

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Руководитель программы  
аспирантуры  
Профессор В.Н.Гусев**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И  
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ,  
ХВОСТОХРАНИЛИЩ И ОТВАЛОВ**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

<b>Область науки:</b>	2. Технические науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	2.8. Недропользование и горные науки
<b>Научная специальность:</b>	2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
<b>Отрасли науки:</b>	Маркшейдерское дело и геометрия недр
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	Очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д. т. н., проф. В.Н.Гусев

Санкт-Петербург

# Основные термины, понятия и методики выполнения работ

## 1. Общие сведения о геомеханических процессах образования водопрводящих трещин в слоях горных пород

Как следует из известной схемы сдвижения горных пород [1, 2], непосредственно над выработанным пространством угольного пласта образуется зона обрушения. Породы этой зона подвергнуты наибольшим деформациям, вследствие чего они разделены на отдельные кускии блоки нерегулярных размеров, беспорядочно обрушенные в выработанное пространство. Очевидно, что проникновение воды через такую техногенную зону будет происходить беспрепятственно. Высота зоны обрушения, из опыта ведения горных работ, составляет  $h = (2 \div 6) \text{ м}$ . Зона обрушения переходит в зону, где слои не потеряли своей сплошности. Здесь максимальная кривизна слоев уменьшается обратно пропорционально

квадрату расстояния от пласта до рассматриваемого слоя. В силу этого нижележащий слой изгибается больше вышележащего, что способствует расслоению и образованию полостей отслоения (рис.1.1). За счет отслоений происходит разуплотнение массива. При этом максимальное разуплотнение (раскрытие полостей отслоения) наблюдается вблизи пласта (рис.2.1, *а*) и постепенно уменьшаются к поверхности (рис.2.1, *б*).

В сечениях, удаленных

от забоя в сторону выработанного пространства, наблюдается некоторое закрытие отслоений, происходит частичное уплотнение массива.

В направлении развития горных работ по простираанию пласта один и тот же участок любого слоя претерпевает сначала изгиб положительной кривизны, затем отрицательной кривизны. В местах макси-

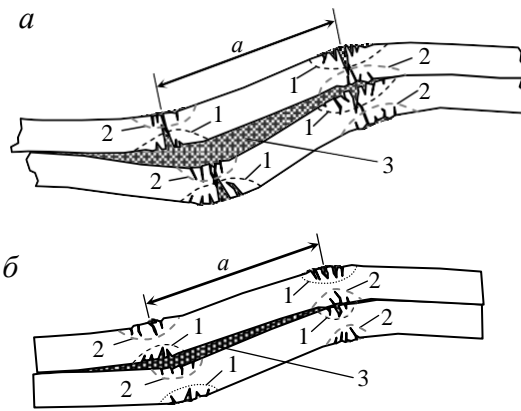


Рис.1.1. Схема образования техногенных трещин в слоях, расположенных вблизи пласта (*а*) и на некотором удалении от него (*б*)

1 – зона растяжения; 2 – зона сжатия; 3 – полость отслоения; *а* – размер блока

мальной кривизны образуются нормальносекущие слой трещины. При положительной кривизне в верхней части совместно прогибающейся пачки слоёв (в дальнейшем будем называть ее просто слоем), за счёт деформаций растяжения, наблюдается образование и раскрытие трещины, а в нижней части слоя кривизна отрицательная, и поэтому будут наблюдаться деформации сжатия, что приведёт к образованию трещин «смятия» (рис.2.1). Затем по мере подвигания забоя этот участок слоя (его верхняя часть) претерпевает изгиб отрицательной кривизны, а его нижняя часть - изгиб положительной кривизны. Вследствие этого нижняя часть слоя испытывает деформации растяжения с раскрытием нормальносекущих трещин, а верхняя часть - сжатие с их закрытием, переходящее в «смятие». Таким образом, развитие нормальносекущей трещины происходит от нижней и верхней части слоя навстречу друг другу. Между образовавшимися соседними нормальносекущими трещинами в слое формируется блок размером  $a$  (рис.2.1). При дальнейшем подвигании забоя кривизна становится примерно равной нулю (формирование участка плоского дна мульды). Этот процесс знакопеременных изгибов повторяется в слое через величину  $a$ .

Вблизи зоны обрушения, где деформации кривизны большие, нормальносекущие трещины, прорастая навстречу друг другу, разбивают слой на всю его мощность (рис.2.1,  $a$ ). По мере удаления от пласта к поверхности, т.е. по мере уменьшения кривизны слоев, проникновение и раскрытие трещин пропорционально этому уменьшению. В результате на некотором расстоянии по нормали от пласта имеется такой слой, в котором трещины проникли не на всю его мощность. Этот слой относительно нижележащих слоев сохраняет свои водоупорные свойства, и к нему приурочивается верхняя граница зоны водопроводящих трещин (ЗВТ). Максимальное значение кривизны слоя, приуроченного к верхней границе ЗВТ, называется *граничной кривизной*. Расстояние по вертикали от выработанного пространства до слоя с граничной кривизной является *высотой ЗВТ*.

Ниже этого слоя расположена собственно *зона водопроводящих трещин* (ЗВТ), которая, как следует из вышеизложенного, состоит из двух гидравлически связанных между собою систем техногенных трещин: трещин расслоения и сквозных нормальносеку-

щих трещин. Если верхняя граница ЗВТ дойдет до нижней границы водного объекта, по этим каналам вода начинает поступать в выработанное пространство. Поскольку степень трещиноватости зоны увеличивается в направлении от слоя на верхней границе ЗВТ к пласту, то в зависимости от того, насколько верхняя граница ЗВТ выше нижней границы водного объекта, в выработки вода будет поступать либо в виде фильтрации, либо в виде прорыва.

В слоях выше ЗВТ деформации кривизны меньше граничной кривизны, проникновение нормальносекущих трещин происходит не на всю мощность слоев, т.е. в середине слоя остается ненарушенный нормальносекущими трещинами участок (рис.2.1, б). По мере удаления от пласта это проникновение магистральных трещин все меньше, соответственно мощность ненарушенного водоупорного участка слоя все больше. И, несмотря на то, что здесь тоже образуются расслоения за счет изгибов и полости отслоения (правда, не такие большие, как в ЗВТ), гидравлической связи между вышележащими и нижележащими расслоениями не будет. Так формируется зона водопроницающих трещин при выемке первого пласта свиты, т.е. в условиях первичной подработки.

При подработке массива такой структуры вторым пластом свиты в зоне полных сдвижений первого пласта процессы деформирования будут протекать следующим образом. Слои междупластия (массив между первым и вторым пластами свиты) деформируются как при первичной подработке. Слои над отработанным первым пластом подвергаются повторному изгибу. Как показывают натурные наблюдения за сдвигами и деформациями массива, кривизна всех повторно подрабатываемых слоев одинакова, т.е. слои вписываются друг в друга без образования полостей отслоения, и равна по абсолютной величине кривизне, получаемой на поверхности согласно существующему методу расчета [3, 4].

Аналогичная картина будет наблюдаться при выемке третьего пласта свиты в зоне полных сдвижений от первого и второго пластов. Только в этом случае абсолютные значения максимальной кривизны повторно подрабатываемых слоев будут меньше, чем при выемке второго пласта свиты, так как глубина разработки будет не-

сколькo больше. Слои при изгибе здесь также вписываются друг в друга без зависания.

Поскольку процессы повторных деформаций слоев рассматриваются в зоне полных сдвижений, каждый слой массива, испытав изгиб положительной и отрицательной кривизны, переходит в плоское дно мульды сдвижения, где кривизна становится примерно равной нулю. Изгиб слоев проходит в местах образовавшихся нормальнонаправленных трещин от выемки первого пласта свиты. При этом раскрытие этих трещин происходит на меньшую величину по сравнению с той, которая была при первичной подработке этих слоев, так как кривизна слоев при повторных подработках меньше, чем при первичной подработке. Таким образом, условий для развития трещин до сквозных в тех слоях, где они несквозные, нет. Верхняя граница зоны водопроницаемых трещин останется в том же слое, и сама зона при выемке второго, третьего и последующих пластов свиты не увеличится.

Отсюда следует, что наиболее благоприятными условиями подработки водных объектов является бесцеликсовая выемка пластов свиты, обеспечивающая попадание водного объекта в зону полных сдвижений. Это позволит уменьшить потери и снизить вредное воздействие на окружающую геологическую среду.

Если при отработке свиты пластов в зоне полных сдвижений не происходит накопление деформаций, то при полном или частичном совпадении границ выработок по пластам свиты происходит накопление деформаций в виде их сложения от каждого из обрабатываемых пластов. При полном совпадении границ сумма деформаций максимально возможная. При частичном совпадении границ взаимного положения выработок по различным пластам добавка деформаций к суммарным может составлять от нуля до максимально возможной в данных условиях. Количественно размер добавки деформаций пропорционален степени совпадения границ выработок. Степень совпадения границ выработок по различным пластам свиты можно определить через прогноз зон влияния сдвижений и деформаций от этих обрабатываемых пластов, основы которого изложены в существующем методе расчета сдвижений и деформаций [3, 4].

Таким образом, при выемке второго (нижележащего) пласта свиты общая кривизна слоев над ранее отработанным первым пластом возрастет, вследствие чего значение граничной кривизны переместится в слой, расположенный дальше по нормали от выработанного первого пласта. Соответственно этому переместится верхняя граница ЗВТ, и ее высота относительно первого пласта возрастет. Последняя может быть определена из условия накопления деформаций кривизны на верхней границе этой зоны в зависимости от взаимного положения нижних (верхних) границ горных работ первого и второго пластов. Аналогичные деформационные процессы изменения параметров зоны водопрводящих трещин в сторону их увеличения будут протекать при выемке третьего и последующих пластов свиты на участках полного или частичного совпадения границ выемки.

Изложенные геомеханические процессы образования над выработанным пространством пластов техногенных зон водопрводящих трещин являются основой прогнозных расчетов высоты зоны водопрводящих трещин.

**Задание № 1: Прогноз развития зоны  
водопрводящих трещин при выемке одного пласта (при  
первичной подработке)**

Прогноз основан на определении расстояния от пласта по вертикали до слоя, имеющего изгиб, равный граничной кривизне ( $K_T$ ), то есть на определении высоты распространения ЗВТ ( $H_T$ ).

Кривизну слоя, приуроченного к поверхности, согласно существующему методу расчета сдвижений и деформаций [3, 4, 5], можно определить для полумульды по простираанию следующим образом:

$$K = \frac{\eta_{\max}}{L_3^2} F'(z), \quad (2.1)$$

где  $\eta_{\max}$  – максимальное оседание земной поверхности;  $L_3$  – размер полумульды по простираанию пласта;  $F'(z)$  – функция типовой кривой для кривизны. Максимальное оседание

$$\eta_{\max} = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2, \quad (2.2)$$

где  $q_0$  – относительное максимальное оседание;  $m$  – вынимаемая мощность пласта;  $\alpha$  – угол падения пласта;  $N_1, N_2$  – коэффициенты, учитывающие степень подработанности толщи соответственно вкрести по простиранию пласта. При горизонтальном залегании пласта или по его простиранию  $\alpha = 0^\circ$  и полной подработке ( $N_1 = 1$  и  $N_2 = 1$ ) выражение (2.2) примет вид

$$\eta_{\max} = q_0 m. \quad (2.3)$$

Полумульду по простиранию в формуле (2.1) определим из выражения, вытекающего из геометрической схемы образования полумульды на разрезе по простиранию пласта:

$$L_3 = H(\operatorname{ctg} \psi_3 + \operatorname{ctg} \delta_0), \quad (2.4)$$

где  $H$  – глубина пласта;  $\psi_3$  и  $\delta_0$  – соответственно угол полных сдвижений и граничный угол в главном сечении мульды сдвижения по простиранию пласта.

После подстановки (2.3) и (2.4) в (2.1) максимальное значение кривизны на расстоянии по вертикали от пласта  $H$  запишется так:

$$K = \frac{q_0 m F'(z)_{\max}}{H^2 (\operatorname{ctg} \psi_3 + \operatorname{ctg} \delta_0)^2}, \quad (2.5)$$

где  $F'(z)_{\max}$  – максимальное значение функции типовой кривой  $F'(z)$  для кривизны.

Если в формулу (2.5) вместо  $H$  (расстояние по вертикали от пласта до поверхности) подставить  $H_T$  (расстояние по вертикали от пласта до слоя, приуроченного к верхней границе зоны водопродящих трещин, т.е. высота ЗВТ), то получим формулу расчета *граничной кривизны*  $K_T$ :

$$K_T = \frac{q_0 m F'(z)_{\max}}{H_T^2 (\operatorname{ctg} \psi_3 + \operatorname{ctg} \delta_0)^2}. \quad (2.6)$$

Анализируя значения функции типовой кривой для кривизны [3], можно принять  $F'(z)_{\max} = 7,25$ . Относительное максимальное оседание для большинства угольных бассейнов  $q_0 \approx 0,7$ . При углах паде-

ния пластов до  $45^\circ$  сумма  $(\text{ctg}\psi_3 + \text{ctg}\delta_0) \approx 1,1$ . Отсюда формула (2.6) примет следующий вид:

$$\frac{K}{\Gamma} = \frac{0,7m \cdot 7,25}{H^2 \cdot 1,1^2} = \frac{5m}{H_T^2}. \quad (2.7)$$

Решив уравнение (2.7) относительно  $H_T$ , получим

$$H_T = 2,24 \sqrt{\frac{m}{\Gamma}}. \quad (2.8)$$

Таким образом, высота зоны водопроницающих трещин при выемке пласта (условия первичной подработки) определяется по формуле

$$H_T = 2,24 \sqrt{\frac{m}{\Gamma}}. \quad (2.9)$$

отсюда

$$\frac{K}{\Gamma} = \frac{4m}{H^2}. \quad (2.10)$$

Натурные исследования по определению высоты зоны водопроницающих трещин, проведенные в Кузнецком, Карагандинском, Донецком, Сучанском и Кизеловском угольных бассейнах, показали, что при одной и той же вынимаемой мощности пласта зона водопроницающих трещин возрастает с уменьшением в толще глинистых пород (алевролитов, аргиллитов и глинистых сланцев) и уменьшается с увеличением в толще пород глинистого состава [1, 2]. Это учитывается через зависимость граничной кривизны  $K_\Gamma$  (максимальной кривизны на верхней границе ЗВТ) от содержания в подрабатываемой толще пород глинистого состава (алевролитов, аргиллитов и глинистых сланцев):

$$K_\Gamma = 0,8e^A \cdot 10^{-3}, \text{ 1/м}. \quad (2.11)$$

где  $A$  – содержание глинистых пород (алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и др.) в долях от подрабатываемой толщи;  $e$  – основание натуральных логарифмов.

На практике, входящий в формулу (2.11) параметр  $A$ , определяется по данным геологической разведки следующим образом. По ближайшей к району прогнозирования высоты распространения



ЗВТ скважине, по которой имеется геологическая колонка, определяются мощности пород глинистого состава  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  и вся мощность подрабатываемых пород  $L$ , исключая мощность наносов, (рис. 2.1). Определения заключаются в прямом измерении линейкой указанных величин непосредственно по геологическому разрезу (колонке). В результате содержание глинистых пород (в рассматриваемом случае алевролитов) в долях от подрабатываемой толще составит

$$A = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{L} \quad (2.12)$$

или

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L}, \quad (2.13)$$

$n$  – количество слоёв пород глинистого состава.

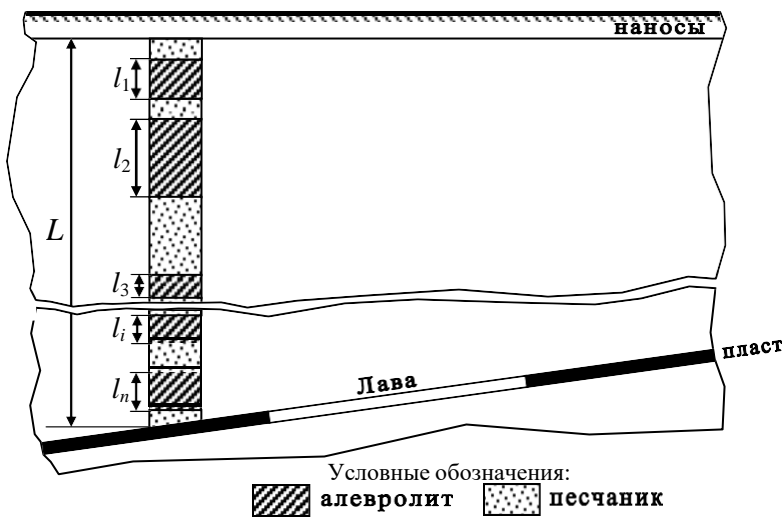


Рис. 2.1. Схема к определению содержания пород глинистого состава в подрабатываемой толще

Условия деформирования наносов отличаются от коренных пород. Образующиеся в наносах грунтовые трещины под влиянием под-

работки либо совпадают в плане с границей ЗВТ в коренных породах, либо располагаются ближе последних к границе мульды сдвижения. Грунтовые трещины увеличивают водопроницаемость наносов. Поэтому размеры предохранительных целиков под водными объектами должны определяться с таким расчетом, чтобы на охраняемой площади водного объекта не образовывалось грунтовых трещин. Для выполнения данного условия и с учетом выявленного местоположения внешних границ водопроводящих трещин в коренных породах боковую границу ЗВТ следует строить по углам разрывов ( $\beta''$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta''$ ) и по этим же углам осуществлять построение предохранительных целиков.

Таким образом, внешняя (боковая) граница зоны водопроводящих трещин определяется углами разрывов ( $\beta''$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta''$ ), верхняя граница – высотой распространения этой зоны ( $H_T$ ). Отсюда можно оконтурить ЗВТ, образовавшуюся в слоях подрабатываемой толщи над очистным пространством горной выработки (см. рис.2.2).

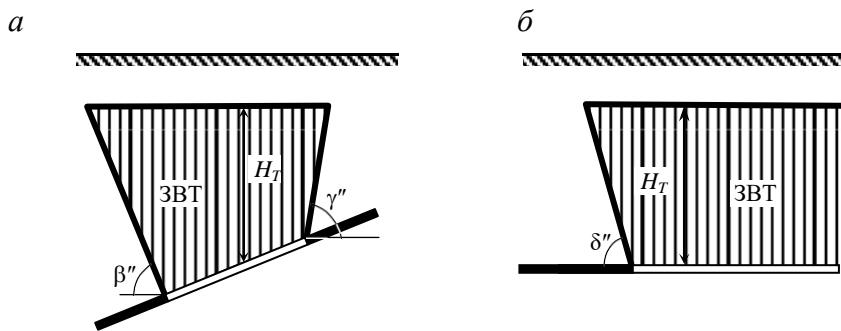


Рис.2.2. Построение контура зоны водопроводящих трещин: *a* – на разрезе вкост простиранья; *б* – на разрезе по простиранью  
 $H_T$  – высота ЗВТ;  $\beta''$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta''$  – углы разрывов

Безопасная глубина ( $H_6$ ) численно равна высоте зоны водопроводящих трещин ( $H_T$ ) и поэтому определяется по формуле структурно аналогичной (2.8) и (2.9):

$$H_6 = |H_T| = \left| 2 \frac{m}{\lambda_T} \right| \quad (2.14)$$

где  $K_{\Gamma}$  – граничная кривизна, определяемая по формуле (2.11).

Для нахождения горизонта безопасной глубины ведения горных работ под водными объектами  $H_6$ , рассчитанное по формуле (2.14), необходимо отложить по вертикали от поверхности вниз (рис. 2.3, а).

Для нахождения высоты зоны водопроницаемых трещин величину  $H_T$ , рассчитанную по формулам (2.8) и (2.9), необходимо отложить от пласта вверх по вертикали и в этом случае также можно определить границу безопасного ведения горных работ под водным объектом (рис. 2.3, б).

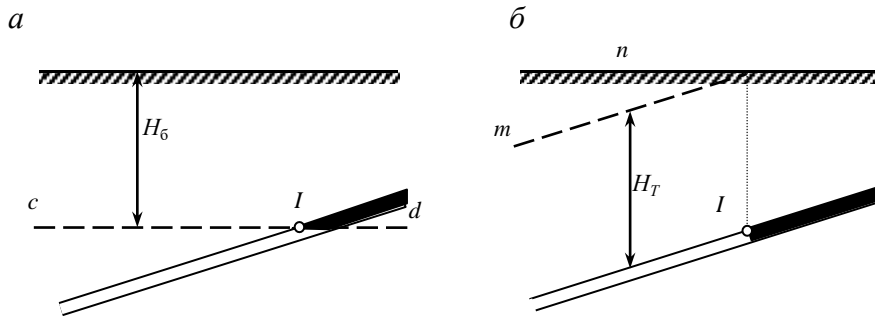


Рис.2.3. Определение границы безопасного ведения горных работ под водным объектом по  $H_6$  (а) и по  $H_T$  (б):

$cd$  – горизонт безопасной глубины;  $mn$  – верхняя граница ЗВТ;  $I$  – граница безопасного ведения горных работ по пласту

### Порядок выполнения задания № 1.

Задание включает в себя вычислительную и графическую части. Вычислительная часть выполняется в программной среде *Mathcad*, графическая часть – в *AutoCAD*.

#### 1. Вычислительная часть:

- 1) по геологической колонке, которая дана в задании, определяется содержание глинистых пород в долях от подрабатываемой толщи ( $A$ ) по схеме на рис. 2.1 и формулам (2.12) и (2.13);
- 2) используя полученную для конкретных условий величину  $A$ , рассчитывается граничная кривизна  $K_{\Gamma}$  по формуле (2.11);
- 3) по формуле (2.9), с учётом полученной  $K_{\Gamma}$ , определяют  $H_T$  - высоту распространения зоны водопроницаемых трещин (ЗВТ) в рассматриваемых условиях задания;

- 4) затем по формуле (2.14) определяется безопасная глубина ведения горных работ под водными объектами  $H_6$ ;
- 5) по Правилам [3, 4] определяют углы разрыва  $\beta''$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta''$ .
- 6) для оценки расчётного способа получения  $H_6$  (п. 4)) эта величина должна быть ещё определена по Правилам [3, 4]

#### II. Графическая часть:

- 1) строится горно-геологический разрез вкрест простирания пласта, аналогичный разрезу на рис. 2.1 (исходные данные для построения – в задании);
- 2) на этом разрезе, используя полученную для данных условий  $H_T$ , строят верхнюю границу зоны водопроводящих трещин (ЗВТ), а по углам разрыва  $\beta''$ ,  $\gamma''$  - её боковую границу, в результате в массиве получаем контур ЗВТ (см. рис. 2.2); здесь же строится горизонт безопасной глубины, откладывая величину  $H_6$  от поверхности по вертикали вниз (рис. 2.3, а);
- 3) средствами программы *AutoCAD* разрез необходимо преобразовать в 3D-изображение, по которому распечатывается 4 вида:
  - вкрест простирания пласта;
  - по простиранию;
  - в плане (вид сверху);
  - в изометрии.

Выполнение вычислительной и графической частей работы должно сопровождаться необходимыми поясняющими подписями.

## **2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2: Прогноз развития зоны водопроводящих трещин при выемке свиты пластов (при повторной подработке)**

Методика расчета безопасной глубины разработки свиты угольных пластов под водными объектами основана на следующих принципах:

1. В разделе 1 показано, что на верхней границе зоны водопроводящих трещин, образующейся после выемки одного (первого) пласта свиты, максимальная кривизна прогиба слоев равна граничной кривизне  $K_T$ . С каждой новой подработкой толщи (отработка второго и последующих пластов свиты) кривизна слоев над ранее отработанным первым пластом свиты будет возрастать, соответст-

венно этому в толще горных пород граничная кривизна будет перемещаться от слоя к слою в сторону удаления от первого пласта свиты. Можно с достаточным основанием предположить, что аналогично будет перемещаться и верхняя граница ЗВТ. Отсюда следует, что для определения высоты ЗВТ при повторной подработке достаточно установить величину *перемещения (удаления от верхнего пласта) точек с граничной кривизной*.

2. При повторной подработке безопасную глубину следует определять с таким расчетом, чтобы зона водопродящих трещин не распространялась за пределы нижнего контура водного объекта в *наиболее неблагоприятных условиях*. Такие условия возникают при расположении границ лав в различных пластах свиты на одной нормали к плоскости напластования. При таком совпадении границ лав суммируются максимальные значения кривизны, вследствие чего высота ЗВТ над выработанным пространством верхнего (первого) пласта свиты достигает максимально возможной величины. При ведении горных работ на безопасной глубине, определенной исходя из этого принципа, безопасные условия подработки водных объектов обеспечиваются при любом возможном расположении границ очистных выработок. При выемке первого пласта свиты мощностью  $m_1$  граничная кривизна будет в слое, расположенном на расстоянии  $H_{Г1}$  (рис. 3.1), что, согласно формуле (2.10), запишется следующим образом:

$$K_{Г} = \frac{4m_1}{H^2} \quad (3.1)$$

При выемке второго пласта свиты общая кривизна слоев над ранее отработанным (первым) пластом возрастет, вследствие чего значение граничной кривизны переместится в слой, расположенный дальше по нормали от первого пласта на расстояние  $H_{Г2}$ , что можно записать следующим образом:

$\frac{2}{T_2}$

$$K_{\Gamma} = \frac{4m_1}{H} + \frac{4a_2 m_2}{(H_{T_2} + N_1)^2}. \quad (3.2)$$

При выемке третьего пласта свиты условие накопления деформаций в подрабатываемом массиве при совпадающих границах горных выработок по трем пластам будет соответствовать процессу сложения деформаций (3.2), при этом, слой с граничной кривизной переместится еще дальше, на расстояние  $H_{T_3}$  (рис. 3.1):

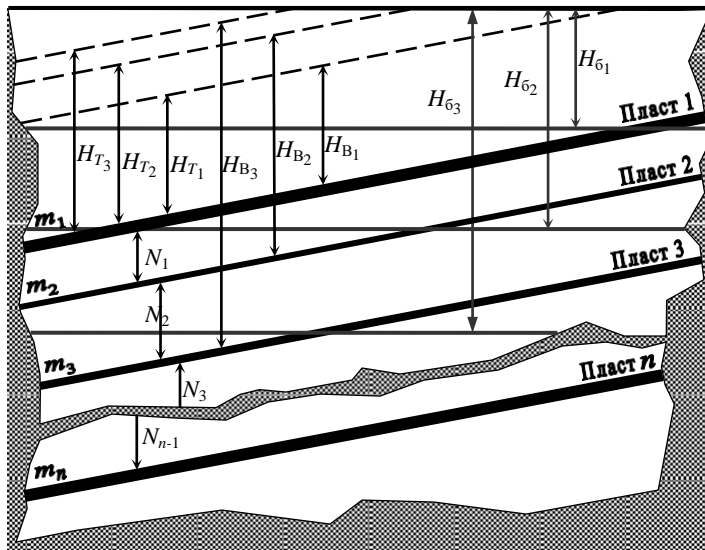


Рис.3.1. Схема к расчету безопасной глубины при выемке свиты пластов под водным объектом

$H_{T_1}, H_{T_2}, H_{T_3}$  – высота ЗВТ над верхним (первым) пластом, соответственно сформировавшейся от выемки 1-, 2- и 3-го пластов свиты;  $H_{B_1}, H_{B_2}, H_{B_3}$  – высота ЗВТ, соответственно сформировавшейся над 1-, 2- и 3-м пластами свиты;  $H_{\delta_1}, H_{\delta_2}, H_{\delta_3}$  – безопасная глубина, соответственно для 1-, 2- и 3-го пластов свиты;  $N_1, N_2, \dots, N_{n-1}$  – мощность междупластий;  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – вынимаемая мощность пластов

$$\frac{K}{\Gamma} = \frac{4m_1}{\Gamma} + H_{T_3}^2 \left( \frac{4a_2m_2}{(H_{T_3} + N_1)^2} + \frac{4a_3m_3}{(H_{T_3} + N_1 + N_2)^2} \right). \quad (3.3)$$

После выемки пласта с порядковым номером  $n$  по аналогии с уравнениями (3.2) и (3.3) можно записать, что

$$\frac{K}{\Gamma} = \frac{4m_1}{\Gamma} + 4 \sum_{i=2}^n \frac{a_i m_i}{\left( H_{T_n} + \sum_{i=2}^{i-1} N_{i-1} \right)^2}, \quad (3.4)$$

где  $K_\Gamma$  – граничная кривизна, определяемая по формуле (2.11);  $H_{T_n}$  – высота ЗВТ над верхним пластом свиты, сформировавшейся вследствие последовательной выемки  $n$  пластов;  $a_i$  – коэффициент, учитывающий активизацию процесса сдвижения при выемке второго и последующих пластов свиты ( $i = 2, 3, \dots, n$ );  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – вынимаемые мощности пластов свиты;  $N_1, N_2, \dots, N_{n-1}$  – мощности междупластий.

Входящий в уравнение (3.4) коэффициент  $a_i$ , учитывающий активизацию процесса сдвижения при повторной подработке водного объекта пластом с порядковым номером  $i$ , может быть определен по формуле

$$a_i = q_i q_1, \quad (3.5)$$

где  $q_i$  – относительное максимальное оседание при выемке пласта с порядковым номером  $i$ ;  $q_1$  – то же, при выемке верхнего (первого) пласта свиты. Параметры  $q_i$  и  $q_1$  в формуле (3.5) определяются по [3, 4].

Точное решение уравнения (3.4) относительно  $H_{T_n}$  не представляется возможным. Поэтому  $H_{T_n}$  можно найти либо через интерполирующие функции [1], либо из частного решения при принятии определенных условий. Так, если в уравнении (3.4) принять

$$\sum_{i=2}^{i-1} N_{i-1} = 0 \quad (\text{условие слоевой выемки мощного пласта}),$$

решение уравнения (3.4), а также (3.2) и (3.3), будет следующим:

$$H_{T_1} = 2\sqrt{\frac{m_1}{K_\Gamma}} \quad (3.6)$$

$$H_{T_2} = 2\sqrt{\frac{m_1 + a_2 m_2}{K_\Gamma}}; \quad (3.7)$$

$$H_{T_3} = 2\sqrt{\frac{m_1 + a_2 m_2 + a_3 m_3 K_\Gamma}{K_\Gamma}}; \quad (3.8)$$

.....

$$H_{T_n} = 2\sqrt{\frac{m_1 + \sum_{i=2}^{n-1} a_i m_i}{K_\Gamma}} \quad (3.9)$$

Для получения высоты ЗВТ относительно обрабатываемых пластов 1, 2, 3, ...,  $n$  необходимо учесть мощность междупластий (рис. 3.1):

$$H_{B1} = H_{T1}; \quad (3.10)$$

$$H_{B2} = H_{T2} + N_1; \quad (3.11)$$

$$H_{B3} = H_{T3} + N_1 + N_2; \quad (3.12)$$

.....

$$H_{B_n} = H_{T_n} + \sum_{i=2}^{i-1} N_{i-1}. \quad (3.13)$$

Отсюда, согласно выражению (2.14), безопасная глубина ведения горных работ под водным объектом для пластов 1, 2, 3, ...,  $n$  соответственно составит:

$$H_{61} = |H_{B1}|; \quad (3.14)$$

$$H_{62} = |H_{B2}|; \quad (3.15)$$

$$H_{63} = |H_{B3}|; \quad (3.16)$$

.....

$$H_{6n} = |H_{Bn}|. \quad (3.17)$$

### Порядок выполнения задания № 2.

Задание включает в себя вычислительную и графическую части. Вычислительная часть выполняется в программной среде *Mathcad*, графическая часть – в *AutoCAD*. Согласно заданию



необходимо спрогнозировать развитие ЗВТ от 3-х угольных пластов свиты и для каждого пласта определить безопасные условия ведения горных работ под водными объектами. Порядок отработки пластов – «сверху-вниз».

I. Вычислительная часть:

- 1) на произвольно выбранной вертикальной линии, пересекающей поверхность и пласты свиты угольных пластов на разрезе, представленном в задании, определяют глубины до каждого из трёх пластов свиты и мощности повторно подработанной толщи при отработке первого, второго и третьего пластов;
- 2) вычисляют относительные максимальные оседания при отработке первого, второго и третьего пластов свиты ( $q_i$ ) согласно разделу 7 Правил [3, 4] (рекомендуется  $q_i$  взять из Правил для Кузнецкого бассейна);
- 3) имея  $q_i$ , определяют  $a_i$  – коэффициент, учитывающий активизацию процесса сдвижения при выемке второго и последующих пластов свиты ( $i = 2, 3, \dots, n$ ), по формуле (3.5);
- 4) по формулам (3.6) - (3.8) получают высоту зоны водопродящих, относительно первого пласта свиты, для этого (первого) пласта -  $H_{Т1}$ , для второго пласта -  $H_{Т2}$ , для третьего пласта -  $H_{Т3}$ ;
- 5) по формулам (3.10) - (3.12) переходят к высоте зоны водопродящих трещин относительно обрабатываемых первого ( $H_{В1}$ ), второго ( $H_{В2}$ ), третьего ( $H_{В3}$ ) пластов свиты (при этом междупластья  $N_1, N_2$  и  $N_3$  в формулах (3.10) - (3.12) определяют по разрезу, представленному в задании);
- 6) используя вычисленные значения  $H_{В1}, H_{В2}, H_{В3}$ , определяют безопасные условия отработки свиты из трёх пластов по формулам (3.14) - (3.16), по которым вычисляются безопасные глубины ведения горных работ под водными объектами для пластов 1, 2 и 3 ( $H_{Б1}, H_{Б2}, H_{Б3}$ );
- 7) для оценки выполненных расчётов безопасной глубины (см. п. 6)) необходимо те же определения безопасных условий ведения горных работ под водными объектами произвести так, как это трактуется в Правилах [3, 4] и сравнить с расчётными величинами;

## II. Графическая часть:

1) на разрезе строится верхняя граница зоны водопроницаемых трещин 2-мя способами:

- либо путём откладывания от верхнего пласта свиты (пласта 1) вверх по вертикали величин, рассчитанных в п. 4);
  - либо путём откладывания от каждого пласта свиты свою, вычисленную высоту зоны водопроницаемых трещин (см. п. 6)),
- при этом, верхняя граница зоны водопроницаемых трещин строится в виде линии параллельной пластам;

2) затем по правилам, изложенным в разделе 2, строятся горизонты безопасной глубины для каждого пласта свиты (см. рис. 3.1).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасная выемка угля под водными объектами / Б.Я. Гвирцман, Н.Н. Кацнельсон, Е.В. Бошнятов и др. М.: Недра, 1977. 175 с.
2. Маркшейдерское обеспечение безопасности ведения горных работ вблизи опасных зон: Учеб. пособие / В.Н. Гусев, Е.М. Волохов. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2013. 60 с.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Министерство угольной промышленности СССР. М.: Недра, 1981. 288 с.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб, 1998. 291 с. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).
5. Сдвижение и деформации горных пород: Учеб. пособие / В.Н. Гусев, Е.М. Волохов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). 2-е изд., исправленное. СПб, 2008. 83 с.