8).

4.2. Перемещения подрабатываемых сооружений

4.2.I. В результате сдвижений земной поверхности подрабатываемые сооружения перемещаются в пространстве. В зависимости от жесткости и конструктивных особенностей эти перемещения происходят по-разному.

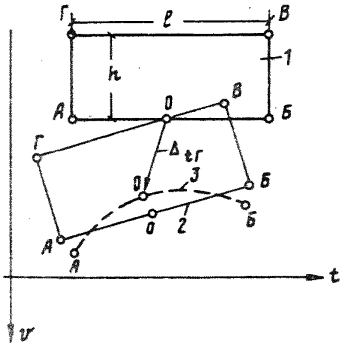


Рис. 4.I. Перемещение основания и сооружения:

I - первоначальное положение; 2 - положение фундамента после подработки; 3 - положение основания после подработки

4.2.2. Перемещения η_c , ξ_c абсолютно жестких сооружений в плоскости vt происходят как перемещения единого тела, взаимные смещения отдельных частей сооружения (деформации) отсутствуют. Перемещения сооружения после подработки (рис. 4.I) можно при малых i_0 описать уравнениями[x]:

$$\left.\begin{array}{l} \text{вектор перемещений} \quad \Delta_r = \sqrt{\eta_c^2 + \xi_c^2} \ , \\ \text{осадка} \quad \eta_c = \eta_{oc} + (t_0 - t) i_{oc} \ , \\ \text{горизонтальное перемещение} \quad \xi_c = \xi_{oc} + (v_0 + v) i_{oc} \cos\alpha \ . \end{array}\right\} \quad (4.2)$$

x) Индекс "с" означает принадлежность сооружению.

4.2.3. Перемещения нежестких сооружений определяются по формулам.

$$\eta_c = \eta_{oc} + (t_o - t) i_{oc} + \Delta\eta_c ; \quad \xi_c = \xi_{oc} + (v_o - v) i_{oc} \cos\alpha + \Delta\xi_c , \qquad (4.3)$$

где η_{oc} , ξ_{oc} , i_{oc} , κ_{oc} – осадка, горизонтальное перемещение, наклон и кривизна фундамента в точке 0 (см.рис. 4.1);

$$\Delta\eta_c = 0{,}5 (t_o - t)^2 \kappa_{oc} ; \quad \Delta\xi_c = (t_o - t)\varepsilon_{oc} + (t_o - t)\kappa_{oc} (v_o - v) ;$$

t , v – координаты расчетной точки; t_o , v_o – координаты точки 0.

В плоскости vu перемещения сооружений определяются по формулам (4.2) и (4.3) при замене разности координат $t_o - t$ в плоскости vt на $(v_o - v)\cos\alpha$ – горизонтальную проекцию разности координат в плоскости vu .

4.2.4. Сдвиги грунта по контакту с сооружением по вертикали Δ_η и горизонтали Δ_ξ определяются по формулам:

$$\Delta_\eta = \eta - \eta_c = \delta_o + i_m \ell_c + \frac{\ell}{2}(\kappa_o m_\kappa - \kappa_{oc}); \quad \Delta_\xi = \xi - \xi_{oc} = \Delta_M + \ell_c (\varepsilon_o m_\varepsilon - \varepsilon_{oc}) , \qquad (4.4)$$

где δ_o , Δ_M , i_m – разности осадок, горизонтальных перемещений и наклонов грунта и сооружения в его среднем сечении; $\ell_c = t_o - t$, если расчет ведется в плоскости vt по простиранию, либо $\ell_c = (v_c - v)\cos\alpha$ – в плоскости вкрест простирания пласта uv .

4.2.5. При подработке симметричных в плане сооружений в выражениях (4.4) принимают $i_m = 0$; $\Delta_m = 0$; $\varepsilon_o = 0$; $\kappa_{oc} = n_\kappa \kappa_o m_\kappa$, где n_κ – коэффициент пропорциональности, определяемый опытом.

4.2.6. Общий метод вычисления параметров δ_o , i_m , κ_{oc} , ξ_{oc} уравнений (4.4) базируется на использовании уравнений равновесия статической системы "сооружение – грунт" в вертикальной и горизонтальной плоскости.

4.2.7. Относительный сдвиг грунта – вектор, который можно разделить на три составляющие: нормальную к контактной плоскости и две перпендикулярные друг другу составляющие, параллельные контактной плоскости. Первая составляющая вызывает появление нормальных, а две других – касательных напряжений на контактной плоскости. Касательные напряжения зависят от величины и направления сдвига, свойств грунта и контактной поверхности.

4.3. Нормальные и касательные напряжения и нагрузки на контакте подрабатываемого сооружения с грунтом

4.3.I. Нормальные σ и касательные τ напряжения определяются по формулам

$$\sigma = \lambda_1 \sigma_п \; ; \; \tau = \lambda_2 \tau_п \; , \qquad (4.5)$$

где λ_1 , λ_2 – коэффициенты пропорциональности, не превышающие единицы; $\sigma_п$, $\tau_п$ – прочность грунта на сжатие и сдвиг.

4.3.2. Для прямоугольного в плане фундамента длиной ℓ и шириной $в$ коэффициент сдвига λ_2 определяется по формуле

$$\lambda_2 = \frac{E \Delta_\xi}{A в \tau_п} \leq 1 \; ,$$

где $\tau_п$ – прочность грунта на сдвиг; Δ_ξ – относительный сдвиг, определяемый по формуле (4.4); E – модуль деформации грунта; A – функция, определяемая в зависимости от соотношения $\ell/в$. При $\ell/в$, равном I, 2, 3, 4, 5, I0, I5, 20, A равно соответственно I,0, I,5, I,7, 2,0, 2,I, 2,7, 3,I, 3,6.

4.3.3. Для вертикальных граней фундаментов коэффициент пропорциональности при определении горизонтального давления грунта определяется по формуле

$$\lambda_1 = \frac{E_з E_о \Delta_\xi}{p_п \left[d E_о + ctg(45° - 0{,}5\rho) h E_з \right]} \leq 1 \; ,$$

а боковое давление на фундамент – по формуле

$$p = \lambda_1 p_п \; ,$$

где d , $E_з$ – толщина и модуль деформации грунта засыпки пазух фундамента; h – высота заглубленной части фундамента; $E_о$, ρ – модуль деформации и угол внутреннего трения грунта основания; Δ_ξ – относительный сдвиг грунта; $p_п$ – среднее значение пассивного давления на стенку, определяемое известными методами механики грунтов.

4.3.4. Для труб в земле или в искусственной засыпке в формуле (4.5) следует принимать $\tau_п = \kappa_т \sigma_п$; $\lambda_2 = \tau_п / \Delta_п$; где $\kappa_т$, $\Delta_п$ – коэффициент трения и предельный сдвиг. приведенные в табл. 4.I.

Таблица 4.I

Тип засыпки или изоляции	$K_т$	$\Delta_п$, мм
Торфо-руда	0,4-0,8	2-4
Кирпичный щебень	0,2-0,4	2-4
Опилки	0,4-0,8	3-9
Обмотка пластиком (полиизобутилен)	0,3-0,4	I-3
Обмазка пастой (савелит)	0,5	-
Щебень доменного шлака	0,4-0,6	-
Суглинок	-	3-40
Глина	-	50
Песок	-	2-I5

4.3.5. Дополнительные нагрузки на сооружения, вызванные деформациями грунта (горные нагрузки), определяются сложением напряжений по контактной поверхности подземной части подрабатываемых сооружений. В общем виде горные нагрузки подсчитываются по формулам (4.6)-(4.8):
дополнительная поперечная сила

$$Q = \beta \int_A^Б \sigma \, dx ; \qquad (4.6)$$

дополнительный изгибающий момент

$$M_R = \int_A^Б Q \, dx ; \qquad (4.7)$$

сила трения

$$N_т = \beta \int_A^Б \tau \, dx , \qquad (4.8)$$

где σ , τ - напряжения, определяемые по формулам (4.5); β - длина поперечного сечения контактной поверхности сооружения с грунтом; А, Б - пределы интегрирования.

Для определения неизвестных величин δ_0 , Δ_m , i_m , κ_{oc} , ε_0 , входящих в уравнения (4.4)-(4.8), необходимо знать дополнительные усилия, возникающие в результате сдвига грунта относительно конструкции. Но, в свою очередь, относительный сдвиг, дополнительные напряжения и нагрузки зависят от деформации и перемещения сооружения. Для некоторых простых случаев эта статически неопределимая задача решается методом последовательных приближений. В первом приближении сооружение принимается условно абсолютно жестким и симметрично загруженным. Для данного случая методами строительной механики определяют относительные сдвиги

и дополнительные напряжения по контакту, суммирование которых даст дополнительные усилия. Для абсолютно жесткого и симметрично загруженного сооружения, размеры которого в плане того же порядка, что и высота, в уравнениях (4.4) $i_m = 0$, $\kappa_{oc} = 0$, $\varepsilon_{oc} = 0$, и они упрощаются до вида:

$$\Delta_\eta = \delta_o + 0{,}5\ell_c^2 \kappa_o m_\kappa ; \quad \Delta_\xi = \ell_c \varepsilon_o m_\varepsilon , \tag{4.9}$$

где неизвестный сдвиг δ_o определяется из уравнения равновесия системы сооружение – основание. Во втором приближении по полученным усилиям находят деформации сооружения и корректируют значения относительных сдвигов, напряжений, усилий и т.д. Обычно достаточно двух приближений для получения удовлетворительного решения.

4.3.6. Элементы гибкого сооружения увлекаются сдвигающимся грунтом под действием сил трения и гравитации. Сооружение может быть податливым в вертикальном и горизонтальном направлении (цеха, ЛЭП, канатные дороги, секционные трубопроводы), либо только в вертикальном (стальные сварные трубопроводы). Перемещения отдельных элементов гибких сооружений (фундаменты под отдельно стоящие колонны, отдельные трубы секционных трубопроводов) приравниваются к соответствующим средним перемещениям точек земной поверхности под этими элементами.

4.4. Трещины в стенах подрабатываемых зданий

4.4.I. Раскрытие трещин в стенах зданий определяется по формуле

$$S_r = K_n \Delta\ell + a_n , \tag{4.I0}$$

где K_n , a_n – коэффициенты, выбираемые из табл. 4.2; $\Delta\ell$ = показатель суммарных деформаций земной поверхности,

$$\Delta\ell = \ell\sqrt{H^2\kappa_o^2 + \varepsilon_o^2} ;$$

ℓ , H – длина и высота стены; κ_o , ε_o – деформации, поясняемые выше.

4.4.2. Величина раскрытия трещин в стенах здания при ступенчатых деформациях определяется по формуле

$$S_r = K_\kappa \frac{h_r H}{0{,}5 d_\tau} + a_\kappa , \tag{4.II}$$

где K_κ , a_κ – экспериментально установленные коэффициенты, определяемые по табл. 4.2; h_y – высота уступа, определяемая по формуле, приведенной в п. 3.4.2; d_τ – параметр, равный I0, I3, I5 м соответственно для двухэтажных, трехэтажных, четырех- и пятиэтажных зданий.

Таблица 4.2

Группа признаков	Наименование признаков	$K_п$	$a_п$, мм	$K_к$	$a_к$, мм
I	Первичная подработка	0,29	I9	-	-
	Вторичная подработка	0,84	77	-	-
II	Подработка при кратности менее 250	0,59	62	-	-
	Подработка при кратности более 250	0,36	I8	-	-
III	Подработка зданий прямоугольной конфигурации в плане	0,40	30	0,62	43
	Подработка зданий непрямоугольной конфигурации в плане	0,73	73	I,03	66
IУ	Подработка кирпичных зданий	0,53	49	0,28	I2
	Подработка зданий со стенами из бутового камня	0,42	48	-	-
	Подработка зданий со стенами из шлакоблоков	0,72	56	I,33	86
У	Подработка зданий протяженностью до 60 м	0,36	22	-	-
	Подработка зданий протяженностью более 60 м	0,77	87	-	-
УI	Подработка зданий, продольная ось которых совпадает с простиранием пластов	-	-	-	-
	Подработка зданий, продольная ось которых расположена по нормали к простиранию пластов	-	-	I,I8	85
	Подработка зданий, расположенных диагонально простиранию пластов	-	-	0,39	23
УП	Подработка зданий, разделенных на отсеки	-	-	0,33	I2
	Подработка зданий, защищенных в период подработки металлическими поясами и тяжами	-	-	-	-
УШ	Все случаи подработки без разделения по указанию выше признакам	0,50	44	0,86	70

5. ОХРАНА НЕДР

5.I. Требования по охране недр

5.I.I. Охрана недр угольных месторождений регламентируется законами СССР и союзных республик о недрах, а также нормативными актами Госгортехнадзора СССР и Минуглепрома СССР (нормативами эксплуатационных потерь угля, правилами охраны сооружений и правилами безопасности в угольных шахтах).

5.I.2. Основными требованиями в области охраны недр при подземной разработке угольных месторождений являются: наиболее полное извлечение из недр и рациональное использование запасов угля; охрана угольных месторождений от подработок, затопления, обводнения и пожаров; предотвращение вредного влияния очистных работ на горные выработки и подземные сооружения.

5.I.3. Наиболее полное извлечение угля из недр достигается в том случае, если охрану подготовительных, капитальных выработок, зданий, сооружений и природных объектов производить без оставления целиков угля.

5.I.4. Условие выемки угля под охраняемыми объектами имеет вид

$$K_p \leq K_н \ , \qquad (5.I)$$

где K_p – расчетный коэффициент уменьшения деформаций, равный отношению расчетных деформаций (перемещений) при выбранном способе подработки охраняемого объекта к деформациями (перемещениям) при полной подработке; $K_н$ – нормативный коэффициент уменьшения деформаций, равный отношению допустимых (предельных) деформаций (перемещений) к деформациям (перемещениям) при полной подработке. Для тех объектов, допустимые условия подработки которых регламентируются безопасной глубиной, коэффициент $K_н$ равен отношению безопасной глубины к фактической глубине подработки.

5.I.5. Допустимые (предельные) деформации, перемещения и безопасная глубина подработки объектов на земной поверхности нормируются Правилами охраны [I], а шахтных стволов – указаниями по охране выработок [2].

5.I.6. Расчетные деформации и перемещения земной поверхности при выбранном способе подработки объектов на земной поверхности определяются согласно Правилам охраны [I]; в условиях, не предусмотренных указанным документом, перемещения определяются по формулам (2.II)-(2.I3), деформации – по формулам (2.I4)-(2.2I).

5.I.7. Расчетные деформации и перемещения толщи горных пород при полной подработке определяются по формулам (2.2), (2.3), (2.8). В этих формулах при полной подработке параметр Q принимается равным $H_1/\cos\alpha$. Расчетные деформации толщи горных пород определяются дифференцированием функций перемещения по расчетным направлениям.

5.I.8. Группировка мер по охране недр по их нормативной эффективности приводится в табл. 5.I.

Таблица 5.I

Группа мер по охране $K_н$	Нормативный коэффициент эффективности мер по охране
I	0–0,2
2	0,2–0,4
3	0,4–0,6
4	0,6–0,8
5	0,8–I,0
Охрана не требуется	I,0

Группа мер по охране недр определяется следующим образом. Находятся нормативные значения $K_н$ по отдельным видам деформаций и перемещений. Из этих значений $K_н$ выбирается наименьшее, по которому (табл.5.I) назначается групп мер по охране.

5.I.9. Способ вскрытия, подготовки и система разработки участков пластов, подлежащих расконсервации под охраняемыми объектами, определяется рядом факторов, главнейшими из которых являются:

тип объекта, характеризующийся конструктивными, технологическими и социальными особенностями;

восприимчивость к подработке объекта, определяемая предельными деформациями горных пород;

горно-геологические условия подработки (глубина горных работ, мощность и угол падения пласта, состав толщи горных пород, физико-механические свойства пород, нарушенность толщи и др.);

технико-экономические характеристики шахты (схема вскрытия и подготовки шахтного поля, применяемая на шахте система разработки, схемы вентиляции, транспорта, оборудование очистных и подготовительных забоев, запасы угля, размер основных фондов и др.);

характер перемещений и деформаций горных пород над очистными выработками, определяемый горно-геологическими, геомеханическими и геометрическими признаками месторождения и очистных работ.

5.2. Охрана запасов угля, законсервированных под зданиями и сооружениями

5.2.1. При проектировании горных работ под охраняемыми объектами необходимо стремиться к уменьшению коэффициента эффективности мер по охране K_p за счет применения горных мероприятий, снижающих деформации горного массива, и к увеличению коэффициента $K_н$ за счет применения строительных мероприятий с целью повышения предельно допустимых деформаций горного массива в окрестности подрабатываемого объекта.

5.2.2. Уменьшить деформации горного массива можно соответствующим управлением геомеханическими процессами при подработке. Управлять процессами в заданной области (точке) породного массива можно, регулируя: а) планировку очистных выработок, их расположение, размеры и форму; б) направление и скорость очистного забоя; в) обрушение непосредственной кровли и посадку основной; д) охрану выработок и сооружений от вредного влияния гравитационных процессов.

Расположением очистных выработок относительно охраняемой области (точки) массива достигается возможность перемещения зоны активных гравитационных процессов в безопасный район. Несколько очистных выработок могут быть расположены таким образом, чтобы геомеханические процессы в охраняемой области компенсировались (гармоничная подработка).

Регулированием размера и формы выработанного пространства достигается возможность изменять объем и форму области геомеханических процессов, изменять размещение в геологическом пространстве гравитационных зон, снижать количественный уровень и интенсивность процессов. Регулированием направления движения очистного забоя можно изменять размещение в геологическом пространстве гравитационных зон. Регулирование скорости очистного забоя позволяет изменять продолжительность активной стадии гравитационных процессов и скорость их протекания. Способ управления кровлей обусловливает количественный уровень гравитационных процессов. Различные типы закладки позволяют уменьшить уровень геомеханических преобразований геосреды (по сравнению с уровнем при

управлении кровлей полным обрушением) в 2–10 раз и обеспечить требуемый уровень процессов в любых горно-геологических условиях. Управление кровлей частичной закладкой и частичным обрушением снижает лишь интенсивность гравитационных процессов при сохранении того же количественного уровня, что и при полном обрушении.

5.2.3. Способы уменьшения перемещений подрабатываемого массива приведены в табл.5.2.

5.2.4. Границы участка пласта, в пределах которых проводят горные мероприятия, находятся в плане от контура объекта на расстоянии :

по падению $a_1 = 0{,}8 H_1 \cos\alpha \,(a\cos\alpha - \sin\alpha - 0{,}25 \operatorname{tg} 0{,}5\alpha)$;

по восстанию $a_2 = 0{,}8 H_2 \cos\alpha \,(b\cos\alpha + \sin\alpha + 0{,}25 \operatorname{tg} 0{,}5\alpha)$;

по простиранию $a_3 = 0{,}8 H_3 \cos\alpha \; c$,

где H_1 , H_2 , H_3 – глубина пласта под границей объекта соответственно со стороны падения, восстания и простирания пласта.

5.2.5. Увеличение размеров фронта очистных работ позволяет добиться такого положения, при котором сохраняемый объект оказался бы в зоне полной подработки, где деформации в расчетных направлениях близки нулю: на участке Д в направлении оси t ; на участках Е, Ж вдоль оси u (см. рис.2.3).

Границы очистных выработок относительно объекта охраны и длина фронта очистных работ подбираются в этом случае с таким расчетом, чтобы координаты t , u , v границ объекта укладывались в пределы зоны полной подработки.

Суммарная длина нескольких спаренных лав при отработке пласта по простиранию находится по формуле $\ell_t = \ell_c + a_1 + a_2$, а при отработке вкрест простирания по формуле $\ell_u = \ell_c + a_3$, где ℓ_c – размер охраняемого объекта в плане вдоль линии очистных забоев.

5.2.6. При применении закладки выработанного пространства коэффициент уменьшения деформаций K_p определяется как частное от деления значения перемещения кровли при управлении ею обрушением и закладкой, определяемого по формулам (2.1)–(2.3).

5.2.7. Проектирование гармоничной отработки запасов заключается в определении таких размеров очистных выработок и такого положения их границ относительно объекта охраны, чтобы суммарные деформации или перемещения массива в районе охраняемого объекта были как можно меньше. Параметры гармоничной отработки находятся из условия

Таблица 5.2

Способ подработки	Эффект принятого способа подработки	Количественный показатель эффекта K_p
I	2	3
Широким фронтом	Уменьшение наклонов вдоль очистного фронта	$1{,}3\,c\,tg\,\alpha$
	Уменьшение растяжений вдоль очистного фронта	$0{,}8(a+b)^2 tg^2\alpha$
Гармоничный, с отработкой двух лав в направлении:	Компенсация горизонтальных перемещений по падению пласта	$1-\frac{m_1 b_{c2}(aQ_1+u_1'')(H_1-Q_1)}{m_2 b_{c1}(bQ_2+u_2'')(H_2-Q_2)}$
простирания пласта в соответствии со схемой на рис. 5.1а	Компенсация наклонов по падению пласта	$1-\frac{m_1 b_{c2}(aQ_1+u_1'')}{m_2 b_{c1}(bQ_2+u_2'')}$
вкрест простирания по схемам на рис. 5.1, б, г или по простиранию по схеме 5.1,б	Компенсация горизонтальных перемещений по простиранию	$1-\frac{m_1 b_{c2}(H_1-Q_1)(t_1''+Q_1 c)}{m_2 b_{c1}(H_2-Q_2)(t_2''+Q_2 c)}$
	Компенсация наклонов по простиранию пласта	$1-\frac{m_1 b_{c2}(t_1''+Q_1 c)}{m_2 b_{c1}(t_2''+Q_2 c)}$
Короткими лавами с оставлением междулавных опорных целиков	Уменьшение осадок и горизонтальных перемещений	$\frac{\ell\cos\alpha}{H(a+b)}$

Окончание табл. 5.2

I	2	3
Камерами с обрушением кровли	Уменьшение перемещений и деформаций	$a_к/(a_к+b_к)$
Камерами с закладкой	То же	$a_к \Delta_{vз}/(a_к+b_к)\Delta_v$
Сплошная или столбовая система разработки с закладкой	"	$\Delta_{vз}/\Delta_v$
Сплошная или столбовая система с отработкой пласта на неполную мощность	"	$m/m_г$
Комбинированный, при применении одновременно нескольких горных мер по охране, каждая из которых характеризуется своим коэффициентом:		
короткими лавами с последующей одновременной отработкой нескольких межлавных целиков	Уменьшение наклонов и горизонтальных деформаций вдоль очистной линии	Равен сумме коэффициентов для короткой лавы и для спаренных лав
короткими лавами с закладкой	Уменьшение деформаций и перемещений	$\Delta_{vз}\ell\cos\alpha/H(a+b)\Delta_v$
гармоничная с закладкой	То же	Равен произведению величины $\Delta_{vз}/\Delta_v$ на коэффициент K_p для гармоничного способа подработки
выемка пласта на неполную мощность с закладкой	"	$\Delta_{vз}m/\Delta_v m_г$

Примечание. В таблице индекс I означает принадлежность параметров Q, H, $б_c$, m первой лаве, индекс 2 – второй; ℓ – длина очистного забоя; u_1^4, u_2^4, t_1^4, t_2^4 – расстояния от границы выработанного пространства до нормальной проекции на пласт точки, где планируется компенсация деформаций (пояснения на рис. 5.I); $\Delta_{vз}$; Δ_v – сжатие слоя соответственно закладки и разрушенных пород непосредственной кровли, определяемое по формулам (2.I)-(2.3).

$$K_p = \frac{1}{Д}\sum_{i=1}^{n} Д_i \leq K_н \ , \qquad (5.2)$$

где $Д_i$ – перемещения или деформации подработанной толщи в районе охраняемого объекта от влияния i-ой очистной выработки; n – число очистных выработок, обычно n равно 2; $Д$ – перемещение или деформация пород при полной подработке объекта; K_p, $K_н$ – расчетный и нормативный коэффициенты уменьшения деформации при гармоничной подработке.

5.2.8. Скорость очистного забоя определяет интенсивность развития перемещений подрабатываемого массива: чем выше скорость, тем интенсивней перемещения и наоборот. Плавное, медленное развитие перемещений чаще всего является благоприятным фактором. Роль скорости велика при гармоничной подработке, когда очистные забои двух выработок в одном или двух пластах на заданный момент времени должны занимать определенное положение относительно охраняемого объекта, что возможно лишь при заданном соотношении скоростей забоев.

5.2.9. Определение оптимального варианта подработки и параметров очистных работ производится в следующей последовательности: назначаются предельные деформации и перемещения охраняемых объектов, определяется коэффициент $K_н$, по табл. 5.2 выбираются возможные варианты подработки объекта, удовлетворяющие условию (5.I); для выбранных вариантов подработки определяются параметры очистных работ, производится экономическое сравнение по уровню приведенных затрат выбранных вариантов подработки между собою и с базовым вариантом, при котором порядок ведения горных работ под объектом не ограничивается, а для охраны объектов применяются строительные меры по охране, выбирается оптимальный вариант подработки по минимуму приведенных затрат.

5.3. Сокращение эксплуатационных потерь угля

5.3.I. Целики для охраны подготовительных выработок составляют 80% эксплуатационных потерь. Бесцеликовая подготовка и отработка выемочных полей является основным способом повышения степени извлечения угля. Бесцеликовые схемы подготовки и отработки пластов приводятся в приложении 2. Другими источниками эксплуатационных потерь являются неправильное ведение горных работ (пожары, несоответствие выемочного и проходческого оборудования геологическим условиям, увеличение целиков для охраны выработок сверх нормы, превышение мощности защитных пачек угля); посадка кровли на "ножи"; нарушение пластов, сложные геологические и гидрогеологические условия залегания пластов.

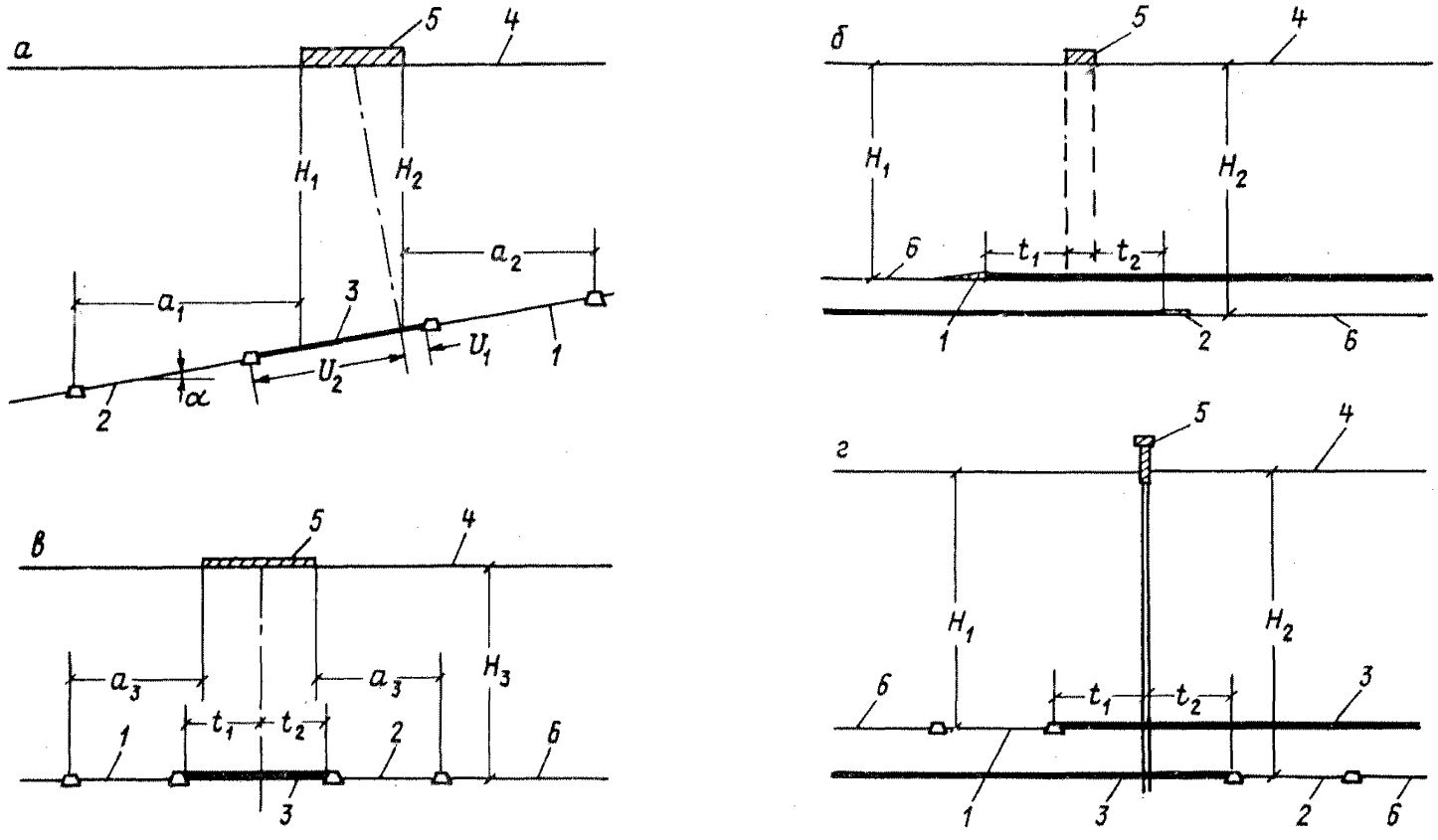


Рис. 5.I. Схема гармоничной подработки двумя лавами I, 2:

а - по простиранию в одном пласта; б - по простиранию в двух пластах; в - вкрест простирания в одном пласте; г - вкрест простирания в двух пластах; 3 - пласт угля, 4 - земная поверхность; 5 - охраняемый объект; 6 - выработанное пространство

5.3.2. Рекомендуется увеличить объем подготовительных выработок, охраняемых без оставления предохранительных целиков [2-7]; производить разработку пластов в соответствии с "Прогрессивными технологическими схемами очистных и подготовительных работ на шахтах" [3]; не допускать оставление целиков и пачек угля в почве и кровле пласта; очистные механизированные комплексы и выемочные машины применять строго в соответствии с мощностью пласта; шире использовать сплошную и комбинированную системы разработки, при которых эксплуатационные потери меньше, чем при столбовой.

5.3.3. Вариант сплошной системы разработки пластов с оставлением породы в шахте и бесцеликовым способом охраны подготовительных выработок приводится на рис. 5.2.

Условия применения: m = 0,6...I,3 м, $\alpha < I6^0$, газоносность любая, глубина до I,5 км. Технико-экономические показатели: нагрузка на забой до 0,7 тыс.т/сут; эксплуатационные потери угля 2-4%, норматив проведения подготовительных выработок от I4 до 33 м/I000 т.

5.3.4. Вариант комбинированной системы разработки пластов с оставлением породы в шахте и бесцеликовым способом охраны подготовительных выработок приводится на рис. 5.3, технико-экономические показатели - в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Показатели	Схема очистного забоя				
	I		II		III
Расчетная вынимаемая мощность пласта, м	I		I		0,8
Угол падения пласта, град	0-I8		0-I8		0-I8
Сопротивляемость угля резанию, кН/см	До 2,5		2,0		2,0
Количество добычных смен	3	2	3	2	3
Суточная добыча угля из очистного забоя, т	I000	800	II00	800	700
Производительность труда рабочего на очистных работах, т на выход	I5	I7	20	2I	II
Эксплуатационные потери угля, %	3-5		3-5		3-5
Объем проведения подготовительных выработок на I000 т, м	4-6		4-6		4-6

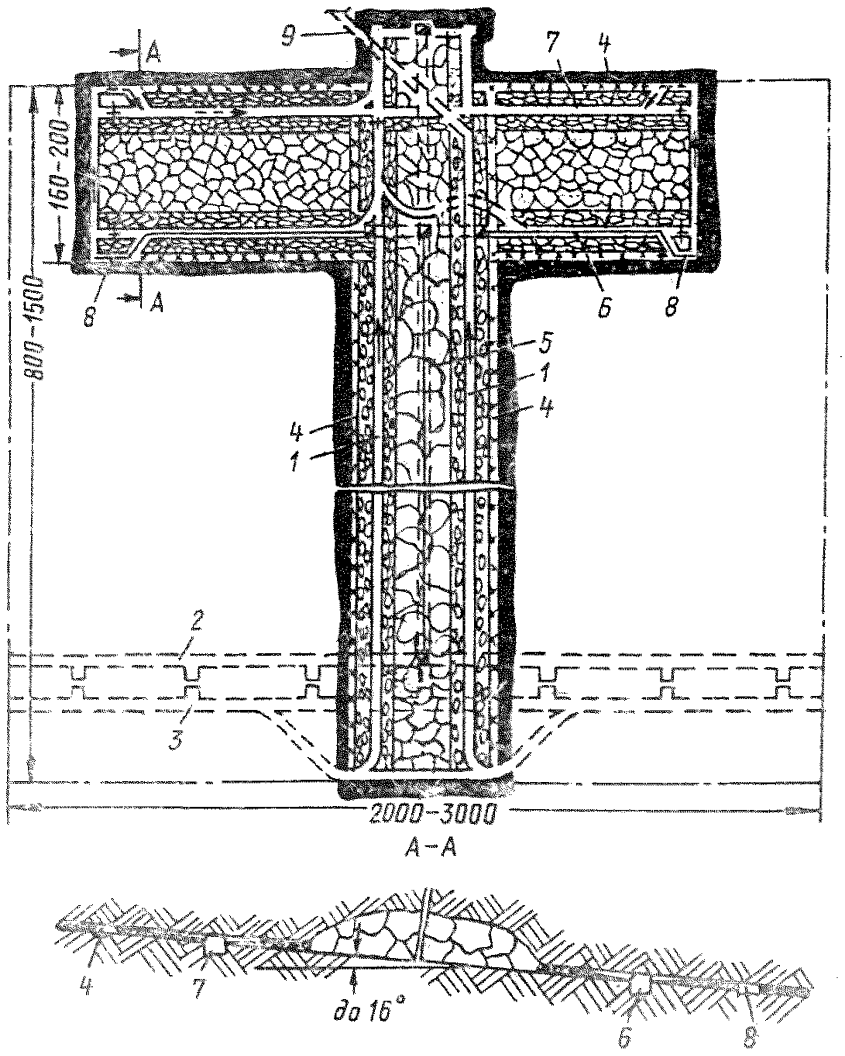


Рис. 5.2. Схема подготовки и система разработки:

1 – панельный вспомогательный бремсберг с дорогой 6ДМК; 2 – главный конвейерный штрек; 3 – вспомогательный штрек; 4 – вентиляционный просек; 5 – полевой бремсберг с конвейером 1ЛБ-100; 6-ярусный штрек с конвейером 2Л-80 и подвесной дорогой 6ДМК; 7 – ярусный вентиляционный штрек с дорогой 6ДМК; 8 – просек с конвейером СПЦ-1; 9 – главный вентиляционный квершлаг.

Условные обозначения: – уголь; – погашенная подготовительная выработка; – породная полоса треугольного сечения; – выработанное пространство; – полевая выработка; – углеспуск, гезенк; – массив вмещающих пород; – свежая струя; – исходящая струя; – вентиляционная перегородка

Примечание. Далее на рис. 5.3, 5.4 даны те же условные обозначения, что и на рис. 5.2.

Примечание. В табл. 5.3 приняты следующие обозначения: I – схема очистного забоя с комбайновыми комплексами очистного оборудования; II – с механизированной крепью и струговыми установками; III – с индивидуальной крепью и струговыми установками.

Выемочная техника и крепь для I схемы: комбайны 1К-101, 2К-101, КА-72, мехкрепи "Донбасс", МК-98; для II схемы: струговые установки СО-75, СН-75, 4СВ, УСТ-2а, УСТ-2м с мехкрепью 1МК-97Д, МК-98С, ЗМКС; для III схемы приняты те же струги, что и во II схеме, но с индивидуальной крепью.

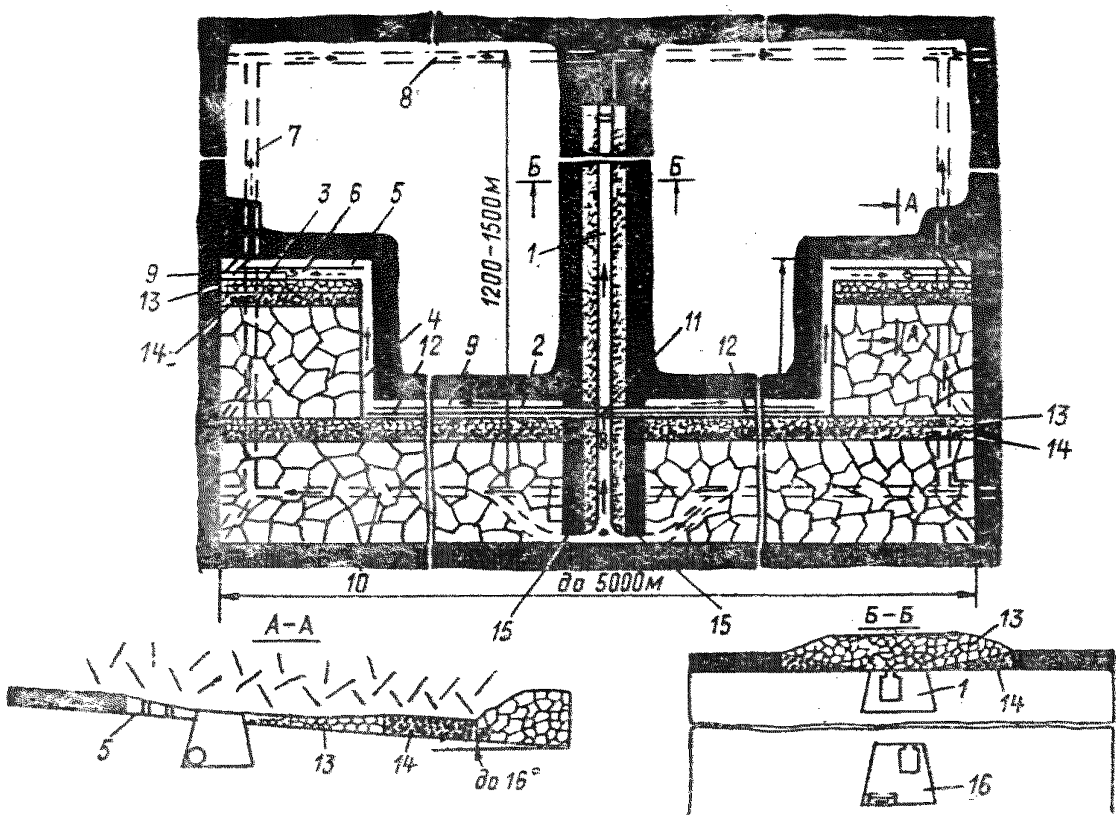


Рис. 5.3. Технологическая схема очистных работ при комбинированной системе разработки по простиранию:

I – пластовый вспомогательный уклон, под которым на расстоянии 5–8 м располагается полевой конвейерный уклон 6; 2 – ярусный конвейерный штрек; 3 – воздуховод от вентилятора местного проветривания для подсвежения исходящей струи из лавы 4; 5 – разгрузочная выработка, обеспечивающая сопряжение с лавой при повторном использовании вентиляционного штрека в качестве конвейерного; 6 – ярусный вентиляционный штрек; 7 – полевой вентиляционный фланговый ходок; 8 – полевой главный конвейерный штрек; 9 – полевая вентиляционная сбойка; 10 – полевой воздухоподающий штрек; 11 – углеспускной гезенк; 12 – ленточный конвейер; 13 – обрушенные породы непосредственной кровли; 14 – породная полоса, выкладываемая комплексом "Титан"; 15 – технологический целик шириной 50, 100 м, погашаемый при доработке панели

5.3.5. Технологические схемы проходки основных подготовительных выработок широким ходом на тонких пологих пластах с оставлением породы в раскоске с опережением угольного забоя даны на рис. 5.4, вслед за угольным забоем – на рис. 5.5.

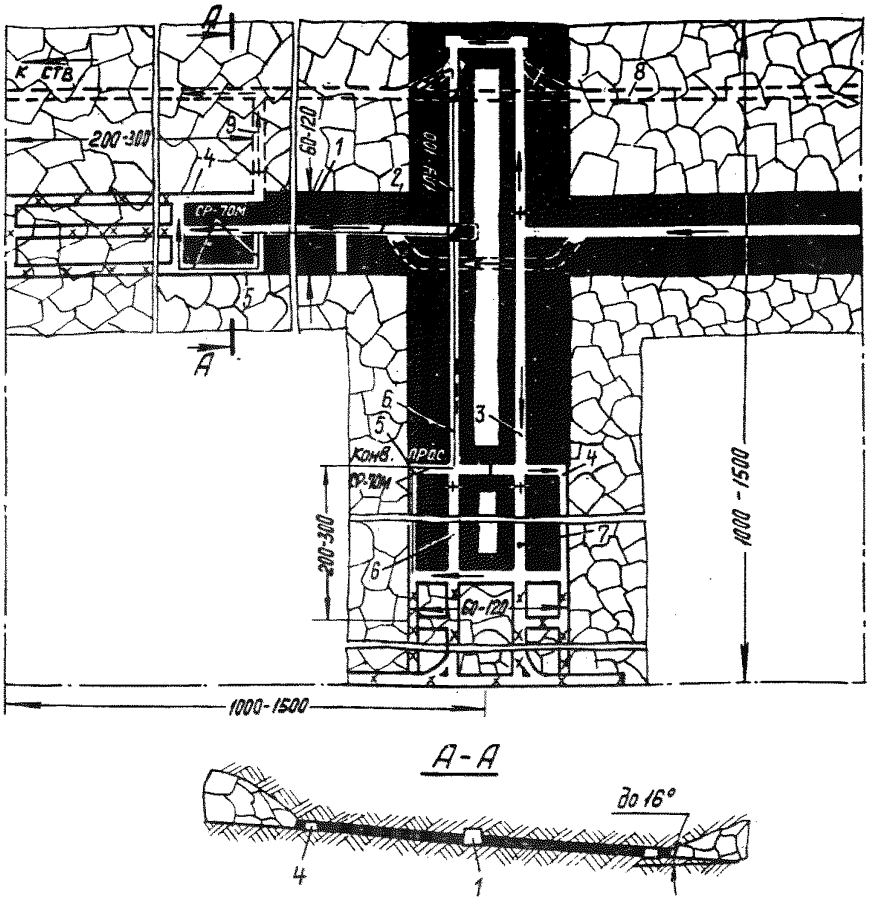


Рис. 5.4. Схема отработки целиков для охраны главного вентиляционного штрека и панельных уклонов:

I – главный вентиляционный штрек; 2 – конвейер 2Л-80;3 – панельный вспомогательный уклон; 4 – вентиляционный просек; 5 – конвейерный просек; 6, 7 конвейерный и вентиляционный ходки; 8 – главный откаточный штрек; 9 – вентиляционная обойка

Технико-экономические показатели схем проходки: трудозатраты по добыче – 5,5 чел.-смен/м, по проходке – I4,5 чел.-смен/м; скорость – 2 м/смена.

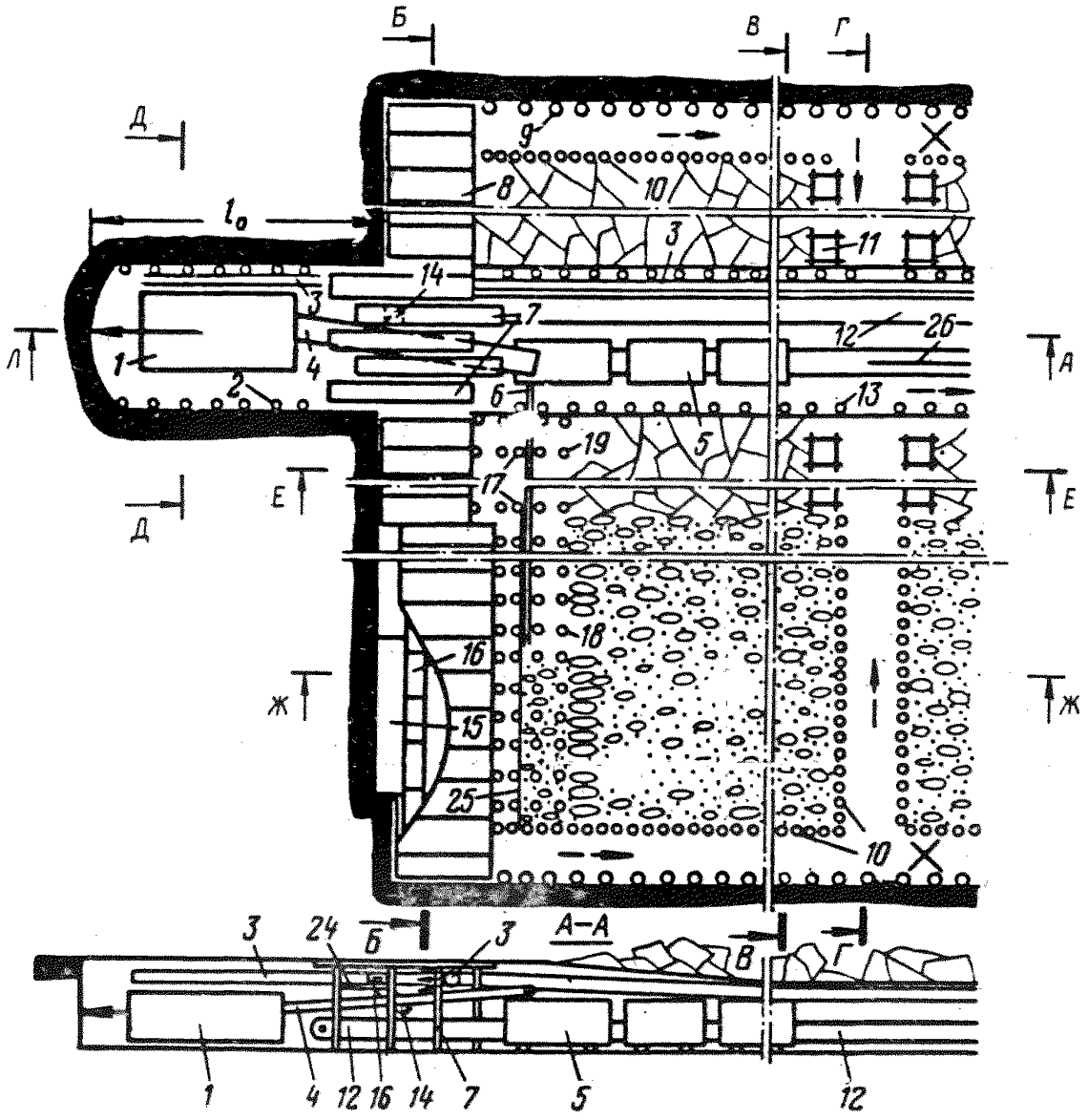


Рис. 5.5. Принципиальная технологическая схема проведения штрека с созданием разгруженной зоны и оставлением породы в шахте:

I - проходческий комбайн со стреловидной режущей головкой 4ШИ-2; 2 - гидравлические стойки ГСК под металлический верхняк; 3 - воздуховод диаметром 500-600 мм; 4 - комбайновый перегружатель; 5 - пневмозакладочный комплекс "Титан"; 6 - закладочный трубопровод;7 - крепь сопряжения угольного забоя со штреком; 8 - механизированная крепь в угольном забое;

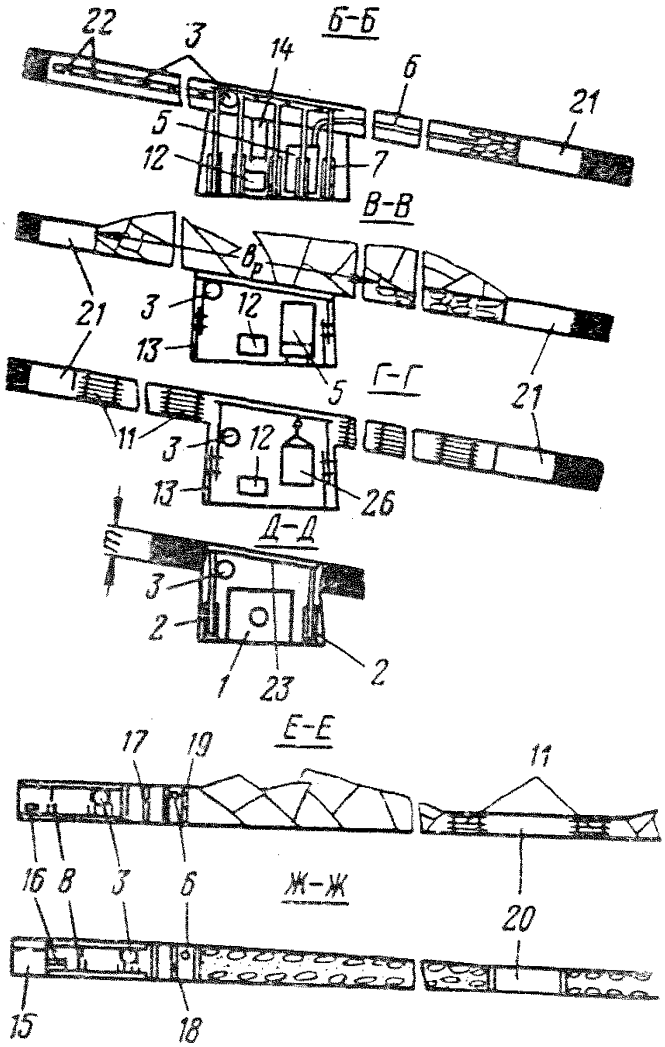


Рис. 5.5. Окончание

9 – деревянная крепь косовичника; I0 – деревянная органная крепь косовичника и печи; II – костровая крепь печи; I2 – ленточный конвейер; I3 – металлическая податливая трапециевидная крепь МИК-4СП; I4 – углеспуск на ленточный конвейер в штреке; I5 – угольный комбайн фронтального действия; I6 – забойный бескребковый конвейер; I7 – металлическая стойка типа ТУ для временного крепления призабойного пространства между бутовой полосой и бермой штрека в районе закладочного трубопровода; I8 – деревянная крепь в зоне закладки; I9 – посадочная крепь; 20 – печь; 2I – косовичник; 22 – вентиляционные сопла воздуховода; 23 – металлический верхняк; 24 – мост конвейерный; 25 – отшивка закладочной заходки; 26 – грузолюдская монорельсовая дорога 6ДМК

5.3.5. Из перечисленных выше мероприятий по снижению потерь угля наиболее эффективным является переход на бесцеликовую охрану подготовительных выработок при различных вариантах столбовой, сплошной и комбинированной систем разработки: с повторным использованием охраняемых без целиков подготовительных выработок, с проведением выработок вприсечку к выработанному пространству, с оформлением выработок позади забоя лавы в выработанном пространстве. Бесцеликовые схемы отработки пластов приводятся в работах [2-7].

5.3.6. Отработка целиков угля у погашаемых подготовительных выработок является одним из существенных резервов повышения полноты извлечения угля. В зависимости от горно-геологических условий, формы, размеров целиков они могут отрабатываться: длинными столбами, камерно-столбовой системой, бурошнековым способом, вслед за лавой.

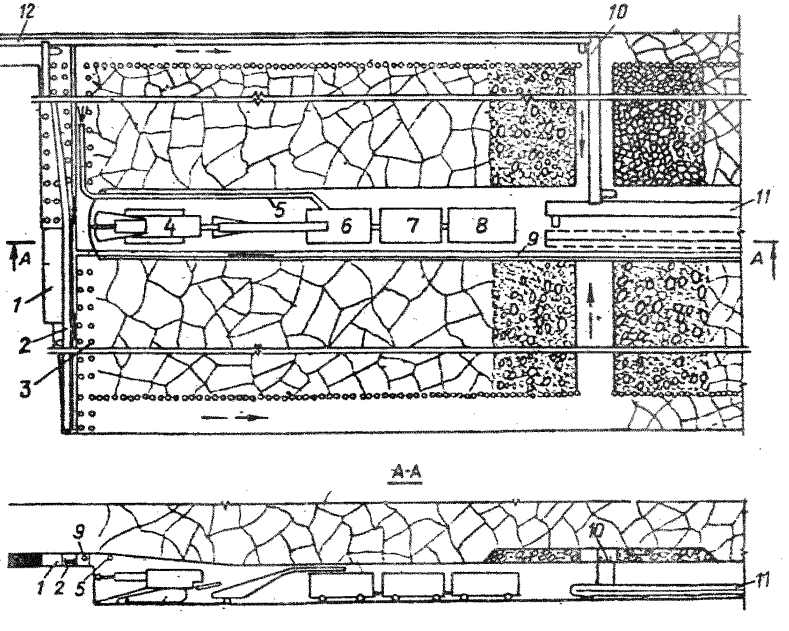


Рис. 5.6. Технологическая схема проходки выработки:

I - угольный комбайн; 2 - бесскребковый конвейер в угольном забое; 3 - крепь угольного забоя; 4 - проходческий комбайн 4ПП-2 или ПК-9р; 5 - пневмозакладочный трубопровод; 6 - дробилка; 7 - воздуходувка; 8 - маслостанция закладочного комплекса "Титан"; 9 - воздухопровод; I0 - бесскребковый конвейер печи; II - ленточный конвейер IЛ-80; I2 - бесскребковый конвейер косовичника

Основная особенность систем отработки целиков: малые размеры (по сравнению с обычными очистными работами) выемочных полей особенно по ширине целиков; необходимость переходить старые выработки (печи, сбойки), где пласт обычно раздавлен; неустойчивая кровля; сложное поддержание выработок у кромок целика. Все это в ряде случаев резко снижает технико-экономические показатели горных работ в целиках по сравнению с обычными условиями. В связи с этим предпочтительны системы разработки, исключающие необходимость оставления и последующего погашения целиков либо предусматривающие временное оставление целиков больших размеров (80-150 м) с обязательной их отработкой полноценными лавами с высокими технико-экономическими показателями (рис. 5.6).

5.4. Охрана запасов угля сильнонарушенных месторождений

5.4.1. К сильнонарушенным месторождениям относятся Анжеро-Судженское и Осинниковское в Кузбассе, Ткварчельское и Ахалцикское в Грузии, Углегорское на Сахалине, Сучанское в ПО "Приморскуголь", Еманжелинское в Челябинской обл., отдельные участки пластов в Донбассе и других бассейнах.

Вследствие нарушенности пластов часть запасов шахты списывают в забалансовые. Так, объем этих запасов в ПО "Сахалинуголь" составляет около 20% балансовых запасов шахт, в Ткварчели - более 50%, а в целом по отрасли - около 5%. Это ощутимый резерв для повышения полноты извлечения угля из недр при условии применения таких способов вскрытия, подготовки и отработки нарушенных пластов, которые бы учитывали сложные горно-геологические условия.

Основные причины больших потерь угля нарушенных месторождений при применении традиционной технологии работ с длинными очистными забоями:

небольшая площадь и неправильная форма участков пластов между нарушенными зонами, вследствие чего при прямоугольной форме выемочных полей часть пластов у нарушений теряется;

необходимость оставления ленточных барьерных целиков угля у зон нарушений;

экономическая нецелесообразность выемки небольших участков, размеры которых меньше длины лавы из-за большого объема подготовительных работ.

5.4.2. Основные направления по совершенствованию технологии добычи в целях повышения полноты извлечения угля из нарушенных месторождений:

применение схем вскрытия и подготовки шахтных полей с правильной сеткой основных выработок;

применение систем разработок с коротким очистным забоем и универсальным комплексом оборудования, пригодным как для подготовительных, так и очистных работ в пределах выемочных полей непрямоугольной формы;

очистные и проходческие механизированные комплексы оборудования должны обладать возможностью разворота в плоскости пласта и переходить нарушенные зоны без перемонтажа оборудования.

Экономическая оценка целесообразности отработки нарушенных месторождений заключается в сопоставлении дополнительных текущих затрат и убытков, вызываемых изменением технологии добычи угля на нарушенных участках с суммарной экономической ценностью запасов угля на этих участках.

5.4.3. Оценка степени нарушенности пласта производится с помощью показателя $K_g = \ell / S$, где ℓ - суммарная протяженность всех дизъюнктивных нарушений в пределах выемочного участка, м; S - площадь участка, га.

5.4.4. Вскрытие новых горизонтов нарушенных месторождений рекомендуется производить правильной сетью главных выработок (штреков и квершлагов). Одна система выработок проводится параллельно общему простиранию пластов. Другая система проводится перпендикулярно выработкам первой системы.

На вытянутых по простиранию месторождениях роль сборных выработок на каждом горизонте выполняют полевые магистральные штреки (основной и вспомогательный). Если размер месторождения вкрест простирания больше, чем размер по простиранию, то главными сборными выработками являются квершлаги, от которых отходят этажные штреки.

Шахтное поле разделяется на блоки, вскрываемые блочными квершлагами. Расстояние между ними выбирается равным наиболее вероятному размеру изолированного нарушениями участка пласта по простиранию. На различных горизонтах квершлаги проходятся в одной вертикальной плоскости и сбиваются слепыми стволами или гезенками. Наклонная высота этажа принимается равной среднестатистическому размеру участков пластов по падению (рис. 5.7).

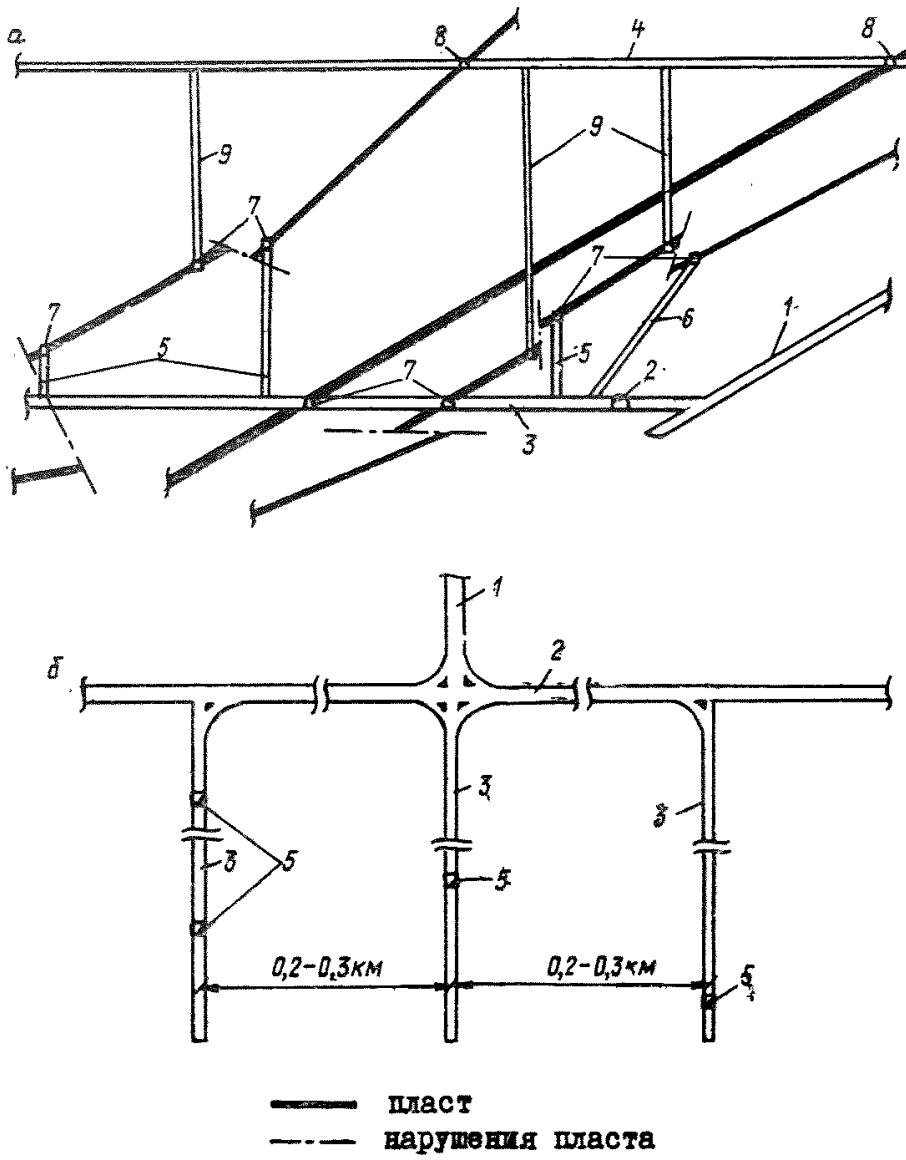


Рис. 5.7. Схема вскрытия нового горизонта шахты, разрабатывающей сильно нарушенное месторождение:

а – вертикальный разрез этажа; *б* – план транспортного горизонта; I – наклонный ствол; 2 – этажный штрек; 3 – этажный откаточный квершлаг; 4 – вентиляционный квершлаг; 5 – вертикальный грузовой гезенк; 6 – наклонный грузовой гезенк; 7 – выемочный штрек; 8 – вентиляционный штрек; 9 – вентиляционный гезенк

Изолированные участки пластов, нижняя граница которых выше транспортного горизонта, вскрываются наклонными или вертикальными гезенками, а если их граница не выше транспортного горизонта, то они подсекаются горизонтальной выработкой из главных блочных квершлагов. Этажи могут делиться на подэтажи промежуточными квершлагами из гезенков (рис. 5.8).

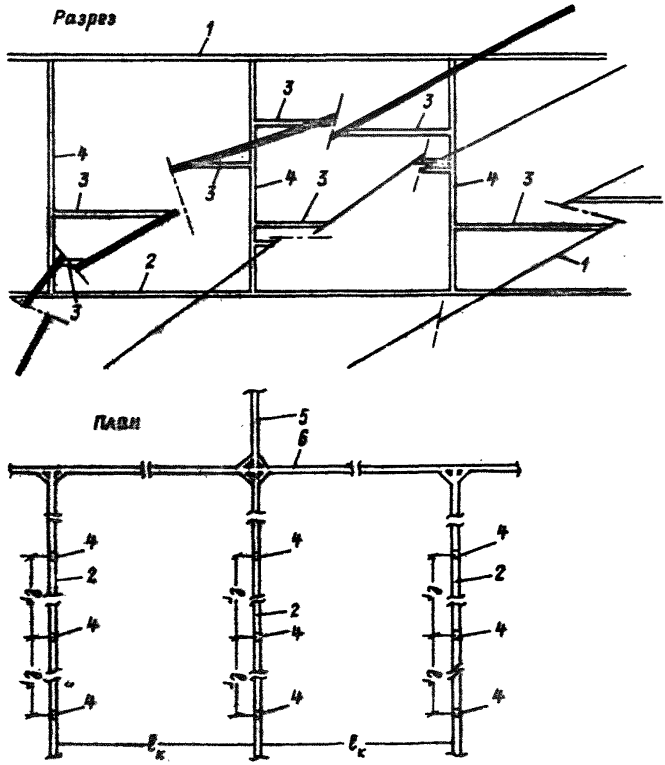


Рис. 5.8. Схема вскрытия новых горизонтов правильной сеткой этажных квершлагов, гезенков и подэтажными квершлагами:

I - вентиляционный квершлаг; 2 - этажный откаточный квершлаг; 3 - подэтажный квершлаг; 4 - междуэтажный гезенк с транспортным и людским отделениями; 5 - наклонный ствол; 6 - этажный штрек; $l_к$ - расстояние между квершлагами; $l_г$ - расстояние между гезенками

Выемочные штреки, оконтуривающие очистные работы в отделенных нарушениями участках пластов, проводятся на пологих пластах из гезенков, а на наклонных и крутых - из промежуточных квершлагов или гезенков. На пологих пластах гезенки проходят через 180-200 м в зонах минимального влияния горных работ. Например, для ПО "Сахалинуголь" в условиях Мгачинского месторождения расстояние между капитальными квершлагами (длина блока) принимается равным 0,3 км, т.е. среднему размеру участка пласта в пределах непереходимых нарушений (табл. 5.4).

Изолированные нарушениями участки пласта, не вскрытые капитальным квершлагом, вскрываются полевыми штреками, вертикальными или наклонными гезенками, проходимыми от главных блочных квершлагов.

Таблица 5.4

Пласт	Общее число выемочных полей	Число выемочных полей по простиранию длиной, км			
		более 0,5	0,5-0,1	0,1-0,05	менее 0,05
I	12	-	11	I	-
УП	34	-	12	9	13
IУВ	24	-	7	8	9
I3	25	I	8	II	5
УI	2I	-	8	7	6
Всего:	116	I	46	36	33
%	100	I	40	3I	28

5.4.5. Выбор системы разработки участков пластов, изолированных непереходимыми очистными забоями нарушениями, производится по таблице 5.5 в зависимости от показателя нарушенности K_g и от длины выемочного поля.

Таблица 5.5

Показатель нарушенности K_g, м/га	Длина выемочного поля, км	Система разработки
До 50	Более 0,5	Длинными столбами с разворотом мехкомплекса
50-150	0,5-0,2	Длинными полосами с разворотом мехкомплекса или камерно-столбовая
Более 150	0,1-0,2	Камерная

Участки нарушенных пологих пластов средней мощности, размером 0,2–0,5 км могут отрабатываться длинными полосами по восстанию, падению или по диагонали (длина забоя 10–45 м) с разворотом очистного комплекса или с перемонтажом (рис. 5.9). Для транспорта угля от забоя рекомендуется конвейер СР-70, для вспомогательного транспорта – монорельсовые дороги 4ДМ или 6ДМ. Подготовительные пластовые выработки проходятся тем же комплексом оборудования при длине забоя 4–5 м с подрывкой боковых пород при малой мощности пласта. Крепь восстающих выработок – анкер-винты и переносные металлические стойки трения типа Т с несущей способностью 30 т. Выработки проходятся по периметру участка, обеспечивая промышленную разведку выемочного поля. Очистные работы в условиях малых выемочных полей производятся с разворотом комплекса на 180^0 без демонтажа оборудования и без оставления межлавных целиков угля. В коротком забое используется универсальное оборудование как для подготовительных, так и для очистных работ на базе секций механизированных крепей, скребкового забойного Г-образного конвейера и выемочной машины. Последняя может быть либо 2-шнековым очистным комбайном (рис.5.9) или выполняется в виде телескопического исполнительного органа с резцовой коронкой комбайна ПК-3Р или К-56М, смонтированной на секции крепи.

Расчетная нагрузка на очистной забой 600–900 т/сутки, производительность труда рабочего очистного забоя около 20 т/выход, эксплуатационные потери угля – 5%.

Изолированные участки пластов малых размеров для $K_{\tilde{g}}$ = 50...150 м/га (табл. 5.5) при невозможности перехода зон нарушений очистным забоем могут отрабатываться камерно-столбовыми системами. Отработку нарушенных участков пласта, характеризуемых коэффициентом $K_{\tilde{g}} \geq 150$ м/га, следует производить камерами.

5.5. Охрана угольных пластов от вредного влияния очистных работ

5.5.1. Вредное влияние очистных работ на сохранность запасов угля может проявиться в нарушении природного залегания, затоплении или самовозгорании подрабатываемых пластов.

5.5.2. При разработке сближенных пластов необходимо учитывать их взаимное влияние и планировать меры по его устранению или смягчению. Если расстояние между сближенными пластами по

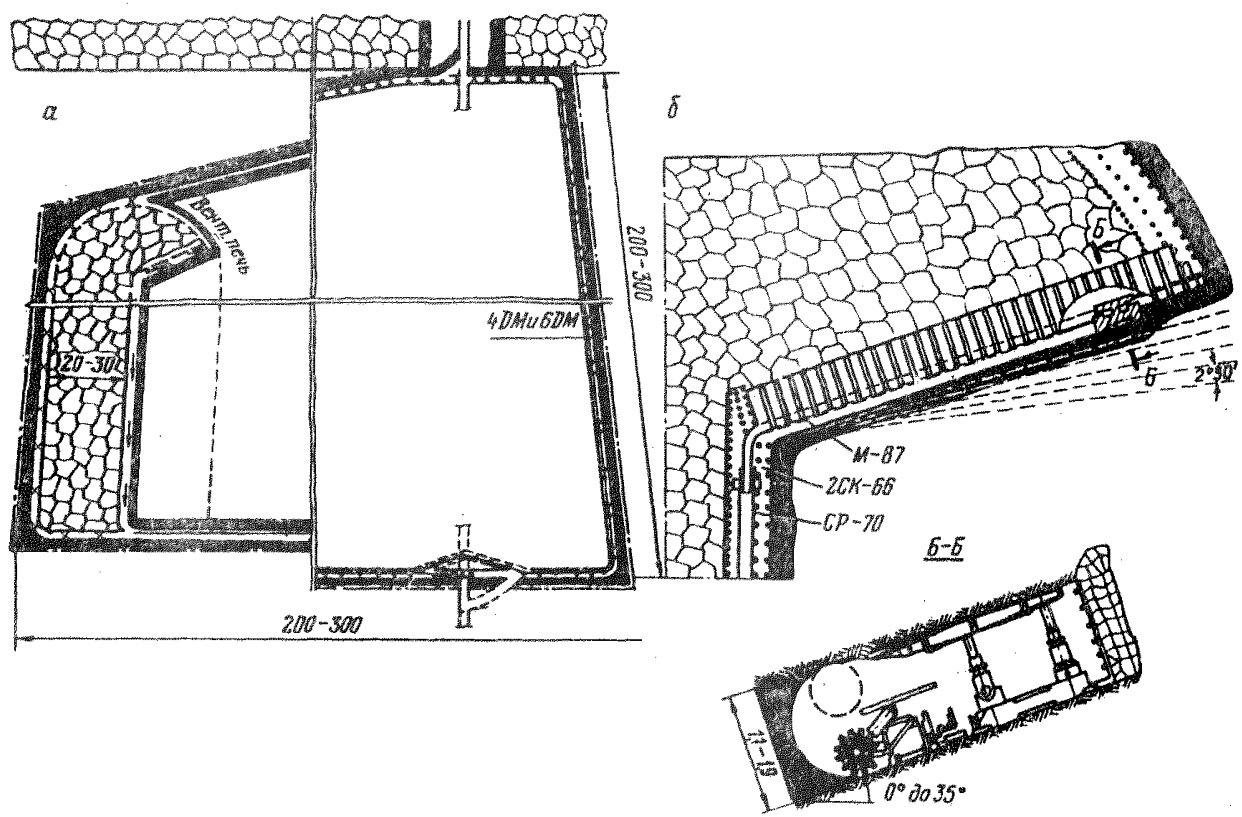


Рис. 5.9. Схема подготовки и система разработки полосами по восстанию и падению двухшнековым очистным комбайном:

а - план горных работ; б - схема очистного забоя. Условные обозначения; ⌒⌒ - выработанное пространство, ═══ пластовые подготовительные выработки; ═x═ погашенные выработки; -•-•- монорельсовая дорога; ○ ○ ○ индивидуальная металлическая крепь; ——→ свежая струя; ◪ газенк; = = = полевые выработки

нормали к напластованию не превышает мощности зоны беспорядочного обрушения кровли ($N = m/n-1$) нижнего пласта, то разработка их должна производиться в нисходящем порядке, иначе верхний пласт окажется в зоне беспорядочного обрушения слоев непосредственной кровли нижнего пласта, сплошность верхнего пласта будет нарушена трещинами разлома и беспорядочными смещениями отдельных блоков. Условия разработки нарушенного пласта будут ухудшены. Поскольку значения коэффициента разрыхления пород непосредственной кровли n колеблятся от 1,1 до 2,0, то критическая мощность междупластья может колебаться от $10m$ до $0,5m$, где m - рабочая мощность нижнего пласта. Коэффициент разрыхления пород устанавливается опытным путем.

5.5.3. Если расстояние между верхним и нижним пластом больше N , (см.рис.2.1), то согласно табл.2.1 он попадает в зоны Б и В влияния очистных работ нижнего пласта. В этом случае его геомеханические преобразования можно описать уравнениями (2.8) - (2.10). По мере движения очистного забоя в нижнем пласте верхний пласт попадает вначале в зону В повышенного опорного давления и сдвигов, затем в зону Б разломов, расслоения и упорядоченного перемещения слоев основной кровли по нормали к напластованию. При этом после завершения активной стадии перемещений в зоне В трещины разломов и расслоения слоев основной кровли закрываются, восстанавливается плотная упаковка породных блоков и первоначальный угол залегания пласта.

В этом случае разработку пластов можно производить в любом порядке, однако с таким расчетом, чтобы очистные выработки верхнего пласта были за пределами опасной зоны В нижнего пласта, так как там условия проведения выработок осложнены повышенным горным давлением. Координаты границ опасного участка могут быть найдены из выражений, приведенных в табл. 2.1 для внутренних границ зоны В (в формулах знак неравенства отбрасывается). В зоне Б верхний пласт наоборот оказывается в благоприятных условиях пониженного горного давления и дегазации вследствие предварительного разрыхления вмещающих пород. Поэтому одновременную разработку двух пластов нужно производить с опережением в плане очистных забоев в нижнем пласте на величину Q_c . При отработке пластов, расстояние между которыми равно h, опережение определяется по формулам:

по простиранию $Q_t = Q_c$,

по восстанию $Q_\beta = (Q_\beta + h\,tg\,\alpha)\cos\alpha$,

по падению $Q_n = (Qa - h\,tg\,\alpha)\cos\alpha$,
где Q, a, β, c – параметры очистных работ нижнего пласта.

5.5.4. При проведении горных работ необходимо обеспечить охрану пластов угля от затопления и обводнения. Безопасные условия ведения горных работ под водными объектами регламентируются правилами безопасности и правилами охраны объектов [I].

Основное условие охраны угольных месторождений от затопления:

$$h \geq \ell/(a+\beta),$$

где h – расстояние по нормали к напластованию от разрабатываемого пласта до водного объекта; ℓ – длина лавы.

6. ОХРАНА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

6.I. Основные требования

6.I.I. Земная поверхность состоит из природной среды и сооружений, созданных человеком. Природная среда включает: биологическую среду (почва, животный и растительный мир); литологическую среду (четвертичные осадочные отложения или наносы, выходы коренных пород, залежи полезных ископаемых; гидрологическую среду (реки, ручьи, озера, подпочвенные воды, болота и т.п.).

Основное требование к охране застроенных территорий заключается в обеспечении безопасности населения.

6.I.2. Цель охраны застроенной территории – обеспечение эксплуатационной надежности сооружений при минимальных расходах на защитные мероприятия. Это достигается в том случае, если влияние горного фактора совместно с влиянием других обычных факторов, не вызовет предельного состояния сооружения.

6.I.3. Предельными являются состояния, при которых конструкция или основание перестают удовлетворять предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям, т.е. теряют способность сопротивляться внешним воздействиям или получают недопустимые деформации или местные повреждения. Различаются следующие предельные состояния сооружений: а) первое предельное состояние – по несущей способности (прочности, устойчивости, выносливости); б) второе предельное состояние – по деформациям; в) третье предельное состояние – по трещиностойкости (образованию или раскрытию трещин).

6.I.4. Для обеспечения сохранности сооружений и безопасности населения в районах подземной разработки угольных месторождений необходимо, чтобы перемещения и деформации земной поверхности не превышали предельных, вызывающих предельное состояние и разрушение объекта. Это условие в аналитической форме выражается рядом неравенств:

$$m(N_r + \Sigma N) \leq \Phi \; ; \qquad (6.I)$$

$$\Delta_r + \Sigma\Delta \leq \Delta_{max} \; ; \qquad (6.2)$$

$$S_r + S_т \leq S_п \; , \qquad (6.3)$$

где Φ – функция, определяющая несущую способность конструкций (основания); Δ_{max} – предельная деформация сооружения, неприемлемая по условиям его нормальной эксплуатации; $S_т$, S_r, $S_п$ – раскрытие трещин соответственно до подработки, при подработке и предельно допустимое раскрытие трещин в сооружении (конструкции); N_r – группа дополнительных внутренних усилий в конструкции (сооружении), вызванная перемещениями земной поверхности; ΣN – сумма расчетных усилий в конструкции, не зависящих от подработки, увеличивающих усилия от подработки; $\Sigma\Delta$ – сумма перемещений сооружения (конструкции, элемента), не зависящих от подработки; Δ_r – перемещение сооружения (конструкции, элемента), вызванное подработкой; m – коэффициент, учитывающий особое сочетание нагрузок от влияния горных выработок.

6.I.5. Способы определения вызванных влиянием горных работ воздействий на сооружения: дополнительных усилий, перемещений и деформаций – регламентируются указаниями и руководствами [8–II].

6.2. Допустимый уровень преобразований земной поверхности

6.2.I. Преобразования земной поверхности (см. табл. 4.I) определяются ее перемещениями и деформациями в характерных сечениях. Понятие об уровнях преобразований среды вытекает из требований безопасности, экономики, экологии. Первый, самый низкий уровень преобразований среды (незаметные преобразования), неопасен для человека, экономические последствия – незначительны. Последний, самый тяжелый уровень (разрушительные преобразования) нарушает среду обитания человека, опасен для его жизни, экономи-

ческие последствия - максимальны. Между этими крайними уровнями может быть ряд промежуточных, при которых вредные преобразования нейтрализуются мерами по охране среды. Количественная характеристика допустимого уровня преобразований обусловлена типом среды.

6.2.2. Допустимый уровень преобразований застроенных территорий приводится в таблице 6.I в виде предельно допустимых значений горизонтальных деформаций земной поверхности ε и наклонов i. Допустимые и предельные деформации подрабатываемых зданий и сооружений приводятся в Правилах охраны [I]. Если ожидаемый уровень преобразований территории, застроенной объектами соответствующего типа, не будет превышать пределов, указанных в таблице 6.I, то его можно считать безопасным и допустимым.В противном случае объекты подлежат охране.

6.2.3. Допустимый уровень геомеханических преобразований территорий, занятых сельхозугодьями и лесами, устанавливается из условия сохранения плодородного почвенного слоя земли и гидрологической обстановки в зоне влияния шахт.

6.2.4. Разрушение сельхозугодий происходит при затоплении просевшей территории, а также при образовании провалов, уступов, воронок при тяжелом и очень тяжелом типе геомеханических преобразований земли. В том случае, если горные работы ведутся в условиях, обеспечивающих легкий и средний тип повреждения земной поверхности (табл. 3.I), они не опасны для природы.

6.2.5. Наиболее распространенной причиной гибели сельхозугодий и лесов является затопление, заболачивание или переувлажнение почвы. Допустимый уровень осадки территории по условию защиты ее от затопления разлившимися водными объектами имеет вид

$$H \geq \eta ,$$

где H - перепад высот территории и зеркала водного объекта; η - ожидаемая осадка территории.

Допустимый уровень осадки территории по условию защиты ее от переувлажнения при повышении уровня грунтовых вод имеет вид

$$h > \eta ,$$

где h - разность уровня грунтовых вод до подработки и уровня; допускаемого агротехникой для лесов, полей, лугов и т.п.; η - ожидаемая осадка территории.

Таблица 6.I

Предельные деформации земной поверхности

Объект охраны на земной поверхности	Значения деформаций, увеличенные в I000 раз	
	$\varepsilon_п$	$i_п$
Подземные резервуары и отстойники длиной ℓ, м:		
железобетонные	$70/\ell$	–
каменные с железобетонной рубашкой	$25/\ell$	–
Гражданские бескаркасные здания	$a_{п.к}/K_{п.к}\ell$ *)	–
Телевизионные и радиорелейные башни высотой,м:		
менее 50	–	6
более 50	–	4
Открытые понизительные подстанции:		
на 220 кВ и более	8	II
на II0 кВ и менее	I0	I4
Бункеры	I0	–
Промышленные печи длиной ℓ, м:		
коксовые батареи	$I50/\ell$	3
гофманские печи	3	–
Литейные цеха	5	–
Водопроводные узлы с резервуарами	0,5	–
Промышленные здания с металлообрабатывающим оборудованием	5	–
Трубопроводы сварные	0,5	–
Трубопроводы самотечные	–	$i_к$ **)
Каркасные одноэтажные здания, длиной ℓ, м	$I250\ м/\ell$	–
Котельные	–	5
Здания, оборудованные мостовыми кранами, длиной ℓ, м	$20\ м/\ell$	4
Сооружения башенного типа	–	I4
Железные дороги	–	$i_д$ ***)

*) Параметры $a_{п.к}$ и $K_{п.к}$ приводятся в табл. 4.2.

**) $i_к$ – величина уклона трубопровода.

***) $i_д$ – допустимое изменение уклона пути по условиям эксплуатации железных дорог.

6.2.6. Допустимый уровень влияния горных выработок на леса имеет вид $H_1/m \geq 20$ при $H_1 > 30$ м.

6.2.7. Допустимый уровень засорения территорий отходами производства устанавливается на основании допустимых санитарных норм загрязнения окружающей среды, экономики и технологии горного производства, а также требованиями законодательства СССР и союзных республик о недрах по рациональному использованию отходов производства и правильному их размещению.

6.3. Классификация и выбор мер по охране земной поверхности

6.3.1. Охрана земной поверхности зависит от типа и уровня преобразований среды, от типа охраняемых объектов, их социального, хозяйственного, экологического значения.

6.3.2. Преобразования земной поверхности разделяются на денудационные (мульды, провалы, воронки, трещины) и на аккумулятивные (отвалы, насыпи, дамбы).

По степени опасности для человека преобразования делятся на безопасные и опасные. При безопасном уровне преобразований эксплуатационная надежность сооружений не нарушается, при опасных - нарушается. Значения допустимых уровней преобразований приведены в п.6.2.2.

По степени повреждения среды преобразования делятся на легкие, средние и тяжелые. Легкий уровень преобразований (см. табл. 4.1) не требует изменения режима эксплуатации или использования объекта охраны, не требуется изменение технологии горного производства.

Тяжелый уровень преобразований ведет к разрушению земной поверхности, образованию на ней провалов, воронок, трещин, отвалов. Для предотвращения тяжелого уровня преобразований требуется изменение технологии горного производства, в противном случае прекращается эксплуатация или использование объекта охраны. Для локализации среднего уровня преобразований требуется применение различных мер по охране.

6.3.3. Меры по охране обусловлены типом охраняемых объектов и уровнем преобразования среды. Они предусматривают охрану застроенных территорий и охрану природных комплексов (лесов, сельхозугодий, неиспользуемых участков земли).

Меры охраны по типу воздействия на среду делятся на три категории, направленные: а) на снижение уровня преобразований земной поверхности; б) на повышение сопротивляемости объектов охраны преобразованиям земной поверхности; в) на ликвидацию последствий вредных преобразований земной поверхности.

6.3.4. Снижение уровня преобразований земной поверхности достигается изменением технологии горных работ (горных мероприятий). Горные мероприятия должны уменьшать деформации земной поверхности до пределов, являющихся безопасными для рассматриваемых типов сооружений. К числу горных мероприятий относятся: а) рациональное расположение очистных выработок, обеспечивающее на земной поверхности в пределах расположения подрабатываемого объекта наименьшие деформации от отдельно взятой очистной выработки, либо компенсацию деформаций от влияния нескольких выработок, проводимых одновременно в одном, двух и более пластах; б) неполная (частичная) отработка угольных пластов как по площади, так и по мощности: в) применение полной или частичной закладки выработанного пространства; г) оставление предохранительных целиков.

6.3.5. Можно повысить сопротивляемость подрабатываемых сооружений вредным преобразованиям, изменив режим эксплуатации объекта или защитив его с помощью строительных мероприятий, направленных на повышение их прочности и устойчивости или на снижение деформаций конструкций, уменьшение силового воздействия на них деформирующегося грунта.

6.3.6. Изменение режима эксплуатации предусматривает: устройство дублирующих сооружений, создание аварийных бригад, необходимых запасов материалов и оборудования для быстрой ликвидации перебоев в работе предприятия; организацию контрольных и инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности и конструкциями в районе подработки.

6.3.7. Строительные мероприятия имеют цель обеспечить условия сохранения эксплуатационной надежности. Обеспечить прочность и устойчивость подрабатываемых сооружений согласно условию (6.1) можно за счет повышения прочности или устойчивости конструкций либо уменьшения горных нагрузок, а также при изменении условий эксплуатации объекта с целью снижения других нагрузок. Согласно условию (6.2), охрану сооружений можно обеспечить либо увеличивая нормативную гибкость конструкций, либо снижая деформации грунтов в их основании, вызванные подработкой.

Строительные мероприятия разделяются на группы. Первая группа включает мероприятия, способствующие повышению жесткости, прочности сооружения: устройство поясов и тяжей в стенах и дополнительных связей по подошве фундаментов; усиление сварных стыков трубопроводов; усиление пролетных строений.

Вторая группа включает мероприятия, обеспечивающие податливость сооружения и снижение дополнительных нагрузок, вызываемых подработкой: разрезку на отсеки путем введения деформационных швов, компенсаторов, шарниров, ослабление жестких узлов, связей, разрезку трубопроводов. Эти мероприятия предназначаются для локализации деформаций и перемещений конструктивных элементов в определенных наиболее удобных, безопасных узлах и сечениях.

Третья группа включает мероприятия по изменению физико-механических свойств грунтов основания, способствующие снижению горных нагрузок; применение искусственных засыпок трубопроводов и пазух у фундаментов, укрепление оснований путем силикатизации, цементации и др.

Таблица 6.2

Тип и уровень преобразований	Тип охраняемой территории	Меры по охране
Денудационный (вымки, провалы, карьеры, воронки, мульды):		
легкий	Застроенные площади	Не требуются
	Природные комплексы	
средний	Застроенные площади	Строительные, восстановительные или сельскохозяйственные
	Природные комплексы	
тяжелый	Застроенные площади	Горные или рекультивация
	Природные комплексы	
Аккумулятивный (конусообразные и плоские отвалы)	Территории, планируемые под отвалы или занятые отвалами пустой породы	Рекультивация отвалов, оставление породы в шахте

Четвертую группу представляет мероприятие, способствующее уменьшению деформаций грунта основания подрабатываемых сооружений, - устройство компенсационных траншей. Это приводит к локализации деформаций грунта в траншеях и уменьшению изгиба, растяжений или сжатий грунта на площадках, ограниченных подошвой фундаментов.

Последствия вредных преобразований ликвидируются путем рекультивации земли, ремонта и восстановления поврежденных сооружений. Охрана сельхозугодий и лесов производится применением сельскохозяйственных мероприятий: биологической рекультивации, изменения порядка землепользования, мелиораций и т.п.

Меры по охране выбираются в зависимости от типа и уровня преобразований земной поверхности и типа охраняемой территории по табл. 6.2.

6.3.8. Выбор мер по охране природных комплексов может быть сделан только на основе технико-экономического сравнения альтернативных вариантов последствий хозяйственной деятельности человека [I2]. Такими вариантами для экономических расчетов могут быть: эксплуатация шахты без учета требований по охране земли, приводящая к некоторому ухудшению потребительских свойств земли; эксплуатация шахты с учетом требований по охране земли, приводящая к удорожанию угля по сравнению с первым вариантом и к некоторому (меньшему, чем в первом варианте) ухудшению потребительских свойств земли; эксплуатация шахты в сочетании с рекультивацией земли.

В этих вариантах основным экономическим критерием является стоимость нарушаемых сельхозугодий [I2]. Норматив стоимости характеризует экономический ущерб от полного изъятия земли из сельскохозяйственной сферы. В условиях подземной разработки это соответствует образованию провалов, затоплению, заболачиванию. Наряду с этими экстремальными случаями существует широкий спектр промежуточных форм нарушения сельхозугодий, характеризуемых лишь частичной потерей потребительских свойств земли. Возьмем за основу классификацию уровней преобразования земли и оценим легкий уровень 3 баллами, средний - 6 баллами, тяжелый - 9 баллами. Частичная потеря потребительских свойств земли при легком типе преобразований (см.табл.3.I) составит не более 30%, при среднем - от 30 до 60%, при тяжелом и очень тяжелом типа - от 60 до I00% норматива.

Удорожание угля за счет применения горных мероприятий может быть получено путем осмечивания дополнительных работ. Стоимость рекультивации является функцией от объема и технологии горных работ [I2]. Экономические потери от консервации запасов находят по отраслевой методике [I3] в функции от объема, качества запасов угля, региона и себестоимости угля на шахтах-аналогах.

Основная горная задача, возникающая при выборе оптимального варианта охраны сельхозугодий, заключается в разработке приемлемых для шахт способов уменьшения вредного влияния на земную поверхность и их экономической оценке.

6.3.9. Выбор мер по охране застроенных участков производится по условию безопасности (5.I) и по экономическим соображениям при сравнении горных, строительных, профилактических и восстановительных вариантов.

В зависимости от размеров, формы, конструкции и расположения зданий и сооружений застроенные территории делятся на четыре группы, приведенные в табл.6.3.

Таблица 6.3

Класс застройки	Характер застройки	Расположение сооружений на шахтном поле	Чувствительность сооружений к подработке
I	Городские районы, поселки, группы коммунальных и промышленных объектов большой площади	Под большей частью шахтного поля или блока	Предельные деформации и перемещения примерно равны во всех направлениях. Чувствительны к горизонтальным деформациям, наклонам и искривлению земной поверхности
II	Отдельные здания, сооружения и их небольшие группы	Над меньшей частью шахтного поля в пределах этажа, панели	
III	Сооружения башенного типа	Занимают незначительную часть шахтного поля	Чувствительны к наклонам земной поверхности
IУ	Вытянутые в плане отдельные здания, сооружения, коммуникации, ленточные группы объектов с общей продольной осью	Пересекают шахтное поле: вкрест простирания по простиранию диагонально простиранию	Особенно чувствительны к перемещениям грунта вдоль продольной оси

Подработка объектов без мероприятий по защите разрешается лишь в том случае, если уровень преобразований среды ниже безопасного или стоимость мероприятий превышает убытки, вызываемые подработкой за счет восстановительного ремонта, временной консервации объекта на период протекания процесса сдвижения земной поверхности и производства ремонтных работ, сокращения выпуска продукции и др.

6.4. Определение параметров очистных выработок по фактору охраны среды

6.4.I. Безопасный уровень преобразований земной поверхности обеспечивается при соблюдении условия (5.I). Коэффициент $K_н$ равен отношению деформаций безопасного уровня (табл. 4.6) к деформациям, определяемым по формулам (2.I4) - (2.I8) при подработке земной поверхности без горных мер по охране. Деформации безопасного уровня нормируются специальными положениями и правилами [I, II].

6.4.2. Уровень преобразований земной поверхности регулируется изменением геометрических параметров очистных выработок, уменьшением осадки основной кровли закладкой выработанного пространства. Возможные способы снижения вредных преобразований застроенных территорий даны в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Класс застройки (по табл. 6.3)	Способ подработки	Группа мер по охране (табл. 5.I), которую обеспечивает способ подработки
I	Частичная отработка пластов по площади короткими лавами	I-3
	Уменьшение вынимаемой мощности пласта	3-5
	Применение закладки выработанного пространства	I-4
II	Увеличение фронта очистных выработок	3-5
	Гармоничная отработка пластов	2-4
III	Гармоничная отработка пластов	2-4
IV	Увеличение фронта очистных выработок	3-5
	Частичная отработка пластов по площади короткими лавами	I-3
	Гармоничная отработка пластов	2-4

6.4.3. Широкий фронт очистных выработок является горным мероприятием по охране застроенной площади. Технологические схемы отработки пласта при применении широкого фронта очистных работ, параметры очистных работ и технические условия применения технологических схем даны в работе [7].

6.4.4. Частичная отработка пласта по площади производится длинными столбами, сплошной системой, камерами, камерно-столбовой системой или выбуриванием угля. Часть запасов оставляется в межлавных или межкамерных целиках, размеры которых должны быть не меньше рассчитанных по горному давлению.

При частичной отработке пласта по площади размеры выработок назначаются по технологическим соображениям, а размеры целиков определяются по формуле

$$в_к \geq \frac{a_к (1 - K_н)}{K_н} \geq в_п ,$$

где $a_к$ – длина очистного забоя или диаметр скважины; $в_п$ – ширина целика, определенная расчетом на прочность; $в_к$ – ширина целика, назначенная по условиям охраны среды; если этот размер оказывается меньше размера $в_п$, в расчет берется значение $в_п$.

6.4.5. При частичной отработке пласта по мощности вынимаемая мощность вычисляется по формуле

$$m \leq K_н m_г .$$

6.4.6. Закладка выработанного пространства является наиболее радикальной и эффективной мерой по охране среды.

Закладка выработанного пространства применяется лишь при подработке территории I класса (табл.6.4). Выбор типа закладки при сплошной выемке угля производится по табл. 6.5.

Таблица 6.5

Группа мер по охране (по табл. 5.I)	Тип закладки
I	Твердеющая
2	Гидравлическая песком
3	Гидравлическая дробленой породой
4	Пневматическая

6.4.7. При подработке территории I класса (табл.6.4), когда требуется обеспечить I группу мер по охране (см.табл.5.I), допустимо сочетание частичной выемки запасов по площади или по мощности с закладкой. Закладка выработанного пространства может применяться в сочетании с другими охранными мероприятиями. Это повышает их эффективность.

Если применяется несколько мер по охране, расчетный коэффициент $K_г$ суммарной эффективности подработки в условии (5.I) принимают равным произведению коэффициентов эффективности отдельных мероприятий, так как проявление каждого из них происходит независимо друг от друга.

При сочетании частичной выемки по площади короткими очистными забоями с закладкой длина лавы ℓ определяется из условия $K_р \cdot K_{рз} \leqslant K_н$, в котором коэффициент эффективности частичной выемки короткими лавами $K_р = \ell / H(a+в)$, откуда

$$\ell = \frac{K_н}{K_{рз}} H(a+в),$$

где $K_н$ – нормативный коэффициент снижения деформаций; $K_{рз}$ – расчетный коэффициент снижения деформаций при применении закладки, определяемый согласно табл. 5.2.

При сочетании выемки пласта камерами шириной $a_к$ с закладкой размер межкамерных целиков определяется по формуле $K_р \cdot K_{рз} \leqslant K_н$.

Размер межкамерного целика $в_к$ определяется по формуле

$$в_к \geq \left(\frac{K_{рз}}{K_н} - 1 \right) a_к .$$

При сочетании частичной выемки по мощности с закладкой вынимаемая мощность определяется по формуле

$$m \leqslant K_н \frac{m_г}{K_{рз}} .$$

6.4.8. Параметры очистных выработок при гармоничной отработке пластов определяются из условия (5.2).

Гармоничная отработка пласта под территорией Ш класса (табл.6.4) производится встречно расходящимися спаренными лавами в одном пласте, движущимися вкрест простирания, а под территорией IУ класса – расходящимися забоями вкрест простирания.

Эффективность гармоничной подработки рассчитывается по формулам, приведенным в табл.5.2. Если в формулах табл. 5.2 выразить координаты u_1, u_2 точки, в которой планируется компенсация деформаций земной поверхности, в функции от параметров очистных работ:

$$u_1 = -Qa + \frac{\ell_1}{\cos\alpha} + H_1 \sin\alpha; \; u_2 = -Q в + \frac{\ell_2}{\cos\alpha} - H_1 \sin\alpha,$$

то при малых углах α получим

$$\ell_2 = \ell_1 + H_1 \sin 2\alpha + Q \cos\alpha\,(\alpha - \beta),$$

где ℓ_2, ℓ_1 – расстояние в плане соответственно от верхнего и нижнего очистного забоя до вертикальной проекции границ территории на пласт.

Схемы гармоничной отработки пластов под застроенной территорией даны в работе [7].

6.4.9. Предохранительные целики угля оставляются лишь в тех случаях, когда другие меры по охране оказываются неэффективными. На шахтах СССР целики строятся по эмпирической методике, изложенной в правилах охраны [I]. Границы целиков можно более строго определять на основании условия безопасности (5.I), в котором расчетный коэффициент K_p получают как частное от деления друг на друга соответствующих деформаций или перемещений земной поверхности при таком положении очистного забоя, когда достигается безопасный уровень преобразований, и при полной отработке целика. Максимальные деформации территории при полной отработке запасов определяются по формулам (2.I6)-(2.I8). Расчетная схема и формулы для нахождения границ целика приводятся в работе [7].

6.4.I0. Горные мероприятия по снижению уровня преобразований земной поверхности, как показано выше, весьма трудоемки, сопряжены с проведением сложных технологических операций, а иногда и с потерями угля в целиках. Они применяются лишь для охраны очень ответственных объектов на больших площадях (городской территории, крупных промышленных объектов, важных природных комплексов). Для охраны отдельных сооружений обычно применяются строительные мероприятия.

6.5. Обеспечение сохранности подрабатываемых сооружений

6.5.I. Для защиты жестких сооружений ограниченных размеров в плане рекомендуется установка тяжей: устройство железобетонных плит в уровне пола подвала по грунту или перекрытия над подвалом; устройство железобетонных внутренних поясов в уровне пола подвала или под перекрытием над подвалом; введение связей между отдельно стоящими колоннами; подведение железобетонных фундаментов; обеспечение пространственной устойчивости

зданий и его отдельных элементов. Для защиты гибких сооружений (трубопроводов, одноэтажных промышленных зданий каркасного типа) эффективны осадочные швы, компенсаторы, швы скольжения и другие меры, повышающие податливость конструкций на деформирующемся основании [9-II].

6.5.2. Увеличение жесткости подрабатываемых сооружений для защиты от горизонтальных деформаций производится устройством железобетонных плит в уровне пола подвала. Плита рассчитывается по формуле (6.2) на растяжение и сжатие от нагрузок N_r, вызванных трением и давлением грунта на контакте с фундаментом. Плита армируется в продольном и поперечном направлении. Подбор сечений арматуры и ее раскладка производится по расчетным участкам плиты, ограниченным соседними ленточными фундаментами. Арматура в пределах участка раскладывается по двум или трем зонам (по краям и в середине участка). Края плиты соединяются с фундаментами. Каждый участок плиты в сечении рассчитывается в продольном и поперечном направлении на горизонтальное усилие N_r:

$$N_r = \ell\left(b_\phi \tau_\phi + b\tau_{пл}\right) + F\left(C_\delta + 0{,}5\,\bar{n} K_\delta\right) + \sum_{i=1}^{m}\left(F_i p_i + S_i \tau_i\right), \qquad (6.4)$$

где b – размер плиты по нормали к направлению силы N_r; ℓ – расстояние от расчетного сечения до ближайшего края плиты в направлении силы N_r; b_ϕ, F, h – величины, определяемые по табл. 6.6;

Таблица 6.6

Расчетные области плиты	Формулы для вычисления параметров плиты		
	b_ϕ	F	h
Границы плиты вдоль направления силы ограничены:			
наружной и внутренней стеной	$b_\phi = b_н + 0{,}5 b_б$	$F = F_н + 0{,}5 F_б$	$h = \dfrac{h_1^н + h_1^б + h^в}{3}$
внутренними стенами	$b_\phi = b_н$	$F = F_б$	$h = h_б$
наружными стенами	$b_\phi = b_н + b'_н$	$F = F_н + F'_н$	$h = \dfrac{h_1^н + h_1^б + h_2^б}{4}$

τ_ϕ, $\tau_{пл}$ – средние касательные напряжения соответственно по подошве продольных ленточных фундаментов и плиты, определяемые по формуле (4.5); τ_i, p_i – соответственно касательное напряжение по подошве и боковое давление на i-ый поперечный фундамент,

определяемые по формулам, приведенным в пп. 4.3.1 и 4.3.3; F_i, S_i – площади соответственно боковой стенки и подошвы i-го поперечного фундамента; $C_б$, $K_б$ – принимаются соответственно для суглинков 2,3 кПа и 1,7 кПа/м, для песка 1,2 кПа и 2,1 кПа/м; m – количество фундаментов, пересекаемых плитой от ближайшего края здания до расчетного сечения.

Примечание: $в_н$, $в'_н$, $в_в$ – ширина подошвы фундаментов, параллельная силе $N_г$, соответственно под наружную, внутреннюю и вторую наружную стену; $F_н$, $F'_н$, $F_в$ – площадь поверхности контакта грунта с боковыми стенками наружного, внутреннего и другого наружного фундаментов; $h^н_1$ – высота зоны контакта внешней грани внешнего фундамента, $h^в_1$ – то же внутренней грани; $h^н_2$, $h^в_2$ – те же величины для другого внешнего фундамента; $h_в$ – то же для внутреннего фундамента.

Вместо фундаментных железобетонных плит могут устраиваться внутренние пояса в уровне подошвы фундамента. На каждом участке производится расчет поясов на растяжение и сжатие от воздействия нагрузки $N_п = N_г \kappa_c$, где сила $N_г$ определяется по формуле (6.4), а коэффициент κ_c по следующему правилу. Для поясов на участках, ограниченных только наружными или внутренними стенами $\kappa_c = 0{,}5$, в других случаях для поясов у наружной стены $\kappa_c = 0{,}7$, у внутренней $\kappa_c = 0{,}3$.

Пояса должны иметь надежную связь с фундаментами, обеспечиваемую анкерами и шпонками. Связи между столбчатыми фундаментами устраиваются для защиты каркасных зданий от горизонтальных деформаций. Прочность анкеровки связей с фундаментом, имеющим порядковый номер m, считая от ближайшего края здания, сечение арматуры и проверка связи на устойчивость определяются по усилию, получаемому по формуле

$$N_г = a_c в_c \tau_п \sum_{i=1}^{m} \lambda_i + \left(C_б + 0{,}5 h K_б\right) \sum_{i=1}^{m} F_i + \sum_{i=1}^{m} F_i p_i ,$$

где F_i, h – соответственно суммарная площадь и заглубление боковых стенок i-го столбчатого фундамента вдоль связи; $\lambda_i = E_0 \Delta_{i\xi} / A в \leqslant 1$, при $\lambda_i > 1$ принимается $\lambda_i = 1$; A – функция, определяемая (табл. 4.1) по аргументу $a_c / в_c$; a_c, $в_c$ – средняя длина и ширина столбчатого фундамента; m – количество фундаментов, связанных поясом от ближайшего края здания (отсека) до расчетного сечения; $\Delta_{i\xi}$ – относительный сдвиг, определяемый по формуле (4.4), которая в данном расчетном случае преобразуется

к виду $\Delta_{i\xi} = \Delta l_i - x_i \varepsilon_0$, где ε_0 – горизонтальная деформация земной поверхности под центром тяжести защищаемого здания (отсека); x_i – расстояние от центра здания (отсека) до рассматриваемого сечения; Δl_i – абсолютное растяжение (сжатие) связи от i -го фундамента до центра здания (отсека), вызванное деформациями основания, определяемое в соответствии с п. 4.3.5 методом последовательных приближений (при грубых расчетах может приниматься нулю). Величины C_δ , K_δ , p_i имеют тот же смысл и значение, что и в выражении (6.4).

Для защиты зданий от горизонтальных деформаций грунта, направленных по нормали к продольной оси стен, устраиваются связи-распорки между ленточными фундаментами. Прочность анкеровки связей в фундаменте, сечение связи и ее устойчивость на продольный изгиб проверяется на усилие $N = pF_\delta + \tau F$, где p , τ – боковое давление и касательные напряжения, определяемые по формулам (пп. 4.3.3 и 4.3.I); F_δ , F – площади соответственно вертикальной грани и подошвы участка фундамента длиной, равной расстоянию между связями.

6.5.3. Для увеличения гибкости подрабатываемых сооружений устраиваются осадочные швы. При разрезке сооружений на отсеки расстояние между деформационными швами l_c устанавливается из условия (6.I). При защите сооружений на плитных фундаментах значение l_c определяется из условия прочности плиты на растяжение по формуле

$$l_c \leq \sqrt{\frac{8 h b A R_p}{m \varepsilon_0 E_0}},$$

где l_c , b , h – длина, ширина и высота плиты; A – функция, определяемая по табл. 4.I; R_p – расчетное сопротивление материала плиты на растяжение, задаваемое СНиП; m – коэффициент, равный 0,8, учитывающий особое сочетание нагрузок от подработки; ε_0 – горизонтальная деформация земной поверхности в районе сооружения; E_0 – модуль деформации грунта.

6.5.4. При защите трубопроводов в зонах растяжения путем врезки компенсаторов расстояние между ними определяется из условия (6.I), в котором горная нагрузка N_r рассчитывается по формуле

$$N_r = \frac{FED}{2R} + b \int_0^{0,5l} \tau \, dx ;$$

несущая способность трубопровода равна $\Phi = n F R_p^{сб}$, ΣN – нагрузка от температуры и давления продукта в трубопроводе; $R_p^{сб}$ – нормативное сопротивление сварного стыка трубопровода на растяжение; n, E – коэффициент условий работы и модуль упругости трубопровода; ℓ – расстояние между компенсаторами; δ, F, D – периметр, площадь поперечного сечения и диаметр трубы; R – радиус изгиба земной поверхности; $\tau = \lambda \tau_п$ – касательные напряжения вдоль оси трубопровода; λ – коэффициент, определяемый по формуле $\Delta_\xi / \Delta_п \leq 1$; $\Delta_п$ – предельный сдвиг грунта по трубе, приведенный в табл. 4.3; Δ_ξ – относительный сдвиг грунта по трубе, определяемый по формуле (4.4), в которой принимается $\varepsilon_{ос} = 0$; $\Delta_м = 0$.

Подставляя значения аргументов в формуле (6.I) и решая полученное уравнение, находим расстояние ℓ между компенсаторами:

$$\ell \leq \left(n R_p^{сб} - \frac{\Sigma N}{F} - \frac{E D}{2 R_c} \right) \frac{2 \delta \Delta_п}{\tau_п \varepsilon_0 m_\varepsilon},$$

справедливое при условии, что на участке трубопровода между компенсаторами везде $\lambda \leq I$. Если это условие не соблюдается, то

$$\ell \leq \left(n R_p^{сб} - \frac{\Sigma N}{F} - \frac{E D}{2 R_c} \right) \frac{2 \delta}{\tau_п} + \frac{\Delta_п}{\varepsilon_0 m_\varepsilon},$$

где ε_0 – горизонтальные деформации грунта вдоль трассы; m_ε – коэффициент, характеризующий изменчивость горизонтальных деформаций земной поверхности; δ – толщина стенки труб; $\tau_п$ – прочность грунта у трубы на сдвиг.

Разделение этих двух расчетных случаев производится по следующему правилу. Определяется длина $\ell_п = 2 \Delta_п / \varepsilon_0$ и сравнивается с длиной ℓ, вычисленной по первой формуле. Если $\ell_п \geq \ell$, то имеем первый расчетный случай. Если наоборот, то – второй.

Расчеты по формулам, особенно при малых значениях деформации ε_0, показали, что расстояние между компенсаторами ℓ в некоторых случаях близки длине полумульды оседания L, которая в условиях Донбасса составляет I00–500 м. Если величина ℓ больше $0{,}5\,L$, то компенсаторы следует устанавливать лишь в тех точках мульды сдвижения, где ожидаются наибольшие напряжения растяжения и сжатия трубопровода в критических точках А, К, $К_I$, Г (рис. 6.I).

6.5.5. Ширина вертикального деформационного шва между отсеками $Ш$ назначается из условия беспрепятственного их перемещения в зоне сжатий земной поверхности и искривления выпуклостью вниз.

Величина $Ш$ равна сумме горизонтальных перемещений граней конструкций между швом. Эти перемещения определяются по формуле (4.3), в которой для симметричных в плане сооружений можно принять $\Delta\xi_c = 0$, $\xi_{oc} = \xi$. После элементарных преобразований получим

$$Ш = m_\varepsilon \varepsilon_0 \ell + h \kappa_{oc} \ell,$$

где ε_0 – средняя горизонтальная деформация земной поверхности; ℓ – расстояние между швами; κ_{oc} – кривизна сооружения; для абсолютно жестких отсеков κ_{oc} принимается равной кривизне земной поверхности, для гибких – нулю, для промежуточных случаев определяется опытом.

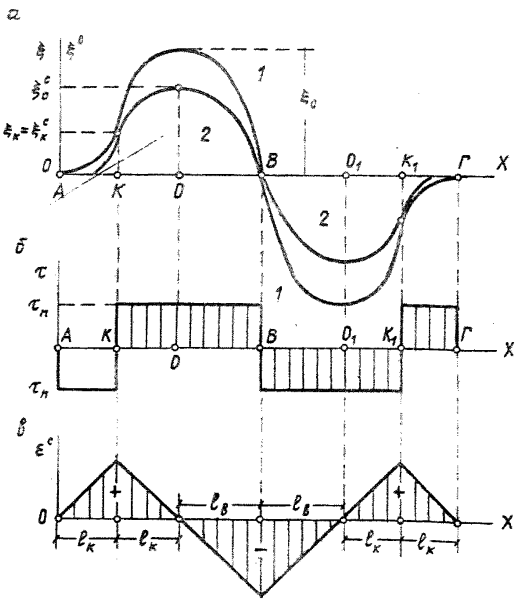


Рис. 6.I. Расчетные схемы подрабатываемого трубопровода:

а – схема горизонтальных сдвигов грунта (I) и трубопровода (2); б – схема распределения касательных напряжений в грунте у трубопровода; в – схема растяжений (+) и сжатий (–) трубопровода

6.5.6. Устройство горизонтальных швов скольжения, отделяющих нижнюю фундаментную часть сооружения от защищаемой верхней части, является эффективным мероприятием для смягчения влияния горизонтальных деформаций земной поверхности. Усредненные коэффициенты трения приводятся в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Конструкция швов скольжения между фундаментом и стеной	Коэффициент трения
Пластический шов из полиизобутилена толщиной 2,5 мм	0,I
Два слоя пергамина с прослойкой молотого графита из расчета 0,025 г на I см^2 шва	0,2
Графитная смазка между двумя металлическими листами	0,2
Пергамин с прослойкой слюды из расчета 0,I г на I см^2 шва	0,3
Пергамин с прослойкой минерального порошка из расчета 0,I г на I см^2 шва	0,4

6.5.7. Искусственное изменение физико-механических свойств оснований подрабатываемых сооружений в отдельных случаях улучшает условия работы конструкций при деформации земной поверхности. Для этого применяются засыпки траншей трубопроводов и пазух фундаментов материалами, обладающими пластическими свойствами и малой величиной защемления. Это снижает дополнительные горизонтальные нагрузки на конструкции при сдвигах грунта. Основания подрабатываемых башен укрепляются методом электросиликатизации, который представляет собой процесс закрепления слабых оснований путем нагнетания в грунт химических растворов через инъекторы.

6.5.8. Локализация деформаций основания в траншеях является эффективным мероприятием по защите зданий, так как она обеспечивает концентрацию деформации грунта за пределами основания в траншеях, устраиваемых либо к заглубленной части сооружений, либо на некотором расстоянии от нее. Расстояние траншей от фундаментов не должно превышать 3 м. Глубина заложения траншеи от подошвы фундамента определяется по формуле

$$\Delta h = \ell \, tg\,(45° - \rho/2),$$

где ℓ – горизонтальное расстояние от траншеи до фундамента, ρ – угол внутреннего трения грунта.

6.5.9. Если ожидаемый крен или изгиб подрабатываемого сооружения, превышает предельный, то одной из мер по его охране может быть выравнивание в период, когда еще наклон или изгиб земной поверхности не достиг опасной величины. Выравнивания крена башен рекомендуется производить путем частичной выемки грунта из-под подошвы фундамента со стороны, противоположной крену, и одновременного приложения нагрузки посредством тросов, прикрепленных к сооружению.

6.5.10. Выравнивание подработанных зданий производится домкратами или клиньями. Выравнивающие устройства необходимо выполнять в виде переносных, легко монтируемых и демонтируемых установок, с помощью которых можно осуществлять одновременную защиту группы зданий. Этот метод рекомендуется на территориях, подрабатываемых в тяжелых горно-геологических условиях, когда на земной поверхности возможно образование ступеней и трещин. Для его реализации требуется: устройство ниш и обвязочных балок в фундаментах; оборудование опорных площадок для домкратов; устройство в уровне цоколя железобетонных обвязочных балок с консольными выступами под каждый домкрат, воспринимающих нагрузку от поршня.

7. ОХРАНА ВОДНОЙ СРЕДЫ

7.1. Влияние шахт на гидросферу

7.1.1. Изменения гидрогеологических условий в толще пород обусловлены геомеханическими преобразованиями подработанного массива, рассмотренными выше в главе 2. Над выработанным пластом образуется зона разрушенных пород (см. рис. 2.1). Трещины разлома и расслоения породного массива в пределах этой зоны являются проводниками подземных вод. Степень истощения подземных водоносных горизонтов можно оценить высотой и радиусом депрессионных воронок и величиной притока воды в шахту. Истощение ресурсов грунтовых вод оценивается понижением их уровня.

7.1.2. Грунтовый водоносный горизонт в зоне трещинообразования загрязняется сточными, шахтными водами и водами обогатительных фабрик, отводимыми по неэкранированным каналам.

Изменение гидрологических условий вызвано геомеханическими преобразованиями земной поверхности: изменением ее рельефа, образованием трещин в грунте, провалов и воронок. В результате изменяется скорость водотоков, образуются зоны затопления, забо-

лачивания. Воды шахт и обогатительных фабрик загрязняют водоемы и водотоки, повышают их минерализацию, изменяют химический состав.

7.I.3. Безопасный уровень гидрогеологических преобразований устанавливается из условия сохранения сплошности вмещающих воду слоев породы и, в первую очередь, водоупорного слоя. Это достигается в случае, если границы возможной зоны трещинообразования (зоны А, В рис. 2.I, 2.2, позиции 7 и 4) находятся за пределами охраняемой зоны.

7.I.4. Безопасный уровень гидрологических преобразований устанавливается из условия сохранения гидродинамического и гидрохимического режимов водостоков и водоемов. Это достигается путем предотвращения осадок ложа водных объектов, превышающих допустимые по условиям рельефа местности нормы. В противном случае осадки земной поверхности могут привести к затоплению местности. Безопасный уровень преобразований водной среды по условию предотвращения затопления территории достигается в том случае, если соблюдается условие безопасности подработки (5.I):

$$K_p = \frac{\eta_б}{\eta} \leq K_н, \qquad (7.I)$$

где $\eta_б$ – безопасное оседание, определяемое по условиям охраны территории от затопления; η – оседание земной поверхности при отработке пластов, определяемое по формуле (2.II).

7.I.5. При обеспечении безопасного уровня преобразований водной среды требуется одновременно охрана выработок от затопления согласно Правилам безопасности и Правилам охраны подрабатываемых объектов.

7.2. Предотвращение разливов подрабатываемых водоемов

7.2.I. Охрана территории от затопления осуществляется устройством земляных дамб по берегам водоемов и рек в районах оседания земной поверхности, где ожидается повышение уровня воды относительно берегов.

Необходимые высота, длина и площадь дамб определяются на основании прогноза оседания земной поверхности и гидрогеологической характеристики объекта. Ожидаемый рельеф поверхности получают вычитанием топографической поверхности оседаний из топографической поверхности исходного рельефа. По нему с учетом

уровня грунтовых вод и уровня воды в реке определяется глубина и оконтуривается зона возможного затопления и заболачивания.

Затопленные участки могут быть рекультивированы в противопожарные, декоративные, оросительные или рыбохозяйственные водоемы с учетом экономики и потребностей района.

7.2.2. При подработке участков каналов рекомендуется направлять выработки нормально трассе канала. По длине подрабатываемых участков канала необходимо предусматривать сооружение водоудерживающих дамб. Водоудерживающие дамбы на подрабатываемых участках канала следует повышать на величину, равную оседанию земной поверхности. При этом необходимо устраивать сбросы сточной воды на пониженных участках за бермами с целью предотвращения возникновения антисанитарных зон или засыпать эти участки. Если при подработке участка канала ожидается его расширение со значительным снижением скорости течения воды (что приводит к зарастанию канала), необходимо производить искусственное сужение сечений канала на подрабатываемом участке путем устройства дополнительной подсыпки с боков канала. При защите от подработки трубопроводных участков каналов необходима установка на них компенсаторов, предотвращающих горизонтальные и вертикальные деформации. Просевшие участки канала для сохранения уровня воды поднимаются подсыпкой грунта.

Во время сдвижения поверхности на подрабатываемом участке канала необходимо тщательное наблюдение за всеми деформациями, уровнем воды, фильтрацией воды из канала и т.д.

7.2.3. При подработке земляных плотин необходимо учитывать понижение отметки гребня плотины относительно поверхности воды. Для сохранения требуемого по нормам превышения гребнем плотины поверхности воды следует предусматривать подсыпку осевших участков. Под водосборной частью плотины рекомендуется оставлять целики с тем, чтобы сохранить нормальный подпорный горизонт воды. При необходимости по условиям горных работ выемки целика под водосбросом следует осуществлять мероприятия, предотвращающие опасную фильтрацию воды в местах сопряжения бетонных элементов с земляной частью плотины. Кроме того, необходимо нарастить гребень водослива или его затворы на величину оседания всего водосброса. При этом следует предусматривать мероприятия по исправлению возможного перекоса затвора, связанного с неравномерной осадкой от горных выработок. Подрабатываемые плотины должны оборудоваться наблюдательными станциями, с помощью которых должно

производиться наблюдение за плотиной в процессе ее подработки. Зону отчуждения водохранилищ при подработке необходимо расширить в соответствии с ожидаемым подтоплением отдельных участков соответственно изменению топографии. В прилегающих к водохранилищу балках, оврагах и прочих пониженных местах при значительных оседаниях необходимо предусматривать оградительные дамбы и прочие водоудерживающие сооружения. Высота и размеры оградительных сооружений должны назначаться в соответствии с топографией местности и величиной ожидаемого оседания.

7.3. Охрана водных объектов от загрязения и истощения

7.3.I. Наиболее эффективными и распространенными способами снижения загрязнения водных объектов являются: осветление шахтных вод в главных водосборниках, фильтрация воды в выработанном пространстве, механическая, физико-химическая и бактериологическая очистка в очистных сооружениях [26].

При малой степени загрязнения шахтных вод, небольшом их объеме и при наличии вблизи шахты крупных рек шахтные воды накапливаются в водоемах, а затем сбрасываются во время паводка в реку.

При малой минерализации (до 5 г на литр) шахтная вода может использоваться для орошения и для нужд промышленности. Высокоминерализованные шахтные воды (более 5 г соли на литр) опресняются либо возгонкой с выделением поваренной соли и хлоридных смесей с последующей доупаркой и сушкой, либо с применением мембранного метода опреснения (электродиализа).

7.3.2. Для защиты подземных вод от загрязнения продуктами, поступающими из отвалов (с ливневыми и тальми водами), из шламонакопителей обогатительных фабрик, прудов-осветлителей и водоотводных канав, производится экранирование этих загрязняющих водоемов. Экраны устраиваются с земной поверхности в виде ряда скважин диаметром I0-I5 см через I5 м, в которые нагнетается глинистый раствор с добавками цемента (I0-I2%) и жидкого стекла (I-I,5%).

7.3.3. Защита водных объектов от истощения вследствие дренирования их горными выработками производится экранированием (устройством водонепроницаемых завес, барражей) зоны трещин. Верхние водоносные горизонты могут защищаться с земной поверхности рядами скважин. Ложе водоемов экранируется водонепроницаемой пленкой (полиэтиленовым покрытием).

Противофильтрационные экраны могут устраиваться либо с земной поверхности, либо из горных выработок на участках интенсивного дренажа. Не допускается предварительное осушение горного массива при наличии мощных водоупоров между отрабатываемым пластом и дренируемым водоносным горизонтом. Мероприятия по защите от истощения проводятся лишь при поступлении воды в шахту в объеме более 100 $м^3$ в час. Закладка выработанного пространства или частичная отработка пласта по площади - эффективные средства от разрушения водоупоров, они резко снижают водоприток в шахту.

Расчет параметров очистных выработок под водоносным горизонтом по условию водонепроницаемости подрабатываемого горного массива производится на основании следующих положений. Водонепроницаемость соблюдается, если в толще пород над очистной выработкой под водоносным горизонтом будут слои, не нарушенные сквозными трещинами. Эти слои будут выполнять роль водоупорного горизонта и ограждения от проникновения воды в выработки. Следовательно, основное условие водонепроницаемости водоупорного слоя - расположение его вне свода обрушения, т.е. необходимо, чтобы $v > Q$, где v - расстояние от водоупорного слоя до очистной выработки по нормали к напластованию (рис.7.1, *а*). Дополнительное условие водонепроницаемости - отсутствие водопроводящих трещин в водоупорном слое вследствие его прогиба в сторону выработанного пространства.

7.3.4. Для захоронения высокоминерализованных шахтных вод можно использовать водопроницаемые породы в недрах, отработанные шахты или нижние отработанные горизонты, поскольку в выработанном пространстве остается пористый слой обломков непосредственной кровли, который может служить резервуаром.

Объем естественного резервуара для оставления воды в выработанном пространстве для пород основной кровли I и II типа по классификации ВУГИ определяется по формуле

$$V = m \ell_p L - sL, \qquad (7.2)$$

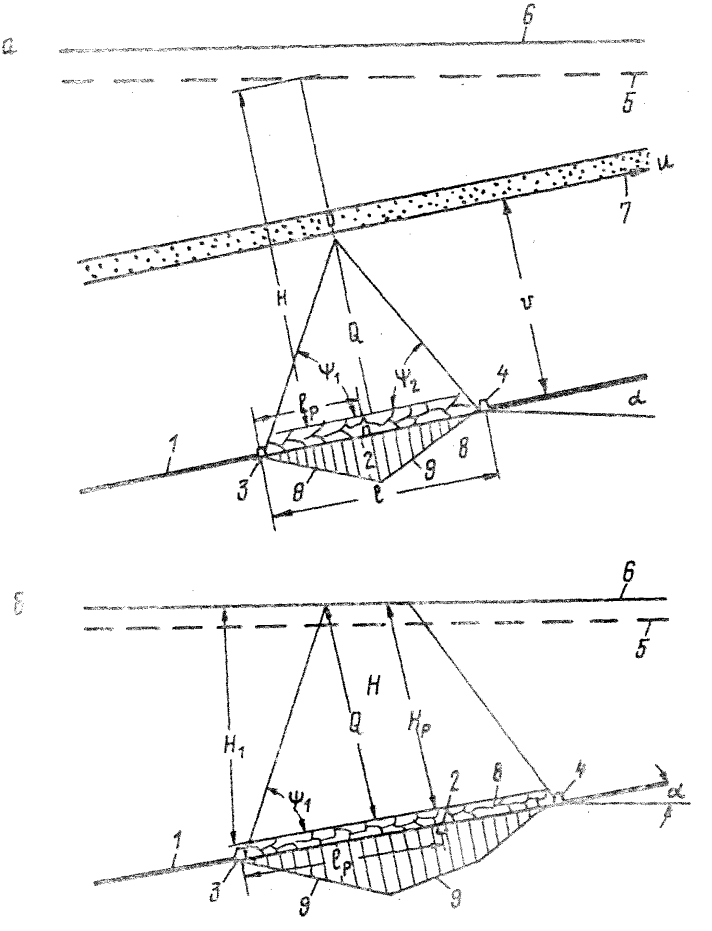


Рис. 7.I. Схемы для определения объема естественного резервуара для оставления воды в выработанном пространстве:

а – при $Q<H$; б – при $Q>H$; I – барьерный целик; 2, 3 – верхняя и нижняя границы затопляемого выработанного пространства; 4 – верхняя граница очистных работ; 5 – граница наносов; 6 – земная поверхность; 7 – водоупорный слой; 8 – слой обрушившейся непосредственной кровли; 9 – эпюра сжатия слоя 8

где m – среднее значение вынимаемой мощности пласта; ℓ_p, L – размеры затапливаемой выработки соответственно вкрест и по простиранию пласта; S – площадь мульды сдвижения нижней границы основной кровли по нормали к напластованию, определяемая в зависимости от расположения затапливаемой выработки относительно свода обрушения в соответствии с рис. 7.I.

7.3.5. Выработанное пространство или слои водопроницаемых пород могут быть использованы также и для захоронения загрязненных вод обогатительных фабрик и других жидкостей, очистка которых затруднена или невозможна. Предлагаемая мера трудновыполнима особенно на действующей шахте, поскольку требует коренного изменения традиционного нисходящего порядка отработки пластов. Более перспективно использовать для захоронения жидких отходов выработанные шахты.

Захоронение воды целесообразно лишь тогда, когда традиционно методы очистки воды требуют очень больших затрат. В ближайшем будущем в связи с постоянным углублением шахт объем высокоминерализованных вод будет возрастать, поэтому при проектировании шахт этот вариант охраны водной среды должен приниматься во внимание.

7.4. Использование шахтных вод в народном хозяйстве

7.4.I. Шахтные воды используются в сельском хозяйстве для полива, для технического водоснабжения животноводческих комплексов, разведения рыбы и водоплавающей птицы. В промышленности шахтные воды используются для технического водоснабжения. В коммунальном хозяйстве (после очистки) – для водоснабжения населения. В угольной промышленности очищенная шахтная вода используется для пылеподавления и технических нужд.

7.4.2. Для полива используются шахтные воды с содержанием соли до 3 г/л при условии, что параметры жесткости воды будут в пределах нормы (отношение мг экв/л натрия к кальцию не больше I;отношение натрия к сумме кальция и магния не превышает 0,7; отношение суммы ингредиентов к сумме натрия и магния не больше четырех для средне- и тяжелосуглинистых почв и пяти - для легкосуглинистых [I5]).

Шахтные воды при тех же показателях, но с минерализацией свыше 3 г/л подлежат разбавлению в процессе движения по руслам балок и в прудах.

При оценке оросительной воды требуется учитывать состав почвы, степень дренированности, глубину залегания грунтовых вод, рельеф местности, климатические условия и др.

7.4.3. Вода с минерализацией до 2 г/л и жесткостью менее 7 мг экв/л используется для технических нужд после механической и бактериологической очистки, с жесткостью 8-I4 мг экв/л - после очистки и катионирования, а после обработки известью - также и для бытовых нужд.

I. Пример определения перемещений подработанного массива горных пород в условиях Карагандинского угольного бассейна

Исходные данные для расчета: угол внутреннего трения (ρ = = 30...38^0) пород подрабатываемого массива принят для I–III групп пород; $c = ctg62^0 = 0{,}53$; $\zeta = tg^2(45^0 - \frac{\rho}{2}) \approx 0{,}3$. Предел прочности вмещающих вынимаемый пласт пород σ_c принят по минимуму из значений прочности отдельных литологических разностей кровли и почвы. Плотность W пород толщи принята в среднем 0,025 МПа/м. При падении пласта $\alpha < 10^0$ $j \approx 1$; $\psi_1 \approx \psi_2 \approx \psi_3$. Коэффициент структурного ослабления λ принят по данным Г.Л.Фисенко [6, стр. 38]; для массива с прочностью $\sigma_{сж}$ = 20х35 МПа λ = 0,03...0,13.

Тип кровли принят по данным ИГД[x]: I – устойчивая, 2 – средней устойчивости, 3 – неустойчивая, 4 – весьма неустойчивая; из того же источника выбиралась мощность непосредственной кровли $h_к$. Коэффициент разрыхления пород непосредственной кровли принят равным I,4. Сравнение вычисленных перемещений массива пород с измеренными дано в табл. I. Исходные данные для расчета (табл. I столбцы I–6, I2–I4, I6, I7, 23, 26 выбирались из каталога ВНИМИ[xx]. Координаты t, u, v (табл.I, столбцы I6, I7, I8) определены по формулам п. 2.4.3. Величины ψ_1, ψ_2, ψ_3, λ_1, a, b, j даны в табл. 2. Поправки на упругое восстановление почвы и кровли (Δ_A, $\Delta_Б$) определялись при следующих исходных данных: E = 2...3·I0^{I0} Па; μ = 0,25; $u_1 = aQ$; $u_2 = -Qb$. Вычисления максимальных значений Δ_A, $\Delta_Б$ приводятся в табл. 3.

---

x) Каталог шахтопластов Кузнецкого, Карагандинского и Печорского угольных бассейнов с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. М.: ИГД им. А.А.Скочинского. I982. – I80 с.

xx) Каталог паспортов наблюдений за проявлением горного давления в подготовительных выработках. Часть II. Л.: ВНИМИ, I978. – I02 с.

№ наблюдения	№ репера	$\alpha_{y,z}$	α_y	α_x	σ_c, МПа	ℓ_n, м	ℓ_c, м	α, град	Глубина подработки	m, дм	$h_к$, м	Тип кровли по классификации ВУГИ	$-Q$, м	$-H$, м	t, м	$+v_t$, м
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
I	I3	20	II0	40	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I4	30	II0	30	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I5	50	II0	20	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I6	60	I00	20	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I7	60	80	20	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I8	60	60	20	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
I	I9	60	40	20	25	I20	200	9-I2	200	35	3-4	III	II0	200	66	55
2	35	I0	20	230	30	300	I40	8	400	I9	2-I0	III	I30	400	45	-60
2	40	40	60	230	30	300	I40	8	400	I9	2-I0	III	I30	400	5	-20
2	45	52	30	230	30	300	I40	8	400	I9	2-I0	III	I30	400	35	-50
2	50	65	-20	230	30	300	I40	8	400	I9	2-I0	III	I30	400	35	-33
2	75	35	I0	230	30	300	230	8	400	I9	2-I0	III	2I7	400	98	-68
2	80	35	60	230	30	300	230	8	400	I9	2-I0	III	2I7	400	48	-68
3	40	40	60	230	30	300	I75	8	340	I9	6	III	I65	400	27	-34
3	45	52	60	230	30	300	I75	8	340	I9	6	III	I65	400	27	-23
3	50	65	I0	230	30	300	I75	8	340	I9	6	III	I65	400	77	-8
3	70	50	0	230	30	300	240	8	340	I9	6	III	224	400	II9	-58
3	75	35	40	230	30	300	240	8	340	I9	6	III	224	400	79	-73
3	80	40	85	230	30	300	240	8	340	I9	6	III	224	400	34	-68
4	35	I0	20	230	30	300	205	8	340	I9	6	III	I93	400	82	-78
4	40	40	60	230	30	300	205	8	340	I9	6	III	I93	400	42	-48
4	45	52	90	230	30	300	205	8	340	I9	6	III	I93	400	I2	-36
4	50	65	40	230	30	300	205	8	340	I9	6	III	I93	400	62	-23
4	55	65	-I0	230	30	300	205	8	340	I9	6	III	I93	400	II2	-23
4	70	50	35	230	30	300	290	8	340	I9	6	III	274	400	I05	-98
4	75	35	80	230	30	300	290	8	340	I9	6	III	274	400	65	-II3
4	80	40	I20	230	30	300	290	8	340	I9	6	III	274	400	25	-I08
5	80	60	24	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	84	24
5	85	I44	28	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	80	-I4
5	90	94	32	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	76	-36
5	95	44	36	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	72	-86
5	I00	-6	40	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	68	-I36
6	80	60	54	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	54	24
7	85	I44	58	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	50	-I4
6	90	94	62	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	46	-36
5	95	44	66	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	42	-86
5	I00	5	70	I00	9,5	240	240	I0	246	I9	6	III	200	246	38	-I36

Таблица I

-r, м	Зона, участок	Параметр Б или В %	Параметр А %	φ, %	ψ, %	$\frac{3\gamma_i Q}{G_c}$, %	$\Delta_Б - \Delta_А$, дм	σ, дм	q_0, %	t_0, м	u_0, м	$\frac{\eta_p}{\eta_\varphi}$, $\frac{дм}{дм}$
I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30
35	БЕ	-	-	60	-	46	I	-	36	-	-	I0/9
30	БЕ	-	-	80	-	46	I	-	46	-	-	I4/20
20	БЕ	-	-	I30	-	46	I	-	6I	-	-	I8/20
20	БЕ	-	-	I60	-	46	I	-	68	-	-	20/20
20	БЕ	-	-	I60	-	46	I	-	68	-	-	23/23
20	БЕ	-	-	I60	-	46	I	-	68	-	-	22/22
20	БЕ	-	-	II0	-	46	I	-	54	-	-	I7/I4
227	ГИ	70	35	76	26	33	2	5	28	-	-	I/I
227	ГИ	20	04	I00	92	33	2	5	28	-	-	5/4
227	ГИ	52	27	85	8I	33	2	5	28	-	-	3/4
227	ГИ	57	65	34	26	33	2	5	28	-	-	I/I
227	ГИ	52	45	64	53	54	2	7	42	-	-	2/I
227	ГИ	37	22	90	74	54	2	7	42	-	-	5/5
227	ГИ	26	I6	I00	9I	54	2	6	34	-	-	6/5
227	ГИ	I8	I6	I00	95	54	2	6	34	-	-	6/7
227	ГИ	I2	44	64	98	54	2	6	34	-	-	4/2
227	ГИ	48	50	56	59	56	2	7	43	-	-	2/I
227	ГИ	45	33	78	64	56	2	7	43	-	-	3/2
227	ГИ	33	I4	96	79	56	2	"	43	-	-	6/7
227	ГИ	65	40	70	34	48	2	7	38	-	-	2/I
227	ГИ	3I	20	92	8I	48	2	7	38	-	-	5/6
227	ГИ	20	06	I00	92	48	2	7	38	-	-	7/9
227	ГИ	I7	30	82	94	48	2	7	38	-	-	5/6
227	ГИ	27	55	50	86	48	2	7	38	-	-	3/2
227	ВИ	59	44	66	42	85	2	I0	58	I22	-II7	2/2
227	ВИ	72	30	83	23	85	2	I0		82	-I32	3/5
227	ВИ	67	I5	90	30	85	2	I0		42	-I27	6/9
I00	ВД	0	59	42	I	I95	2	I4	86	I26	II4	6/6
I00	ВД	0	57	45	I	I95	2	I4	86	I22	5I	7/6
I00	ВД	0	55	49	I	I95	2	I4	86	II8	I	7/4
I00	ВИ	46	53	62	62	I95	2	I4	86	II4	-49	5/4
I00	ВИ	90	5I	56	4	I95	2	I4	86	II0	-99	I/2
I00	ВД	0	45	64	I	I95	2	I4	86	96	II4	9/9
I00	БД	0	43	66	I	I95	2	I4	86	92	5I	9/8
I00	БД	0	42	67	I	I95	2	I4	86	88	I	9/5
I00	БИ	46	0	I	62	I95	2	I4	86	84	-49	9/6
I00	БИ	90	0	I	4	I95	2	I4	86	80	-99	I/2

Таблица 2

α	0	20	40	50
φ_1	60	50	40	35
φ_2	60	70	80	85
j	I	0,94	0,75	0,64
λ_1	I,7	2,2	3,7	5,8
λ_2	I,7	I,6	I,3	I,2
a	0,57	0,84	I,I9	I,42
b	0,57	0,36	0,I8	0,09

Таблица 3

H, км	Q, км	Значения $\Delta_Б$ и Δ_A (в см) при α (град)			
		0	20	40	50
0,2	0,I	2/2	2/2	4/2	6/4
	0,2	4/4	6/5	II/5	20/5
0,4	0,I	4/4	4/4	6/4	8/6
	0,2	8/8	I0/9	I5/9	24/9
0,8	0,I	8/8	8/8	I0/8	I2/I0
	0,2	I6/I6	I6/I6	23/I7	32/I7
I,2	0,I	I2/I2	I2/I2	I4/I2	I6/I4
	0,2	24/24	24/24	3I/25	40/25

Примечания: I. В числителе даны значения $\Delta_Б$, в знаменателе Δ_A.
2. Промежуточные значения $\Delta_Б$, Δ_A принимаются интерполированием.
3. Значения $\Delta_Б$ принимаются со знаком плюс, Δ_A – со знаком минус.

Расчетное значение осадки массива η_p (табл. I, столбец 30) определялось по следующим правилам.

Для кровель I и II типов согласно формулам (2.I) и (2.2):

$$\eta_p = \eta_Б = m_3\left(\frac{3W}{\sigma_c} j\,\varphi Q - \frac{2{,}2W^2}{\sigma_c^2} j^2\varphi^2 Q^2\right)\cos\alpha\,,$$

где $m_3 = m - \Delta_Б + \Delta_A$.
При $\alpha = 0$ и $Q = H$

$$\eta_p = \eta_Б = m_3\left(\frac{3W}{\sigma_c} j\,\varphi H - \frac{2.2\,W^2 j^2}{\sigma_c^2}\,\varphi^2 H^2\right)\cos\alpha\,.$$

Нормальная высота подработанной толщи H определяется по формуле

$$H = \frac{-H_1 \mp Q_6^a \sin\alpha}{\cos\alpha},$$

где H_1, H_2 – глубина соответственно нижней и верхней границ очистной выработки.

Осадка пород в зоне В определялась по формуле (2.23), так как в некоторых расчетных случаях точка вначале находится в зоне Г, а затем по мере увеличения размеров выработанного пространства переходит в зону В. Поэтому расчет суммарного перемещения точки в этом случае должен учитывать этот переход из одной зоны в другую путем сложения перемещения точки в момент нахождения ее на общей границе зон η_1 и дополнительного перемещения η_0 в новой зоне.

В табл. I дано сравнение вычисленных по формулам (2.2), (2.8), (2.II), (2.23) значений осадки массива η_p с фактическими данными η_ϕ, приведенными в каталоге паспортов наблюдений за проявлением горного давления в подготовительных выработках.

Средняя квадратическая ошибка метода прогноза осадок пород (табл. 4) составляет

$$\pm\sqrt{\frac{1}{\eta}\left(1-\frac{\eta_p}{\eta_\phi}\right)} = \pm\sqrt{\frac{9{,}60}{37}} = \pm 0{,}5$$

Она обусловлена погрешностями исходных данных для расчета и упрощением реального процесса перемещений массива. Для учета погрешности вычислений оседаний вводится коэффициент надежности $\eta_н = 1{,}5$.

2. Оценка методики прогноза геомеханических преобразований геосреды

Экспериментальная оценка методики прогноза геомеханических преобразований проводилась в натурных условиях на угольных шахтах и в лаборатории на моделях. Основные варьируемые факторы, определяющие перемещения массива и диапазон их изменения следующие:

m = 0,5 м ... 2,5 м; α = 0...60°; H_1 = I00...I000 м; $E_г$ =

Таблица 4

Номер наблюдения (по табл.I)	$1-\frac{\eta_p}{\eta_\varphi}$	$\left(1-\frac{\eta_p}{\eta_\varphi}\right)^2$
I	-0,I	0,0I
I	0,3	0,09
I	0,I	0,0I
I	0	0
I	0	0
I	0	0
I	-0,2	0,04
2	0	0
2	-0,25	0,06
2	0,25	0,06
2	0	0
2	-I,0	I,00
2	0	0
3	-0,2	0,04
3	0,I4	0,02
3	-I,0	I,00
3	-I,0	I,00
3	-0,5	0,25
3	0,I4	0,02
4	-I,0	I,00
4	-0,I7	0,03
4	0,22	0,05
4	0,I7	0,03
4	-0,5	0,25
4	0	0
4	0,66	0,42
4	0,33	0,II
5	0	0
5	-0,I7	0,03
5	-0,75	0,56
5	-0,25	0,62
5	I	I,00
6	0	0
6	-0,I2	0,0I
6	-0,8	0,64
6	-0,5	0,25
6	I	I
$n = 37$		$\Sigma(1-\eta_p/\eta_\varphi)^2 = 9,60$

$= 1{,}4 \cdot 10^6 \ldots 3 \cdot 10^6$ кПа; $\lambda = 0{,}1 \ldots 0{,}02$; $\sigma_c = 5 \cdot 10^3 \ldots 5 \cdot 10^4$ кПа; $a = 100 \ldots 1000$ м, $t = 100 \ldots 1000$ м; координаты точек наблюдения изменяются от 0 до 1 км.

Необходимое количество измерений (опытов) для достоверного определения соответствия экспериментальных данных теоретическим предпосылкам равно $n_к = 2n > 256$, где $n = 8$ – число варьируемых факторов.

На земной поверхности измерено 234 вертикальных и 128 горизонтальных перемещений точек подработанного массива, в толще подработанного горного массива на 5 моделях измерено 245 вертикальных и 223 горизонтальных перемещений. Поскольку в пределах наблюдаемой области сдвижения перемещения пород различны, то для увеличения массива однородных экспериментальных данных получали отношения меньших значений измеренных или вычисленных перемещений точек к большим. Это отношение при полном соответствии расчетных и измеренных перемещений равно 1, однако за счет погрешности расчета и измерений фактические отношения могут быть другими. Результаты сравнения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Относительная погрешность, %	Количество отношений вертикальных (в числителе) и горизонтальных (в знаменателе) перемещений точек
100	64/26
50–100	105/86
30–40	117/106
0–20	193/133
Всего	479/351

Проверка соответствия экспериментальных данных теоретическим предпосылкам по критерию адекватности Пирсона подтвердила их сходимость. Средняя ошибка отношений измеренных осадок к вычисленным составляет 50%. Вероятность того, что вычисленное значение перемещения массива не будет отличаться от фактического более чем на 20%, равна 0,4, более чем на 40% – 0,66, более чем на 100% – 0,9. В 83% случаев измеренные оседания были меньше вычисленных, а для горизонтальных перемещений эта величина близка 74%.

Теоретическая средняя относительная погрешность функции перемещений за счет погрешности исходных данных близка по значению погрешности, полученной экспериментально и равна 50%. Погрешность предлагаемой методики вычисления перемещений примерно такая же, что и погрешность применяемой в настоящее время аналитико-эмпирической методики ВНИМИ [I]. Однако, в отличие от известного метода предлагаемый может применяться не только для определения перемещений земной поверхности, но и для перемещений горного массива в пространстве и времени.

ЛИТЕРАТУРА

I. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981. – 288 с.

2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1977. – 175 с.

3. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. Части I и II. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1979. – 333 с.

4. Рекомендации по применению схем подготовки и отработки выемочных полей без оставления межлавных целиков угля. – Донецк: ДонУГИ, 1980. – 48 с.

5. Руководство по применению бесцеликовых схем подготовки и отработки выемочных полей пологих угольных пластов Кузбасса. – Прокопьевск: КузНИУИ, 1978. – 104 с.

6. Временные технологические схемы бесцеликовой выемки угольных пластов, склонных к самовозгоранию, с подвиганием очистных забоев по падению и простиранию на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда: КНИУИ, 1977. – 58 с.

7. Методические указания по совершенствованию технологии добычи с целью повышения полноты извлечения угля при подземной разработке угольных месторождений. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1983. – 80 с.

8. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях: СНиП II-8-78. – М.: Стройиздат, 1979. – 24 с.

9. Руководство по расчету и проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. – М.: Стройиздат, 1977. – 141 с.

10. Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных выработок в основных угольных бассейнах. – Л.: Стройиздат, 1967. – 124 с.

11. Методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М.: ГКНТ СССР, 1979.

12. Методика расчета экономической эффективности перехода на малоотходную и безотходную технологию действующих и реконструируемых производств. – Пермь: ВНИИОСуголь, 1981. – 102 с.

13. Отраслевая инструкция по учету балансовых и расчету промышленных запасов, определению, нормированию, учету и экономической оценке потерь угля (сланца) при добыче. – М.: Минуглепром СССР, 1974. – 34 с.

14. С т о р ч а к Н. П. Захоронение шахтных вод в Западном Донбассе. – Уголь, 1982, № 8, с. 17, 18.

15. Методические указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами предприятий угольной промышленности. – Пермь: ВНИИОСуголь, 1976. – 83 с.

СОДЕРЖАНИЕ

БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В РАБОТЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 7
I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО ПОРОДНОГО МАССИВА . . 10
I.I. Характеристика и физическая модель породного массива 10
I.2. Напряжения породного массива 13
I.3. Разрушение непосредственной кровли очистной выработки . . . 16
I.4. Разрушение породных слоев покрывающей толщи 18
I.5. Горно-геологические процессы в массиве пород, перекрывающем зону полной подработки 29
I.6. Геомеханические процессы в зоне опорного давления 38
2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕДРАХ 43
2.I. Метод прогноза перемещений горных пород 43
2.2. Метод прогноза деформаций подработанного массива горных пород 48
2.3. Прогноз изменения напряжений подработанного породного массива 51
2.4. Учет фактора времени 52
2.5. Порядок вычислений перемещений пород 54
3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 64
3.I. Классификация горно-геологических процессов 64
3.2. Преобразования земной поверхности легкого и среднего типа 65
3.3. Преобразования земной поверхности тяжелого типа при подработке пологими пластами 69
3.4. Преобразования земной поверхности тяжелого типа при подработке крутыми пластами 7I
3.5. Преобразования земной поверхности очень тяжелого типа . . . 73
3.6. Другие преобразования земли 75
4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОСНОВАНИЯХ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ 76
4.I. Перемещение и деформация грунта в основании сооружений . . . 76
4.2. Перемещения подрабатываемых сооружений 77
4.3. Нормальные и касательные напряжения и нагрузки на контакте подрабатываемого сооружения с грунтом 79
4.4. Трещины в стенах подрабатываемых зданий 8I
5. ОХРАНА НЕДР 83
5.I. Требования по охране недр 83
5.2. Охрана запасов угля, законсервированных под зданиями и сооружениями 85
5.3. Сокращение эксплуатационных потерь угля 89

5.4. Охрана запасов угля сильнонарушенных месторождений 98
5.5. Охрана угольных пластов от вредного влияния очистных работ 103
6. ОХРАНА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 106
6.1. Основные требования 106
6.2. Допустимый уровень преобразований земной поверхности 107
6.3. Классификация и выбор мер по охране земной поверхности . . . 110
6.4. Определение параметров очистных выработок по фактору охраны среды 115
6.5. Обеспечение сохранности подрабатываемых сооружений 118
7. ОХРАНА ВОДНОЙ СРЕДЫ 125
7.1. Влияние шахт на гидросферу 125
7.2. Предотвращение разливов подрабатываемых водоемов 126
7.3. Охрана водных объектов от загрязнения и истощения 128
7.4. Использование шахтных вод в народном хозяйстве 131
Приложение I. Пример определения перемещений подработанного массива горных пород в условиях Карагандинского угольного бассейна 133
2. Оценка методики прогноза геомеханических преобразований геосреды 137
Литература 141

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Редактор Л.А.Перминова.

Художественные редакторы Л.И.Акулова, Л.Н.Захарьящева.

Подписано к печати I5.05.84 г. TI2I02.

Формат 60x84 I/I6. Бум. множит. аппаратов.

Печать офсетная.

Уч.-изд.л. 9,0. Тираж 500 экз.

Изд. № 8993. Тип. зак. 1246

Цена 65 коп.

Институт горного дела им. А.А.Скочинского, I40004, г. Люберцы Моск. обл.

Типография Минуглепрома СССР, I40004, г. Люберцы Моск. обл.

gost.e-ecolog.ru