



ГЕОМЕХАНИКА

(Сдвигание и деформации горных пород – 1-я часть)



Составитель: проф. Гусев В.Н.

Санкт-Петербург
2019 г.

Самые опасные формы сдвижения:

при подземной разработке



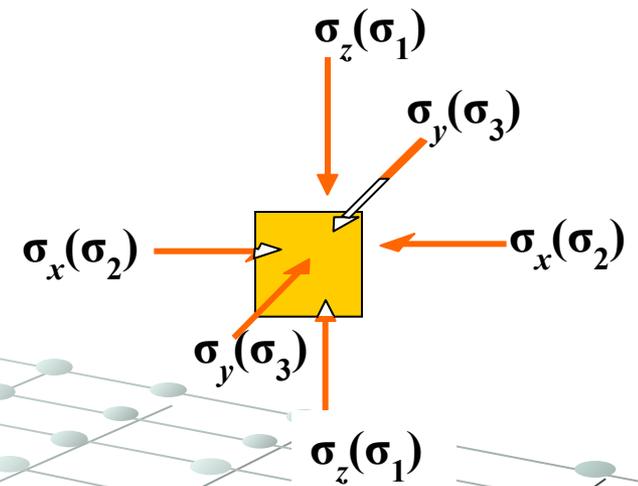
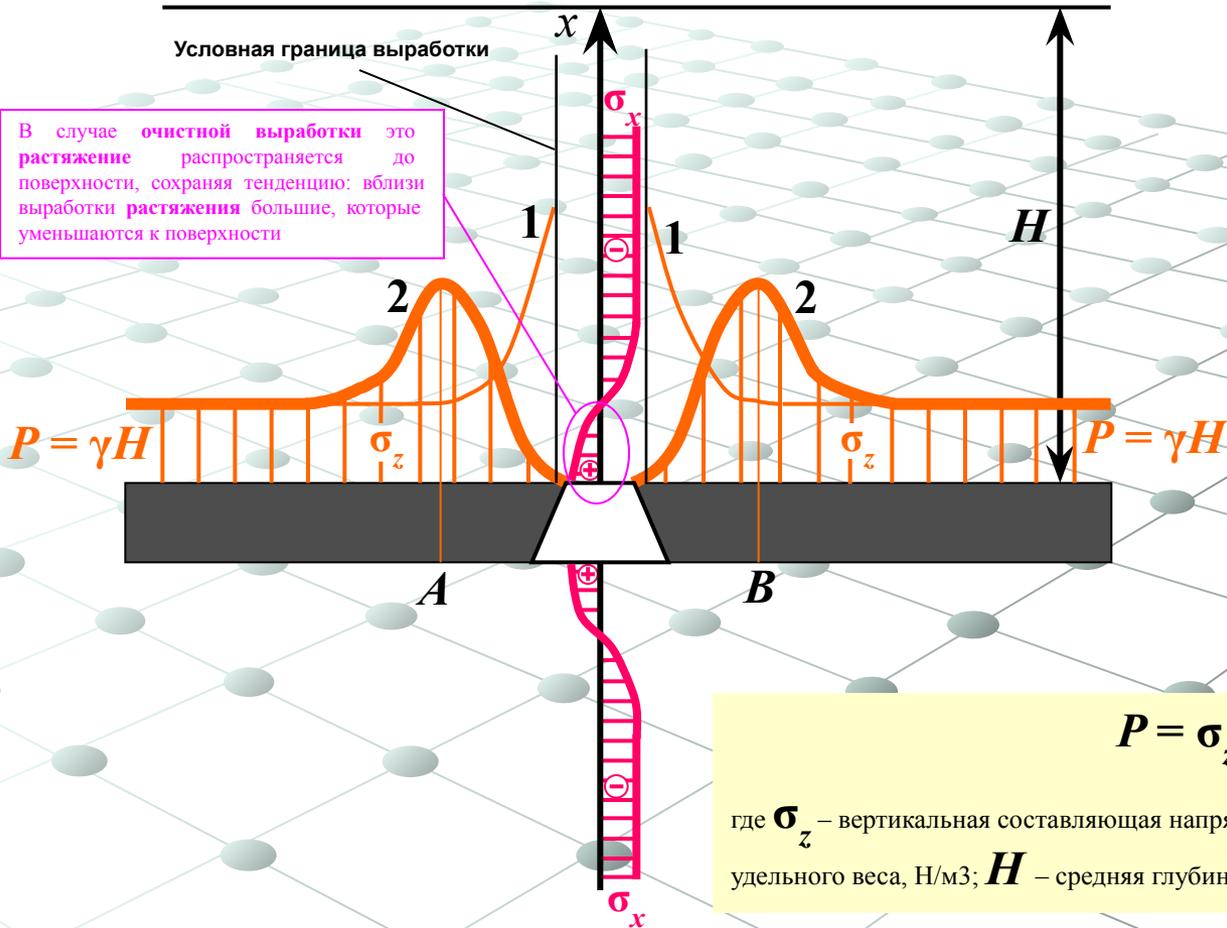
при открытой разработке



Эпюры распределения напряжений около подготовительной выработки

Условная граница выработки

В случае **очистной** выработки это **растяжение** распространяется до поверхности, сохраняя тенденцию: вблизи выработки **растяжения** больше, которые уменьшаются к поверхности



$$P = \sigma_z = \gamma H$$

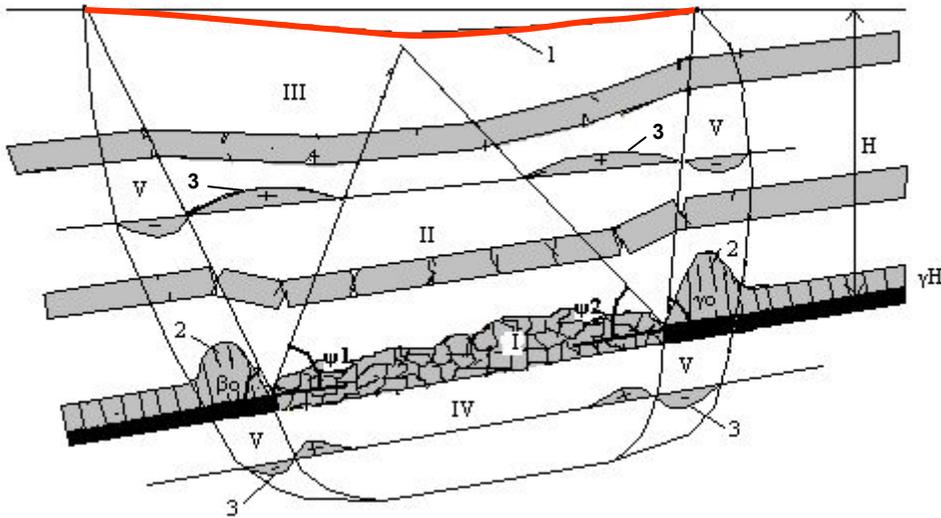
где σ_z – вертикальная составляющая напряжения; γ – средневзвешенное значение удельного веса, Н/м³; H – средняя глубина выработки, м.

$$\sigma_x = \sigma_y = k_{б.р.} \cdot \sigma_z$$

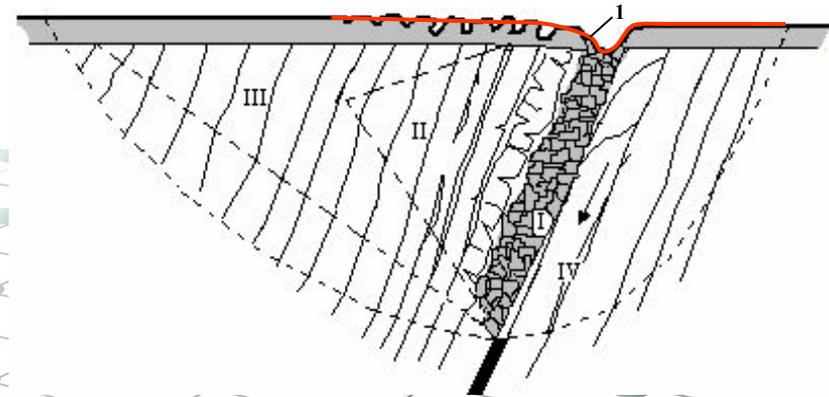
где $k_{б.р.}$ – коэффициент бокового распора; σ_x, σ_y – горизонтальные составляющие вертикального напряжения

Общая схема процесса сдвижения массива горных пород

при *пологом* падении



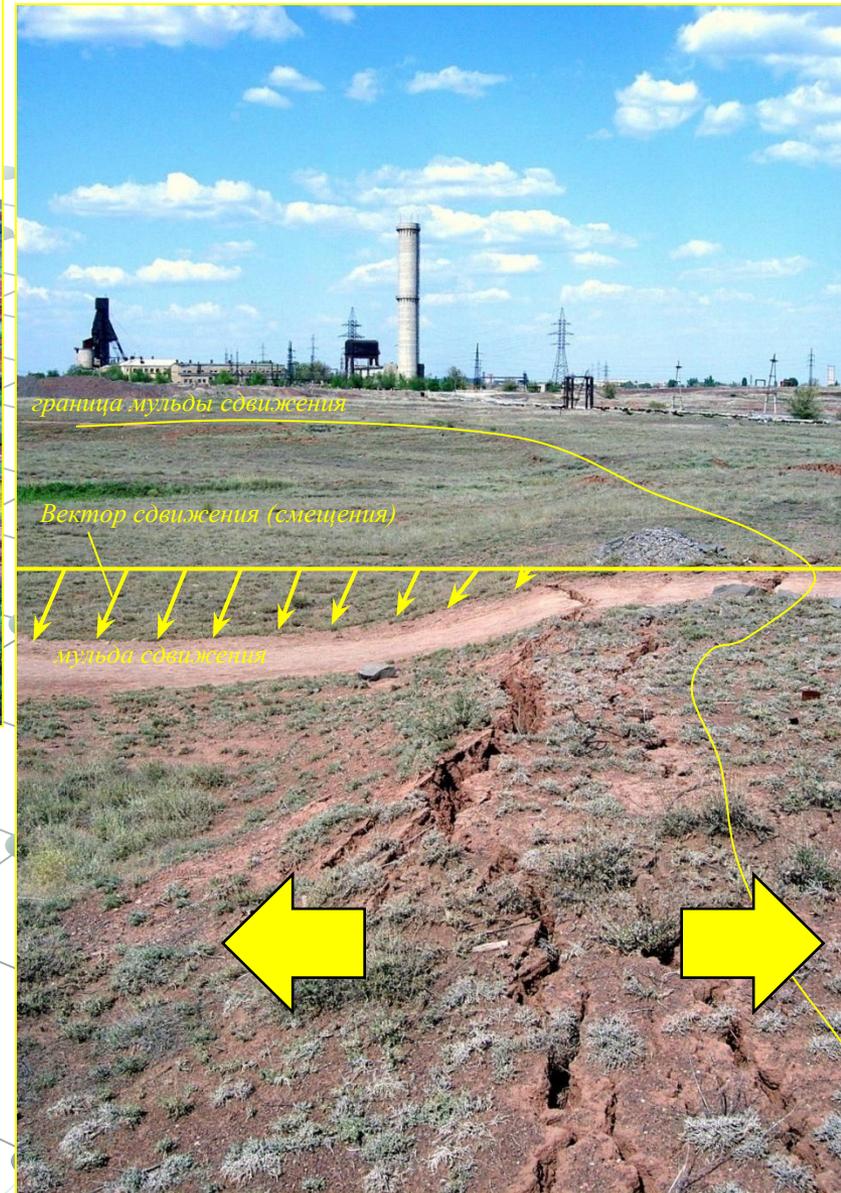
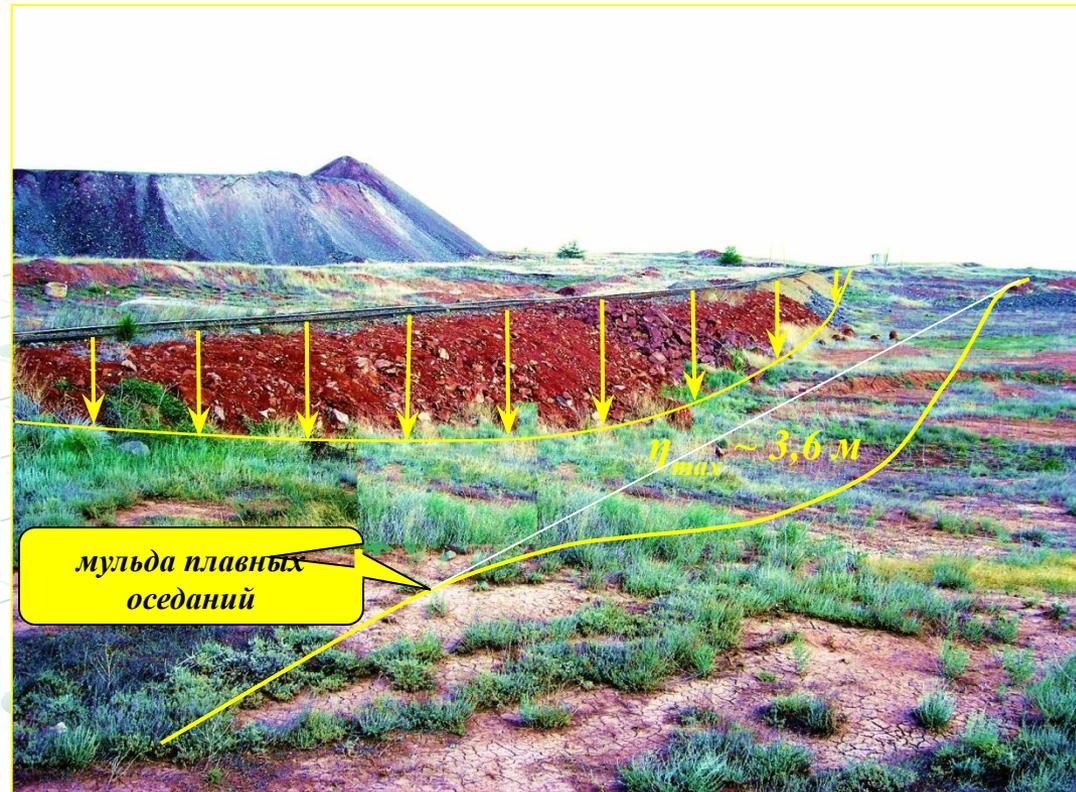
при *крутом* падении



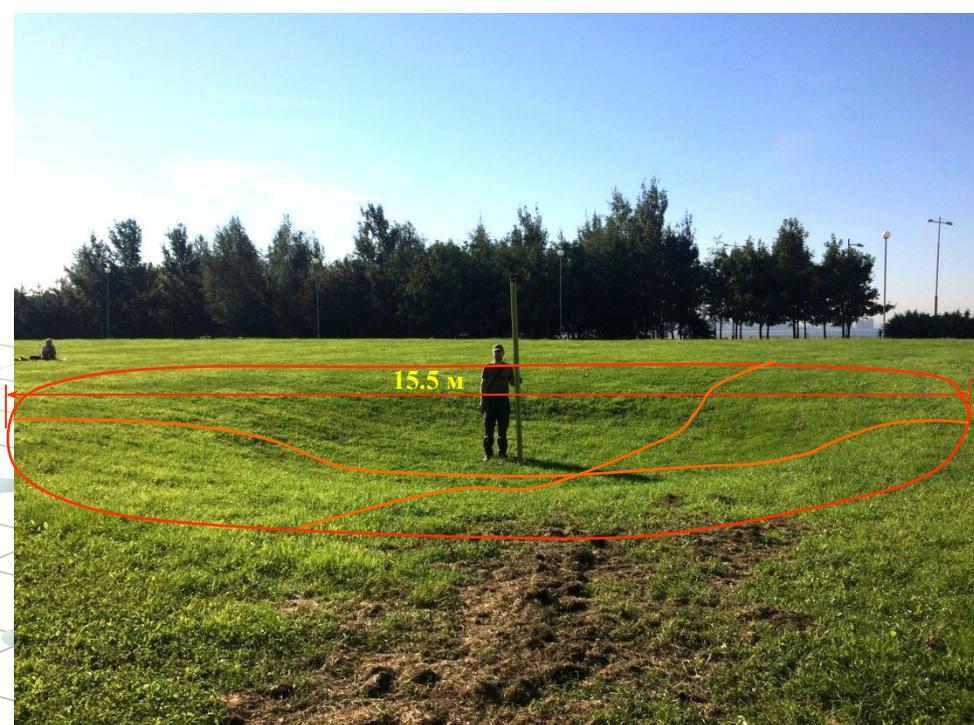
I – зона обрушения; **II** - зона прогиба напластований толщи пород в сторону выработанного пространства с образованием трещин нормальносекущих и расслоения; **III** - зона плавного прогиба пород без отслоения; **IV** - зона пучения и поднятия пород почвы в сторону выработанного пространства; при выемке **крутых пластов** в зоне **IV**, может возникнуть сползание пород почвы в выработанное пространство а на земной поверхности образование «ступенек», трещин, террас; **V** - зона опорного давления.

1 - **мульда сдвижения**; **2** - наибольшие нагрузки образуются у верхней и нижней границ очистной выработки, что приводит к отжиму пласта; **3** – эпюра деформаций растяжений-сжатий.

МУЛЬДА СДВИЖЕНИЯ



*Образование трещин отрыва в
зоне горизонтального
растяжения вблизи границы
мульды сдвига*



Мульда оседаний над ТПМК в парке «300-летия СПб» (проходка транспортного тоннеля метро 22.08.2016 г.).

Пригрузочная жидкость из-за потери герметичности не удержала кровлю призабойного пространства тоннеля диаметром 10 м, в результате образовалась мульда. Глубина до верха (кровли) тоннельной выработки ≈ 20 м.

Для масштаба снимки сделаны с нивелирной рейкой, длинна рейки – 3 м.

Оседания в центре мульды по данным измерений – 1.666 м (1666 мм), в разы превышают те, что проявлялись над осью при проходке (90-145 мм).

Опасность образования провала минимальна, но и её исключать нельзя. Поэтому необходимо принять меры по ограничению доступа в зону мульды-воронки (в парке много людей, они часто ходят прямо по газонам).

Полная подработка земной поверхности

Чем больше площадь выемки, тем больше значения сдвижений и деформаций земной поверхности. Однако их рост при увеличении площади выработанного пространства происходит только до определенного момента. Затем, несмотря на увеличение выработанного пространства, роста сдвижения и деформаций не происходит. Эта стадия называется **полной подработкой** земной поверхности. Она возникает при таких размерах выработанного пространства, когда в мульде сдвижения **максимальное оседание** не увеличивается при дальнейшем росте длины (ширины) выработанного пространства – в мульде образуется **плоское дно**.

Определение стадии **полной подработкой**

Коэффициентом подработанности земной поверхности называется отношение фактического размера выработанного пространства D к минимальному его размеру D_0 , при котором происходит полная подработка земной поверхности.

Различают **коэффициенты подработанности** земной поверхности

- на разрезе **вкрест простирания**

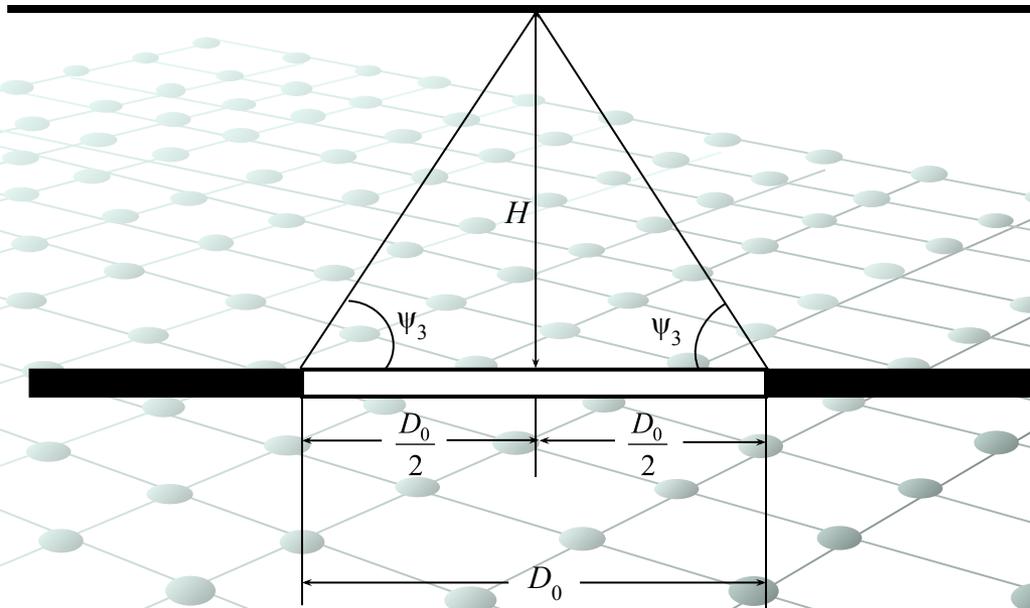
$$n_1 = \frac{D_1}{D_0} = 0,5 \frac{D_1}{H} \operatorname{tg} \psi_3$$

- на разрезе **по простиранию**

$$n_2 = \frac{D_2}{D_0} = 0,5 \frac{D_2}{H} \operatorname{tg} \psi_3$$

где D_1 и D_2 – фактические размеры выработанного пространства на разрезах по простиранию и вкрест простирания пластов; ψ_3 – угол полных сдвижений на разрезе по простиранию.

Вывод формул определения n_1 и n_2



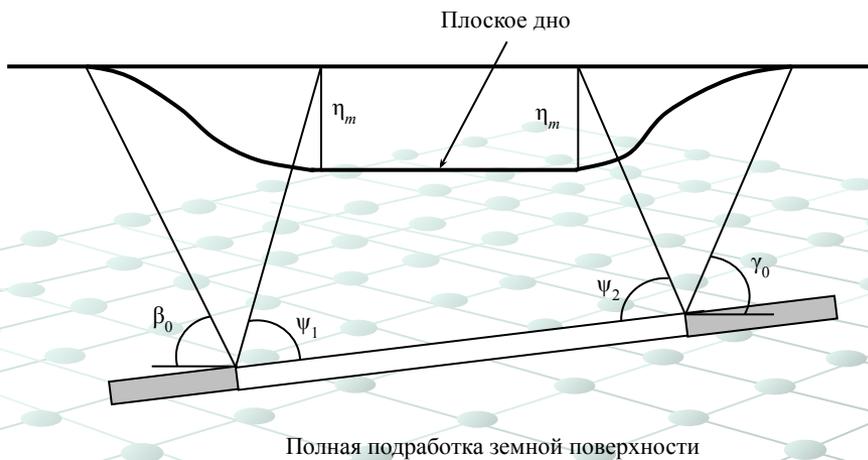
Минимальный размер, при котором наступает полная подрешетка D_0 :

$$0,5D_0 = H \operatorname{ctg} \psi_3,$$

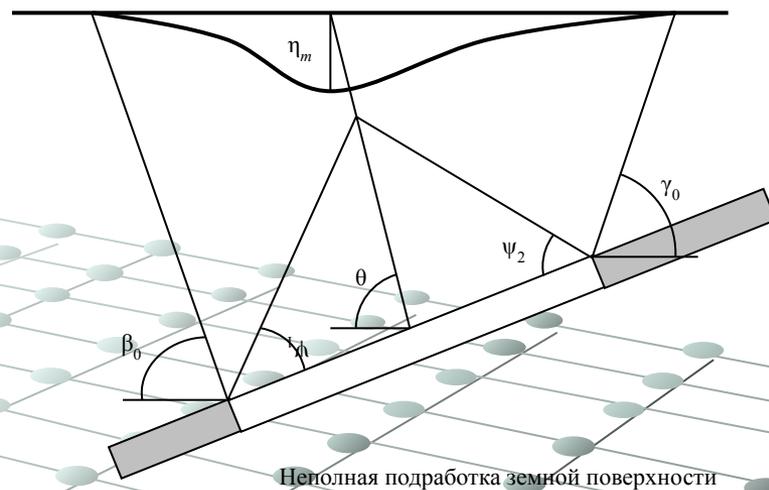
$$D_0 = 2H \operatorname{ctg} \psi_3,$$

$$\frac{D}{D_0} = \frac{D}{2H \operatorname{ctg} \psi_3} = 0,5 \frac{D}{H} \operatorname{tg} \psi_3.$$

В случае **полной подработки** n_1 (n_2) ≥ 1 начинает образовываться и образуется плоское дно

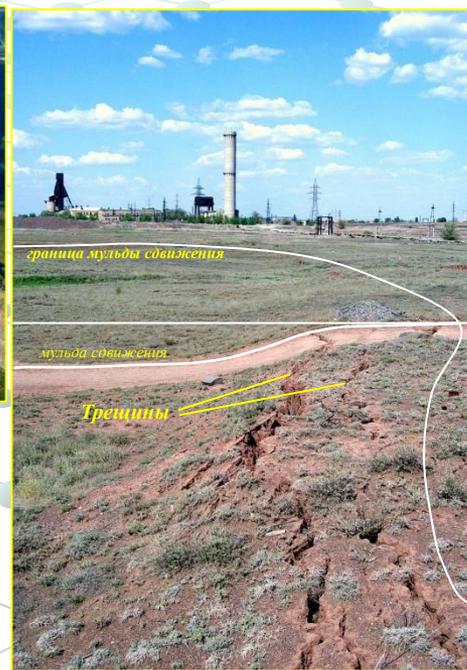


При **неполной подработке** n_1 (n_2) < 1 образуется мульда без плоского дна.



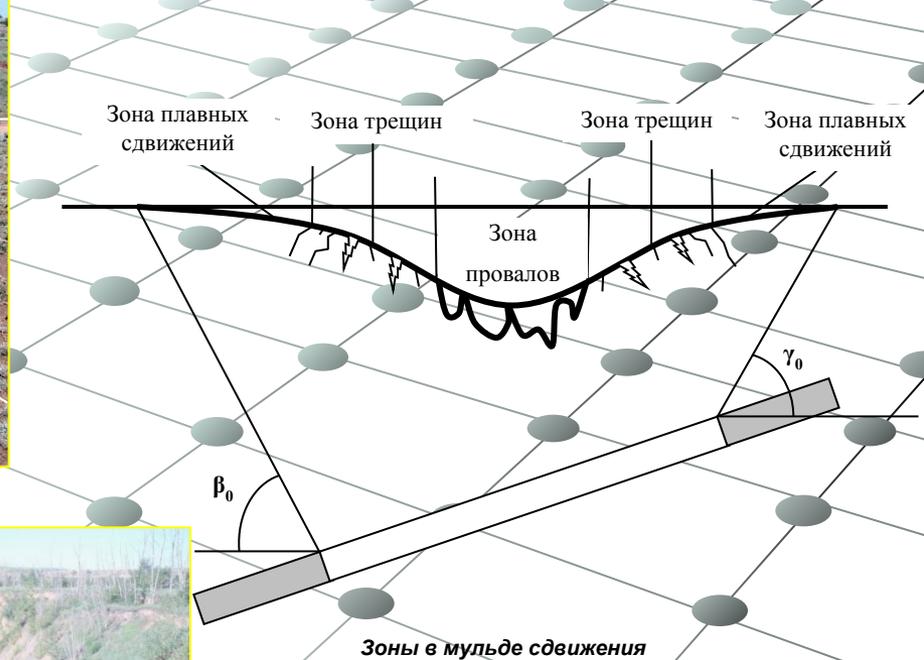
В мульде сдвижения различают зоны:

- **обрушения** – часть мульды, где на земной поверхности происходит образование воронок, провалов, трещин и террас (за границу этой зоны условно принимают контур, ограниченный трещинами шириной не менее 25 см);
- **трещин** – где происходит разрыв сплошности земной поверхности и образуются трещины (за ее внешнюю границу принимают контур крайних хорошо различимых трещин);
- **плавных сдвижений** – где земная поверхность подверглась сдвигению без разрыва сплошности;
- «**опасных**» сдвижений – где возникают деформации, опасные для зданий и сооружений.



7.06.05 г.

Провал земной поверхности на шахте Новая Белоусовского медного рудника (Восточн. Казахстан, около Усть-Каменногорска)



Главные сечения мульды сдвижения

Главные сечения мульды сдвижения – вертикальные сечения по простиранию и вкрест простирания пластов, проходящие через точки с максимальным оседанием земной поверхности.

Положение мульды сдвижения относительно выработанного пространства определяется с помощью

- граничных углов;**
- углов сдвижения;**
- угла максимального оседания и углов полных сдвижений,**

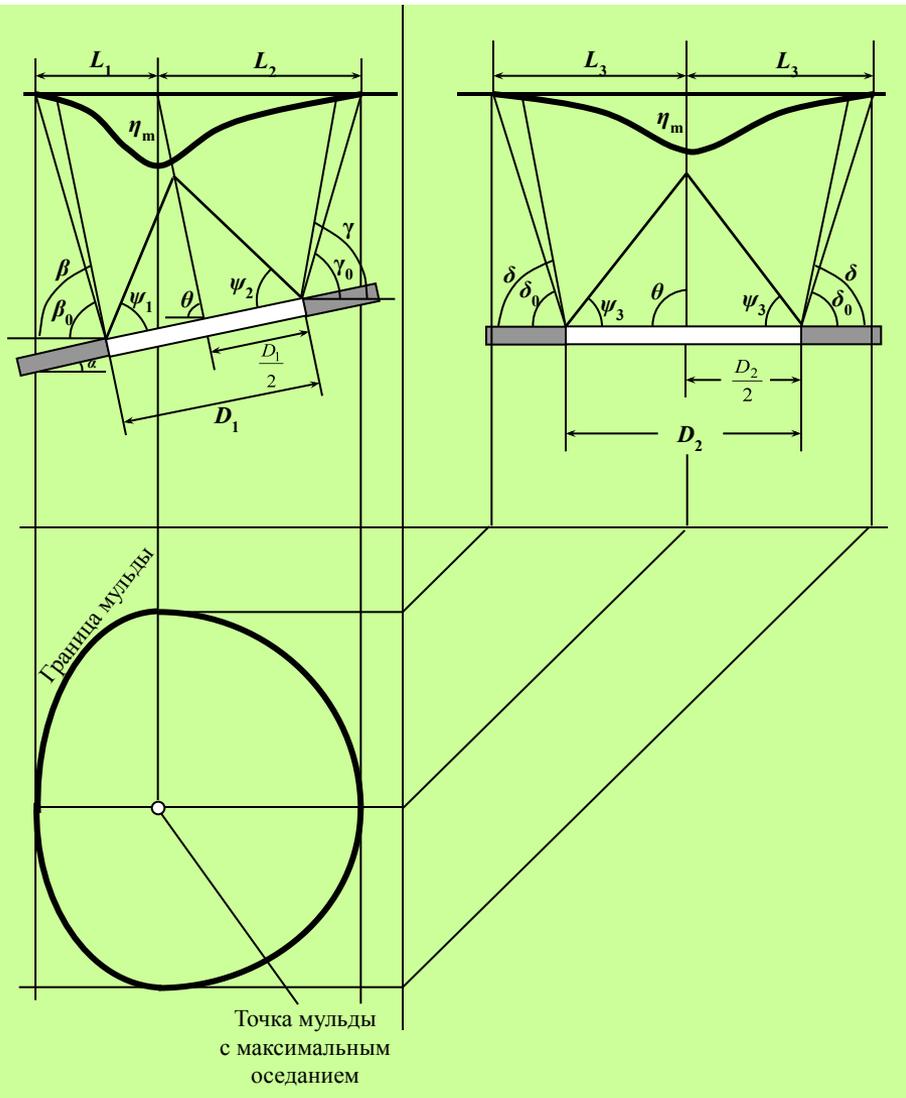
которые строятся в **главных сечениях мульды сдвижения.**

Выработки имеют размеры D_1 и D_2 (стандартное обозначение) соответственно вкрест и по простиранию.

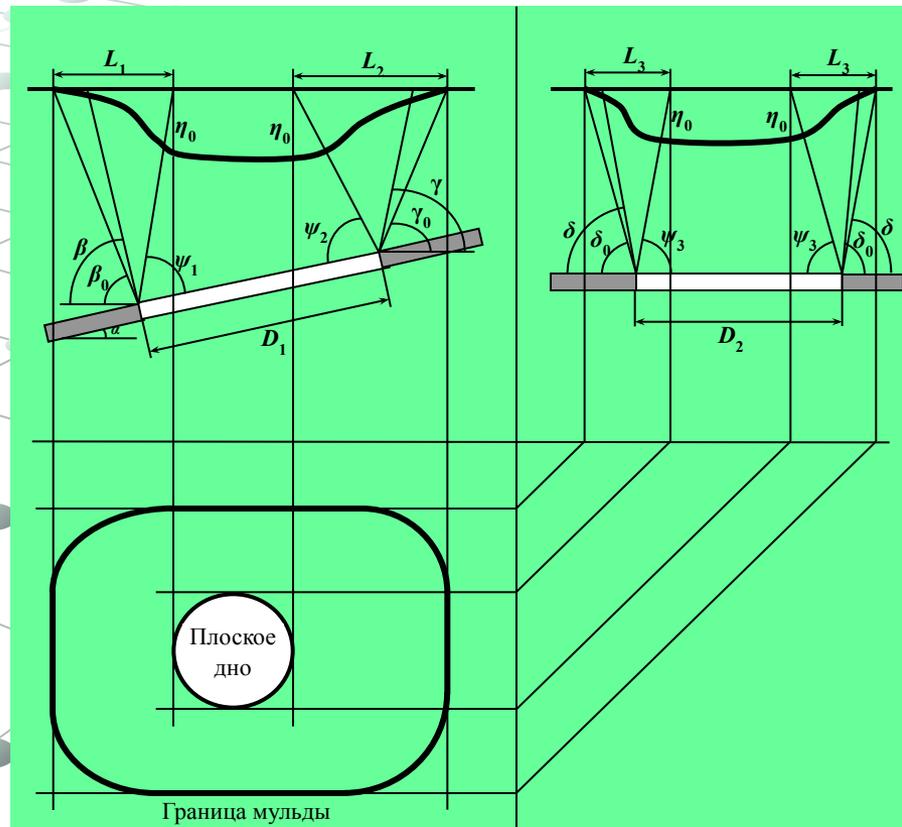
Длина полумульд L_1, L_2, L_3 (стандартное обозначение) соответственно со стороны падения, восстания и простирания.

Мульда и угловые параметры сдвижения

при *неполной подработке*
и пологом залегании пласта

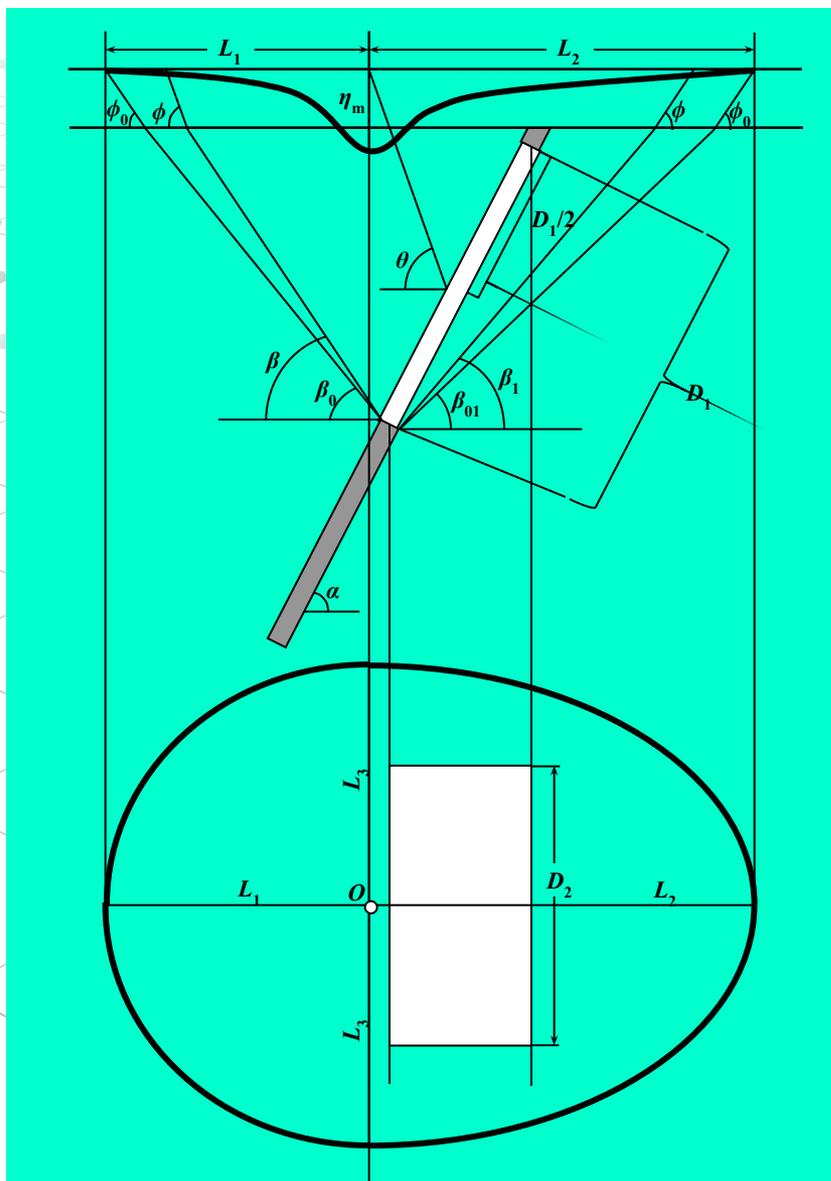


при *полной подработке*
и пологом залегании пласта

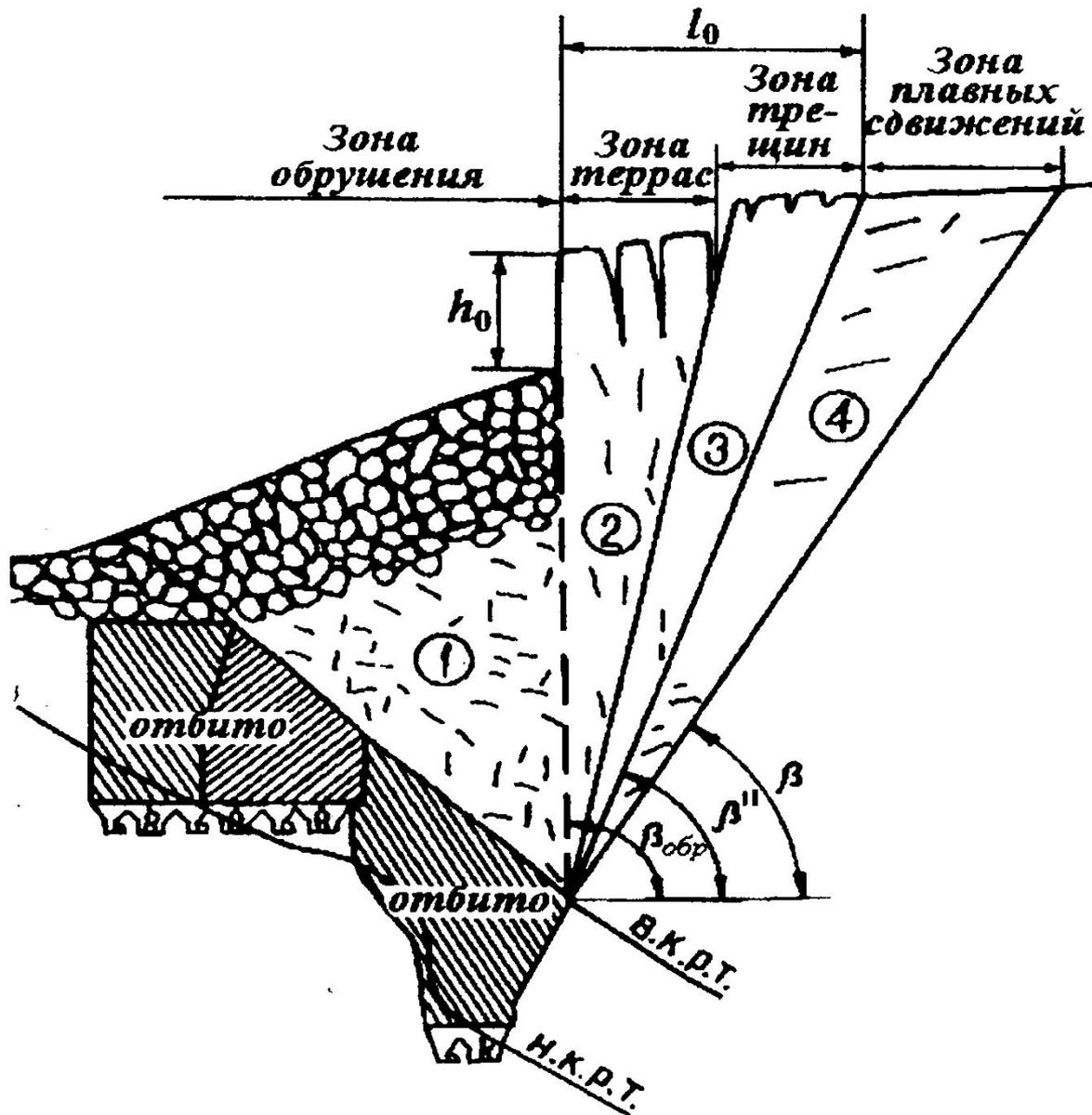


Мульда и угловые параметры сдвижения

при *неполной подработке*
и крутом залегании пласта



Сдвигение горных пород на рудных месторождениях



Сдвигение горных пород при отработке наклонных залежей с выходом на поверхность

На апатитовых месторождениях Хибин:

$$\beta_{обр} = 90^\circ$$

$$\beta'' = 75^\circ$$

$$\beta = 70^\circ$$

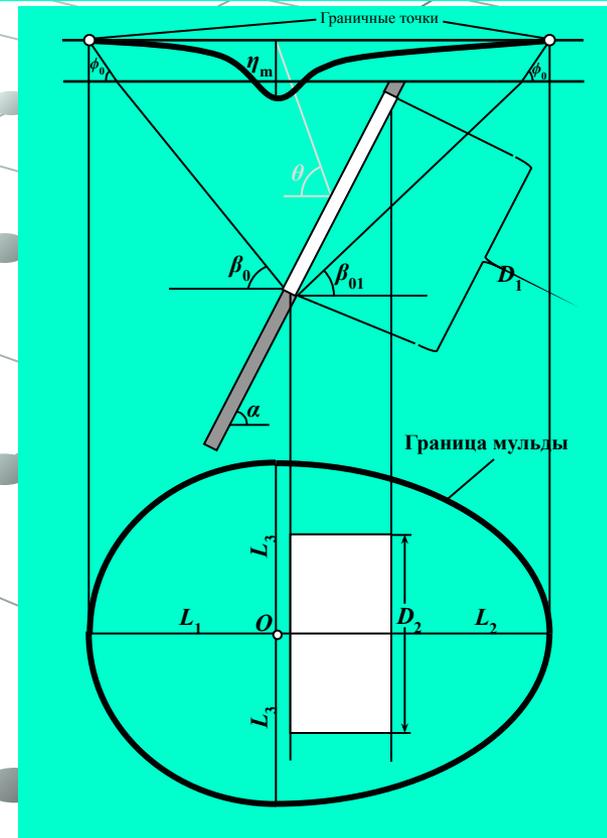
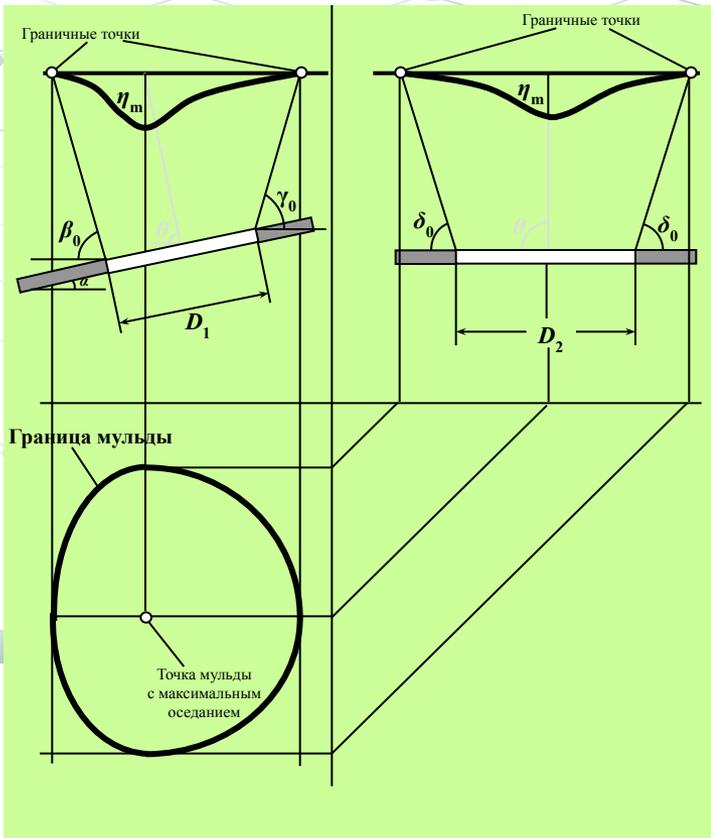
Угловые параметры процесса сдвижения

Граничные углы β_0 , β_{01} , γ_0 , δ_0 в коренных породах – это внешние относительно выработанного пространства углы на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения, образованные горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с **граничными точками** мульды сдвижения.

Граничными точками мульды сдвижения считаются точки, за пределами которых со стороны неотработанной части пласта **растяжения ε** и **наклоны \dot{i}** не превышают $0,5 \cdot 10^{-3}$, а **оседания $\eta = 15 \div 20$ мм.**

β_0 – у нижней границы выработанного пространства;
 γ_0 – у верхней границы выработанного пространства;
 δ_0 – у границ выработки на разрезе по простиранию пласта.

β_0 – у нижней границы выработанного пространства;
 β_{01} – у нижней границы, но в породах почвы пласта при **крутом падении пласта и пород**;
 δ_0 – у границ выработки на разрезе по простиранию пласта.



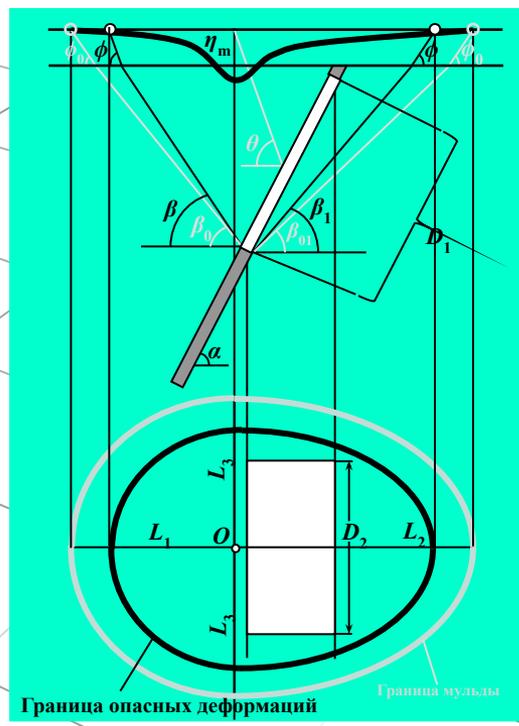
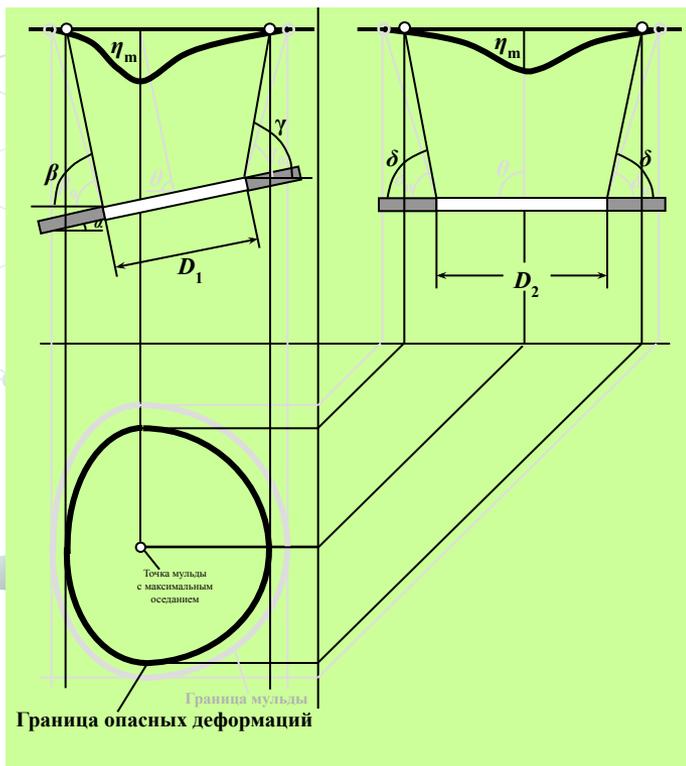
Угловые параметры процесса сдвижения

На разрезе вкрест простирания **границы опасной зоны сдвижения** определяют с помощью **углов сдвижения β , β_1 и γ** , а на разрезе по простиранию – с помощью угла δ .

Углы сдвижения β , β_1 , γ и δ в **коренных породах** – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработки с точками мульды сдвижения, за пределами которых (в сторону неотработанных частей пласта) деформации не достигают значений, опасных для ответственных зданий. Опасными, или критическими, принято считать деформационные наклоны $i_{\text{оп}} = 4 \cdot 10^{-3}$; кривизну земной поверхности $K_{\text{оп}} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ 1/м; растяжения земной поверхности $\varepsilon_{\text{оп}} = 2 \cdot 10^{-3}$.

- β – у нижней границы очистной выемки в породах кровли пласта;
- γ – у верхней границы очистной выработки;
- δ – от границы выработки по простиранию пласта.

- β – у нижней границы очистной выемки в породах кровли пласта;
- β_1 – у нижней границы очистной выработки в породах почвы пласта в условиях *крутого падения*, когда имеет место сдвиг лежачего бока;
- δ – от границы выработки по простиранию пласта.

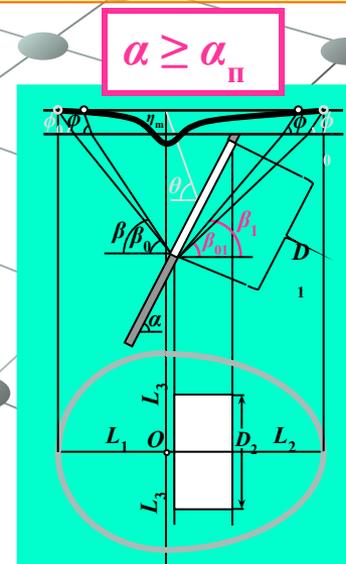
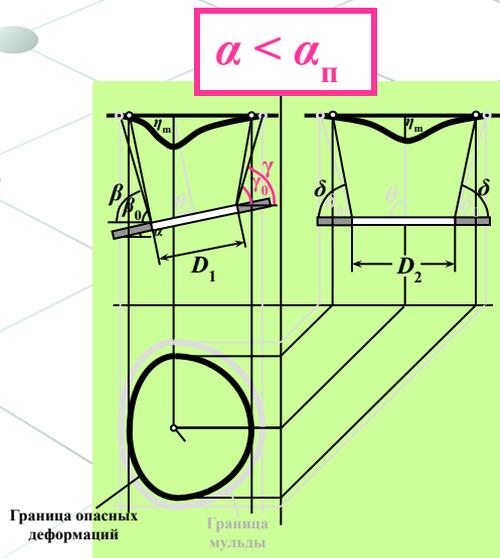


Угловые параметры процесса сдвижения

Углы β_{01} и β_1 используют для обозначения сдвижения пород лежачего бока при крутом залегании пород и пласта, когда $\alpha \geq \alpha_{\text{п}}$, где α – угол наклона пласта и пород; $\alpha_{\text{п}}$ – предельное значение угла наклона, при котором возникает сползание пород почвы пласта в выработанное очистное пространство.

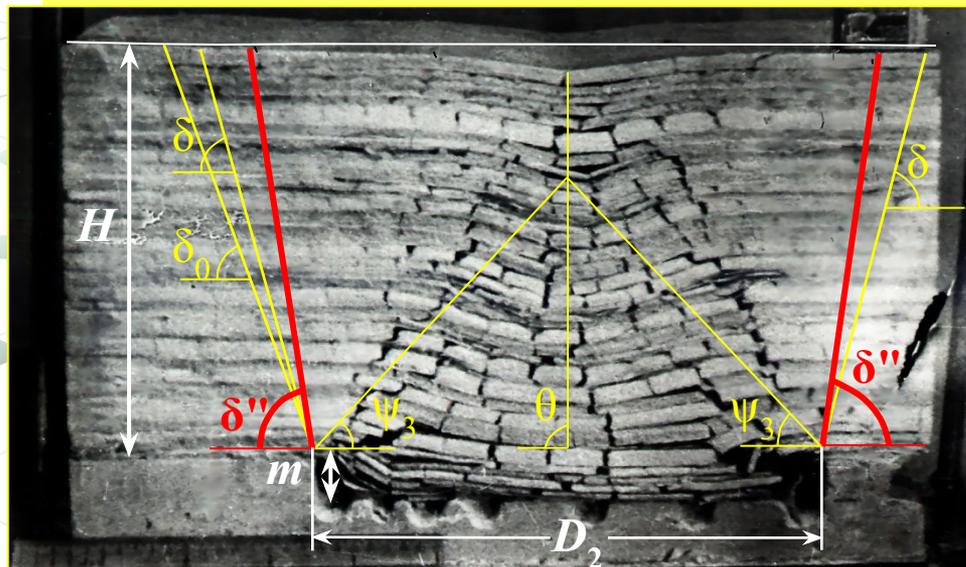
Значения $\alpha_{\text{п}}$ ($\alpha_{\text{п}} = 56 \div 70^\circ$) зависят от строения и крепости пород (типа месторождения).

Если $\alpha < \alpha_{\text{п}}$ – сдвижения пород лежачего бока не будет; если $\alpha \geq \alpha_{\text{п}}$ – произойдет сдвижение пород лежачего бока, в этом случае вместо углов γ и γ_0 используют углы β_{01} и β_1 .



Угловые параметры процесса сдвижения

Углы разрывов – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы очистной выработки на разрезах вкрест простирания (β'' , β_1'' , γ'') и по простиранию (δ'') с последней трещиной на краях мульды сдвижения.



При разработке рудных месторождений на земной поверхности могут возникать зоны воронкообразования, террас, трещин; при разработке угольных месторождений в мульде может образоваться зона провалов, преимущественно над верхней границей выработки при глубине очистной выработки (20-30) m , где m – вынимаемая мощность.

Для определения границ зоны провалов и воронок используются **углы воронкообразования ν** : углы в главных сечениях мульды сдвижения по простиранию и вкрест простирания пластов между горизонтальной линией и линией, соединяющей границу зоны воронок и провалов с границей очистной выработки.

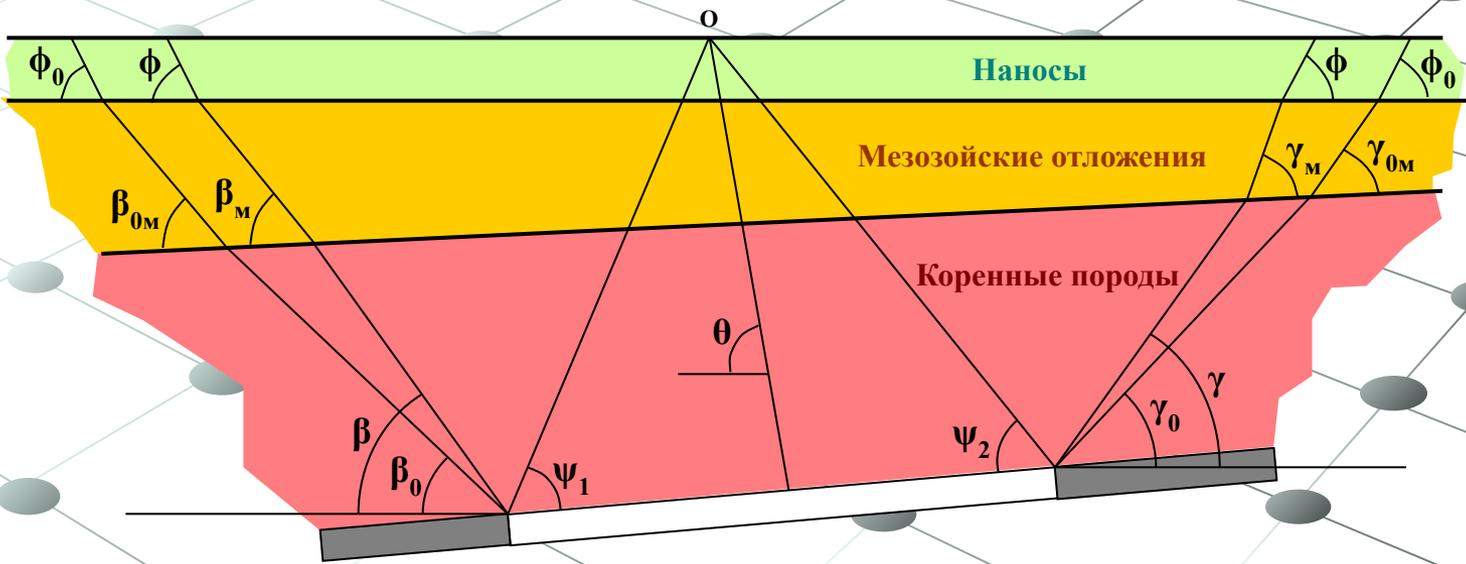
Угловые параметры процесса сдвижения

В наносах (третичных или четвертичных отложениях) различают *граничные углы* – ϕ_0 и *углы сдвижения* ϕ .

В наносах *углы разрывов* такие же, как и в коренных породах, т.е. не существует углов разрыва в наносах (ϕ'').

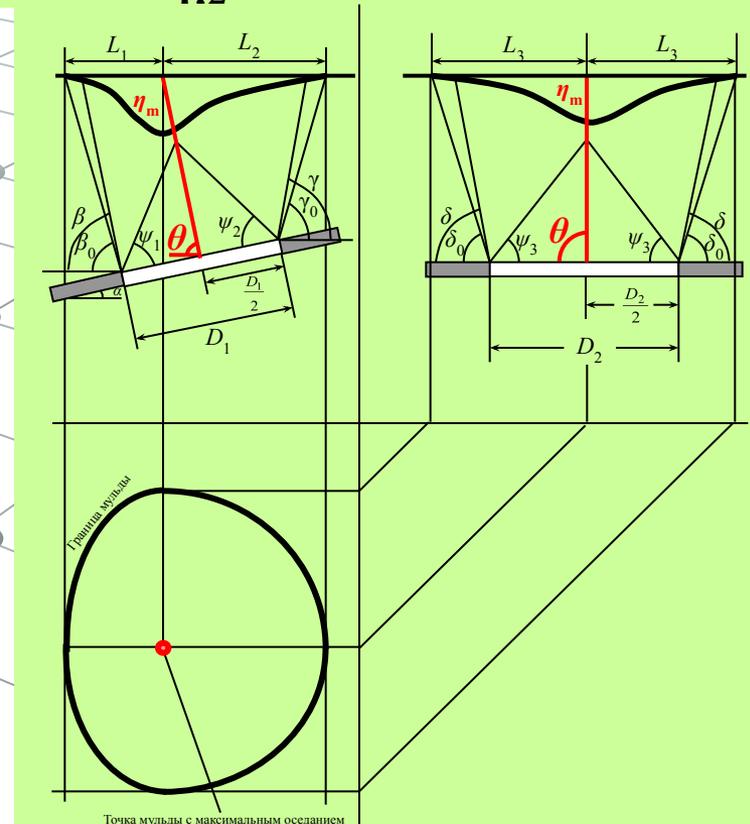
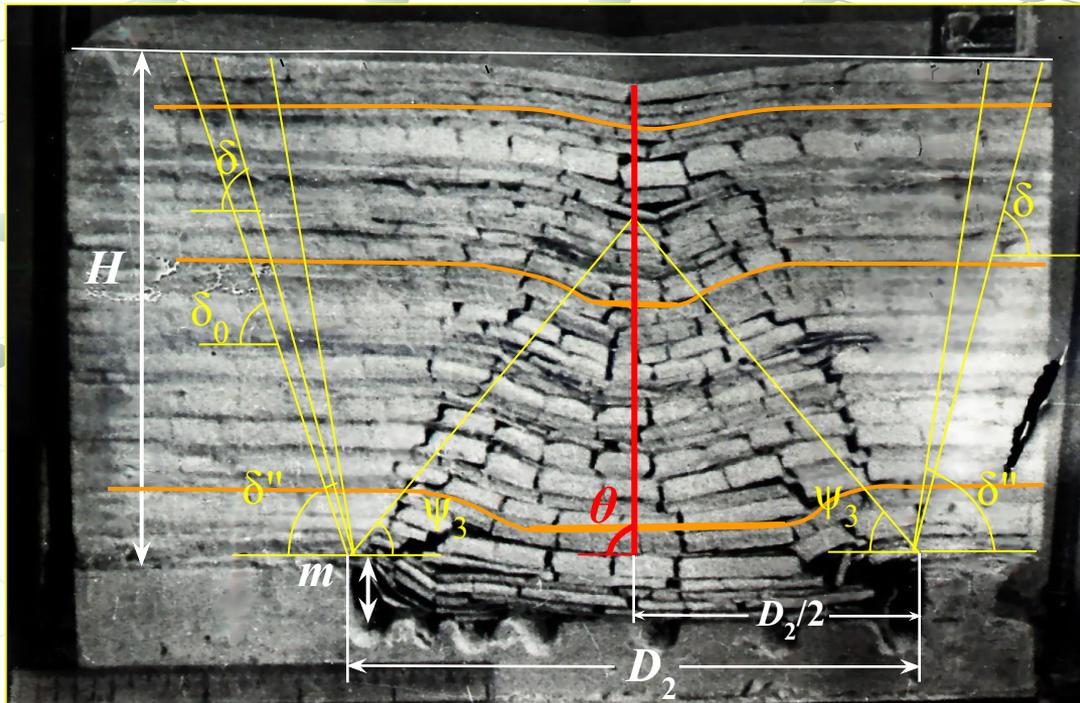
В мезозойских (меловых) отложениях (на месторождениях палеозойского возраста) различают *граничные углы* β_{0M} , γ_{0M} , δ_{0M} и *углы сдвижения* β_M , γ_M , δ_M .

В мезозойских (меловых) отложениях *углы разрывов* такие же, как и в коренных породах



Угловые параметры процесса сдвижения

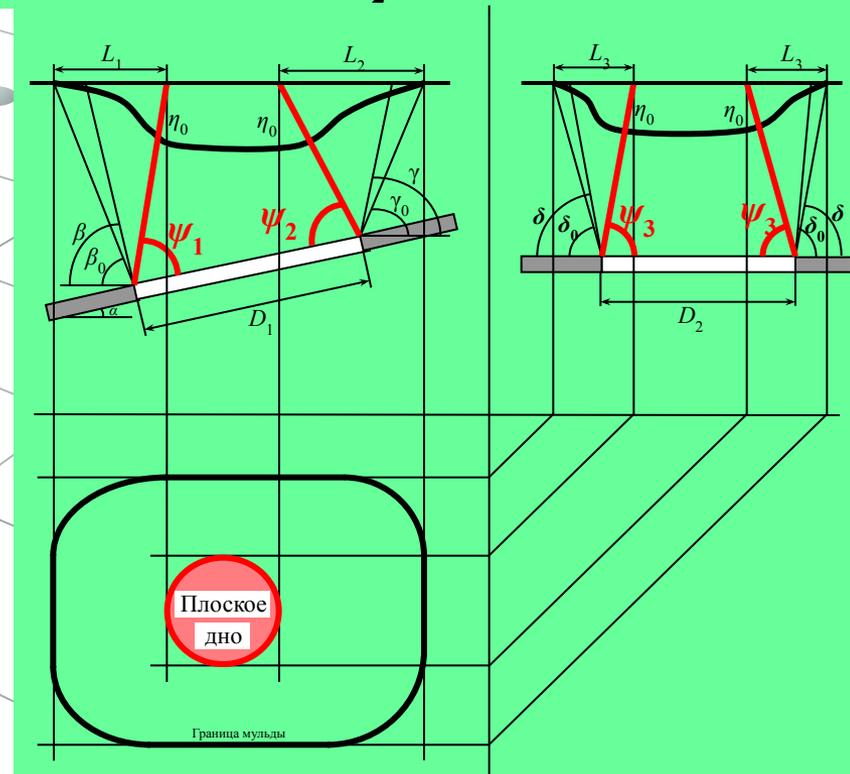
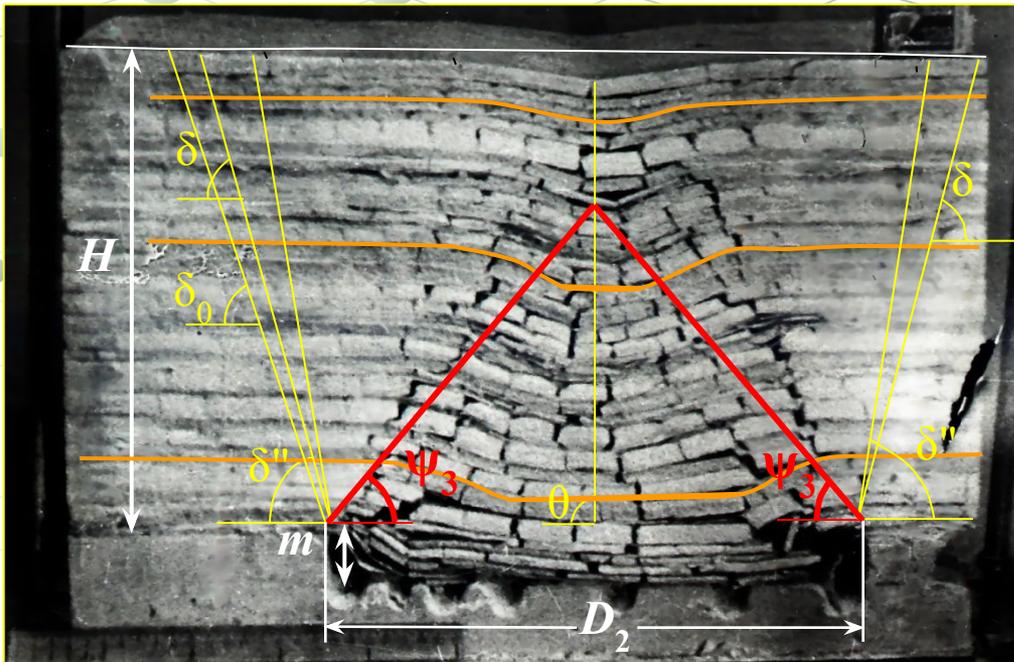
Угол максимального оседания θ - острый угол на разрезе вкрест простирания пласта (на разрезе по простиранию $\theta = 90^\circ$) между горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания при **неполной подработке** земной поверхности ($n_{1,2} < 1$).



Угловые параметры процесса сдвижения

Углы полных сдвижений ψ_1, ψ_2, ψ_3 — это внутренние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения плоскостью пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения. Углы используются при **полной подработке** земной поверхности ($n_{1,2} \geq 1$).

По углам ψ_1, ψ_2 определяют размер плоского дна мульды на разрезе вкрест простирания пласта при $n_1 \geq 1$, причем угол ψ_1 откладывается у нижней границы очистной выработки, угол ψ_2 — у верхней. Угол ψ_3 откладывается на разрезе по простиранию пласта при $n_2 \geq 1$.

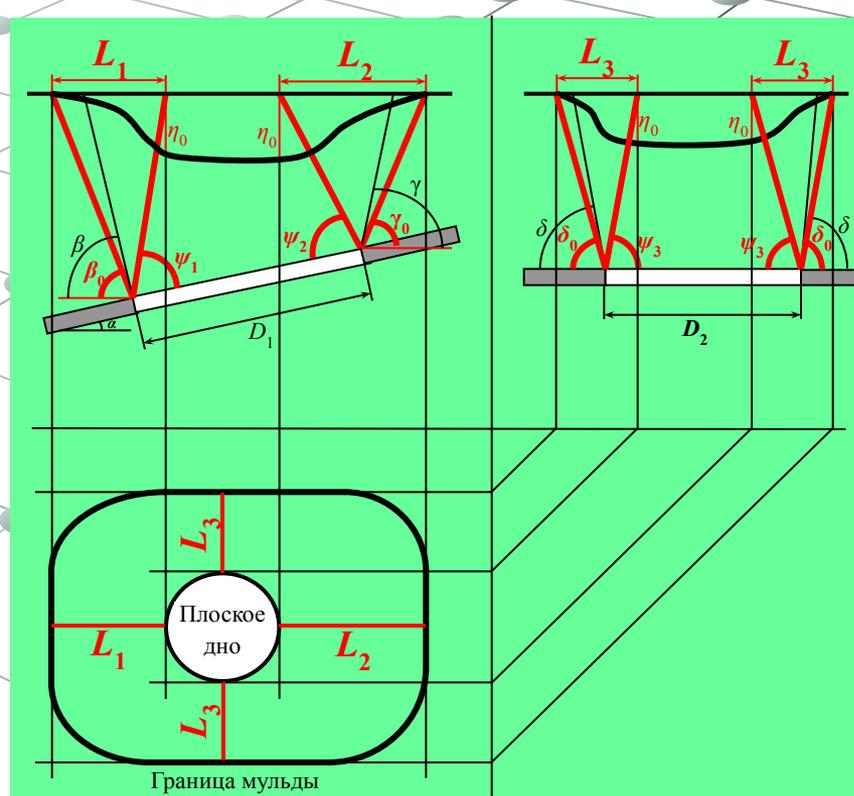
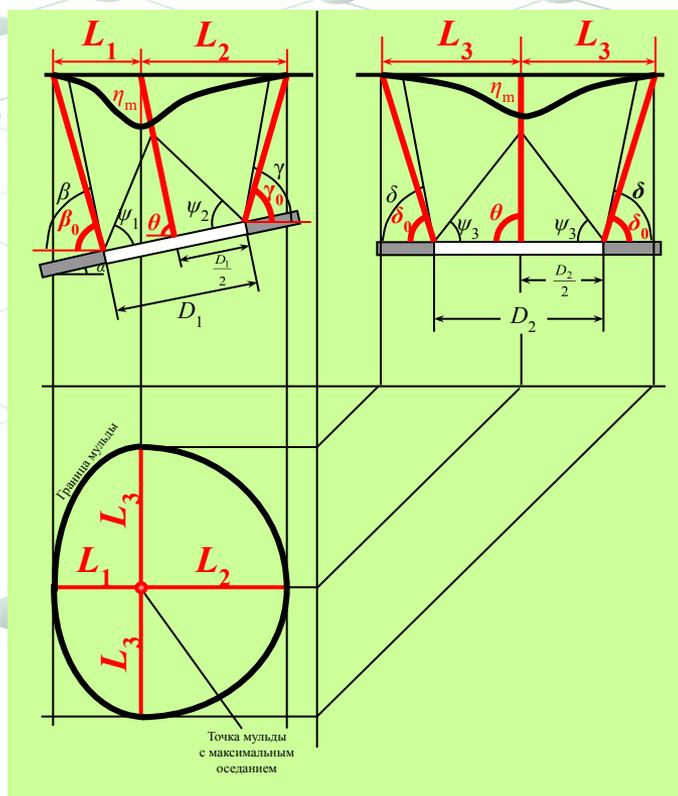


Параметры мульты сдвижения

Участок мульты сдвижения между точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности или началом плоского дна мульты при полной подработке и границей мульты сдвижения по падению называется *полумульты по падению L_1* .

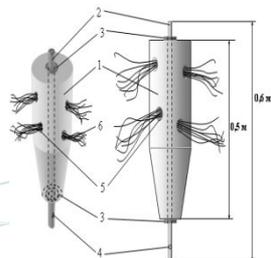
Участок мульты сдвижения между точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности или началом плоского дна мульты при полной подработке и границей мульты сдвижения по восстанию называется *полумульты по восстанию L_2* .

Участок мульты сдвижения между точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности или началом плоского дна мульты при полной подработке и границей мульты сдвижения по простираанию называется *полумульты по простираанию L_3* .



Натурные наблюдения за процессами сдвижения горных пород

Технология закладки глубинных реперов в скважины



Конструкция глубинного репера:

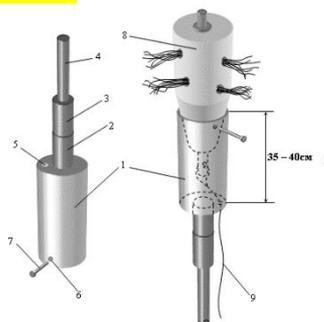
1 – деревянное тело репера; 2 – металлическая трубка; 3 – упорная шайба (приваривается к металлической трубке); 4 – отверстие для соединения проволоки с металлической трубкой; 5 – отверстие для устройства «сжка»; 6 – проволока от растущего троса.



Общий вид изготовленных глубинных реперов



Бур. штанга



Досильник реперов:

1 – отрезок трубы, диаметр которой на 5-10 мм меньше диаметра скважины; 2 – нерасходник к замку штанги; 3 – замок штанги; 4 – штанга; 5 – отверстие для переука проволоки после закладки глубинного репера; 6 – отверстие для гвоздя; 7 – гвоздь для временного крепления глубинного репера с трубой досальника; 8 – глубинный репер; 9 – проволока, соединенная с репером.



II

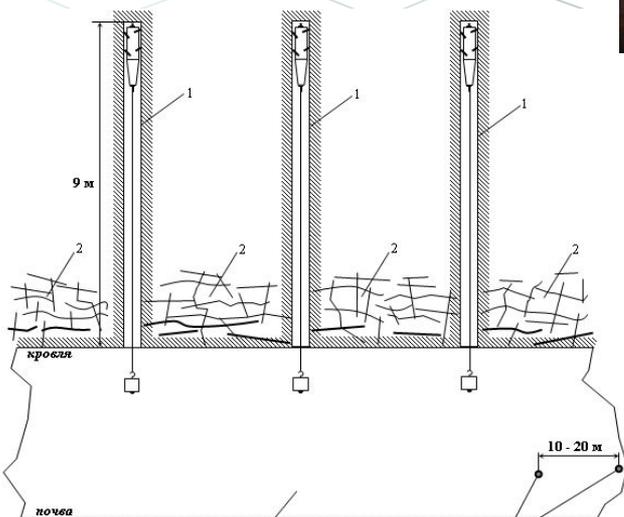


III



Груз

IV



Локальная подземная наблюдательная станция:

1 – скважина, оборудованная глубинным репером с проволоочной связью (для получения деформаций кривизны минимальное количество таких скважин должно быть три); 2 – зона отслоения кровли (мощность этой зоны ≈ 4 м); 3 – горная выработка; 4 – опорные реперы.

I – установка репера его металлической трубкой во внутреннее пространство буровой штанги; II – заведение установленной в штангу репера в устье скважины; III – доставка репера на забой скважины с помощью бурового станка; IV – подвес груза к свободному концу тросика, соединенного с репером, после введения репера на забой скважины (на самом деле грузы будут подвешиваться с подвижной платформы, здесь, на примере, было показано как это надо делать).

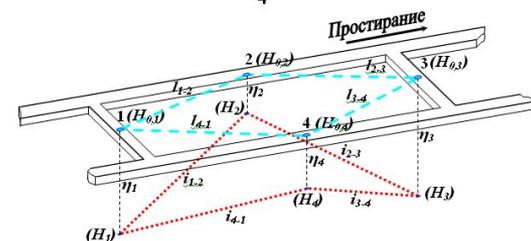
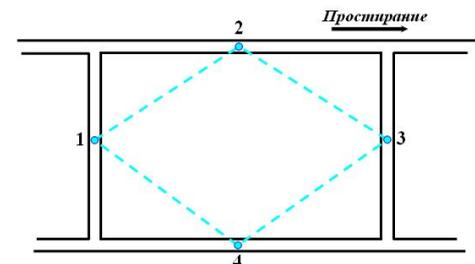


Схема локальной станции для панели в плане, на которой показано расположение 4-х скважин (а) и схема определения оседаний, наклонов и кривизны по этим 4-м скважинам (б):

$H_{0,1}, H_{0,2}, H_{0,3}, H_{0,4}$ – высотное положение глубинных реперов скважин 1, 2, 3, 4 из начальной серии наблюдений; H_1, H_2, H_3, H_4 – высотное положение тех же глубинных реперов из последующей серии наблюдений; $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – оседания глубинных реперов скважин 1, 2, 3, 4; $H_{1,2}, H_{2,3}, H_{3,4}, H_{4,1}$ – оседания глубинных реперов скважин 1, 2, 3, 4, определенных как разность начального и последующего высотного положения по формуле (1); $i_{1,2}, i_{2,3}, i_{3,4}, i_{4,1}$ – наклоны, определенные по формуле (2); $i_{1,2}, i_{2,3}, i_{3,4}, i_{4,1}$ – интервал между скважинами соответственно 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 и 4 и 1.

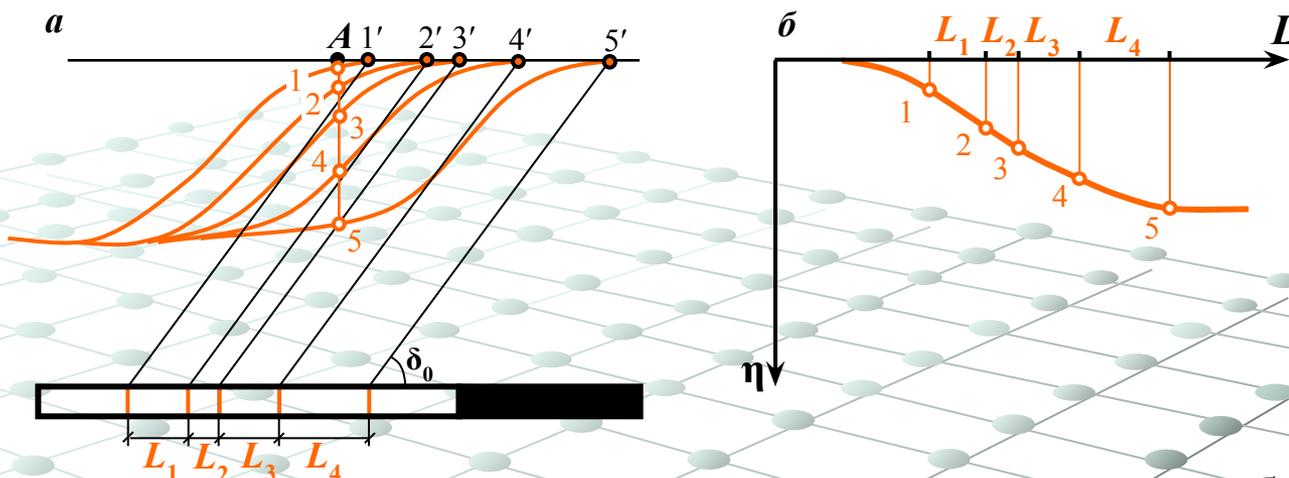


Площадка для установки рейки

Груз, к торцу которого приварена гайка, грань которой образует площадку для установки на ней «пятки» рейки.

Натурные наблюдения за процессами сдвижения горных пород

Метод частотных наблюдений (основан на принципе суперпозиции)



a – перемещение мульды, соответствующее подвиганию забоя;
 b – оседание η точки A , соответствующее подвиганию забоя L .

Получение сдвижений и деформаций массива горных пород с помощью глубинных (скважинных) реперов



Этим методом получают только вертикальные сдвижения и деформации:

- Распределение оседаний (η) в мульде получают методом частотных наблюдений
- Первая производная по оседаниям даёт наклон (i):

$$i = \eta'$$

- Вторая производная по оседаниям или первая производная по наклону даёт кривизну (K):

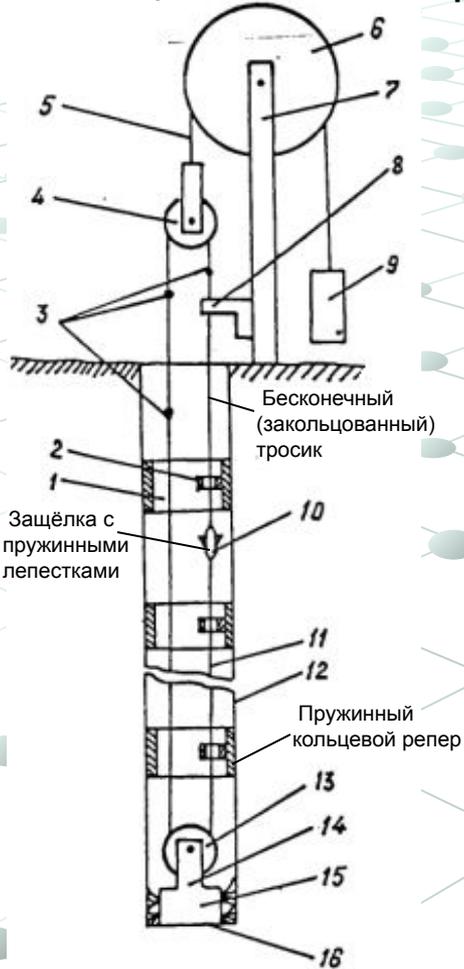
$$K = \eta'' = i'$$

ЗАМЕЧАНИЕ. Эти виды вертикальных сдвижений и деформаций массива можно получить только над движущимся забоем лавы

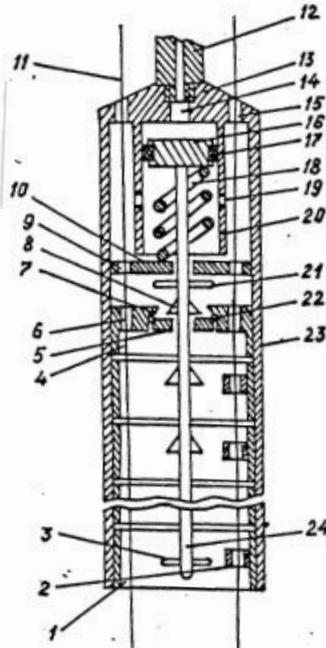
(для измерения смещений глубинных реперов)

Натурные наблюдения за процессами сдвижения горных пород

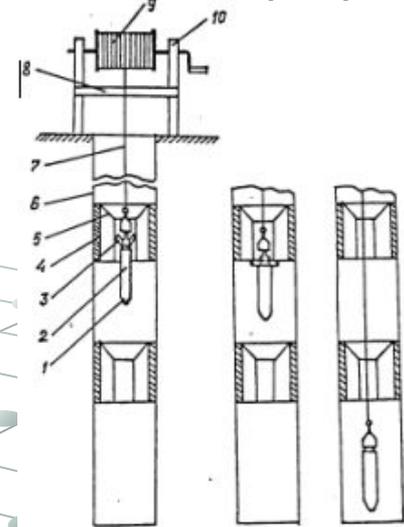
Устройство для определения смещений скважинных реперов



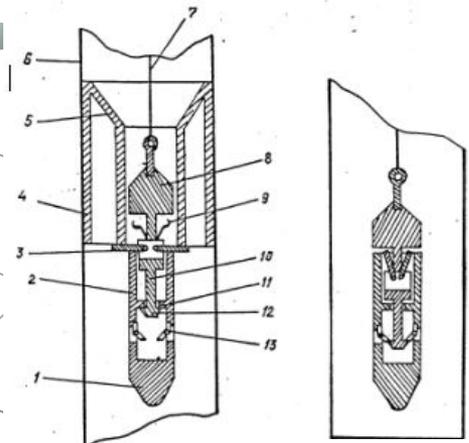
Устройство для закладки пружинных кольцевых реперов



Устройство для определения смещений скважинных реперов



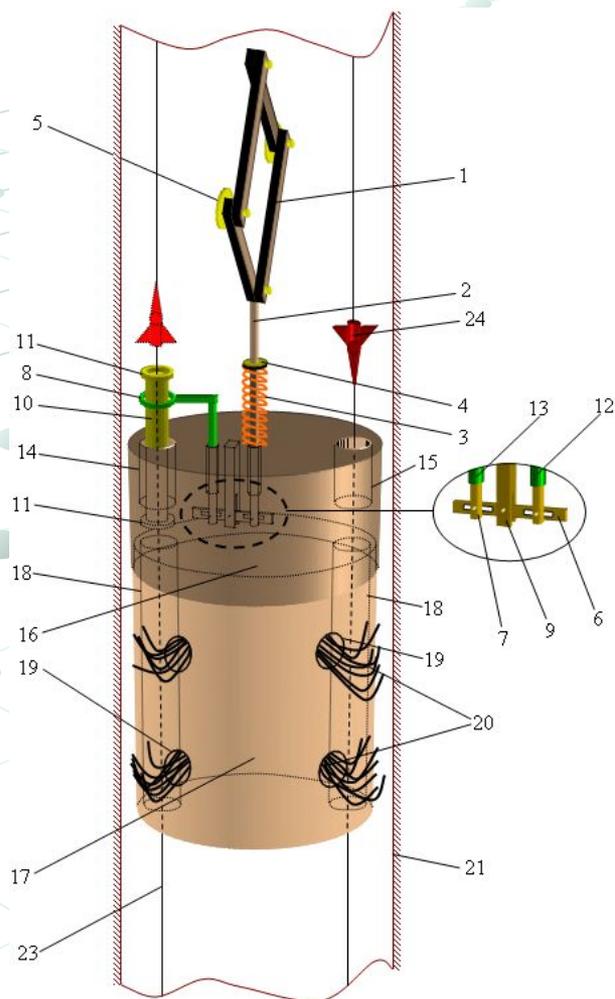
Процесс проведения серии измерений



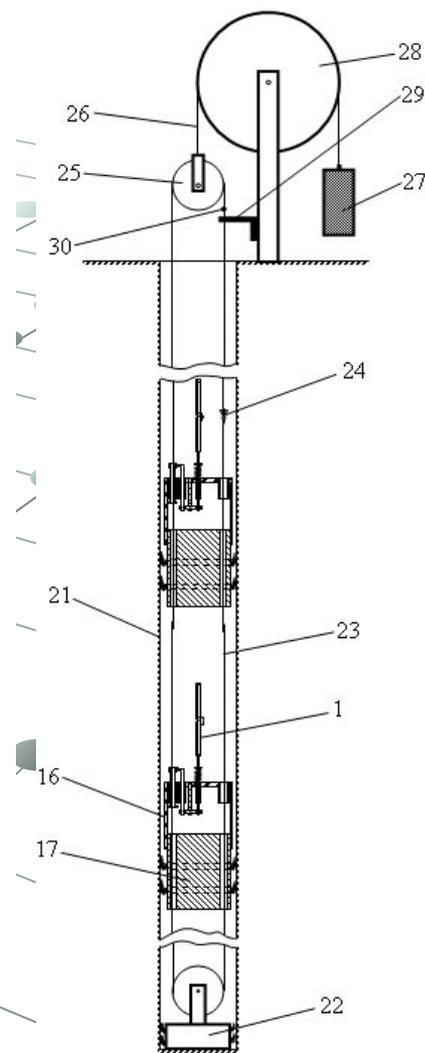
Состояние защёлки во время проведения серии измерений (защёлка открыта)

Состояние защёлки для извлечения из скважины после проведения серии измерений (защёлка закрыта)

Устройство для определения горизонтальных и вертикальных смещений глубинных реперов



Для получения **горизонтальных смещений** каждый репер снабжен пантографом, упирающимся в стенки скважины, который повторяет их сжатие-растяжение, а для получения **вертикальных смещений** - определяются изменения местоположений скважинных реперов по высоте индикатором в виде кольца и защелки, закрепленной на образующем это кольцо перекинутым через два блока тросе.



1. Наблюдательные станции на земной поверхности

Под **наблюдательной станцией** понимают сеть реперов, заложенных на земной поверхности над проектируемыми горными работами, в фундаментах (цоколях) зданий или на объектах – трубопроводах, рельсах железных дорог, технологическом оборудовании. Наблюдательные станции закладывают также в горных выработках.

Реперы в грунте обычно располагают **по профильным линиям главных сечений** мульды сдвижения вкрест и по простиранию пласта. Реже профильные линии закладывают в произвольном направлении относительно простирания пласта, но параллельно оси подрабатываемых объектов (трубопроводов, железных дорог, каналов, ЛЭП и др.).

В зависимости от поставленных задач различают:

- **Типовые наблюдательные станции**, которые предназначены для определения основных параметров процесса сдвижения при разработке отдельных пластов и свит пластов.
- **Специальные наблюдательные станции**, которые служат для изучения характера сдвижений и деформаций при подработке сместителей дизъюнктивных нарушений или осевых поверхностей складок, для оценки влияния слабых контактов при образовании прямых и обратных уступов, для установления взаимосвязи деформаций грунта и основания сооружения, для определения фильтрационных свойств пород вследствие разработок, параметров процесса сдвижения при закладке выработанного пространства и др.

По срокам службы различают:

- **долговременные наблюдательные станции**, срок службы таких станций более 3 лет, их закладывают с целью получения параметров процесса сдвижения при выемке нескольких пластов и горизонтов;
- **рядовые наблюдательные станции** со сроком службы 1-3 года; назначение то же, что и долговременных, но их закладывают при выемке одного-двух пластов или одного горизонта;
- **кратковременные наблюдательные станции** со сроком службы от 1 до 5 месяцев, их закладывают при глубине горных работ до 250 м с целью получения отдельных параметров процесса сдвижения (как правило, это профильная линия по простиранию, по которой получают угол δ , ψ_3 , точки с максимальным оседанием, распределение оседаний, скоростей оседаний, деформаций).

Натурные наблюдения за процессами сдвижения горных пород

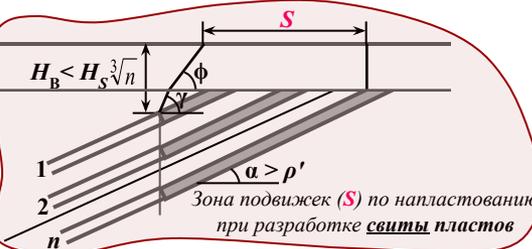
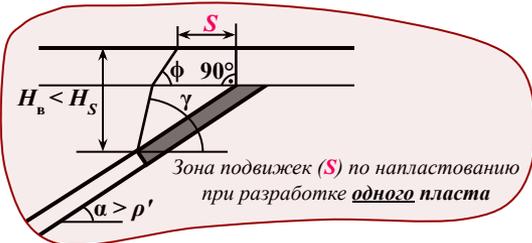
1.1. Определение размеров и местоположения профильных линий реперов

Ожидаемые границы мульды сдвижения, в пределах которых закладывают реперы, определяют с использованием граничных углов, с учетом вероятного **сдвига пород по напластованию, сдвижения пород лежачего бока и образования провалов**.

Сдвиг пород по напластованию возможен, если: $\alpha > \rho'$ и $H_B < H_S$, где α - угол падения пласта; ρ' - угол трения по наиболее слабому контакту (чаще всего по контакту породы и угля); H_B - верхняя глубина разработки; H_S - наибольшая глубина, при которой могут возникать опасные подвижки по напластованию.

При выемке **свиты** пластов сдвиг пород по напластованию возможен, если: $\alpha > \rho'$ и $H_B < H_S \sqrt[3]{n}$ (где n - число разрабатываемых пластов).

ρ' и H_S определяется по Правилами; если ρ' неизвестно, то принимается равным 13° .

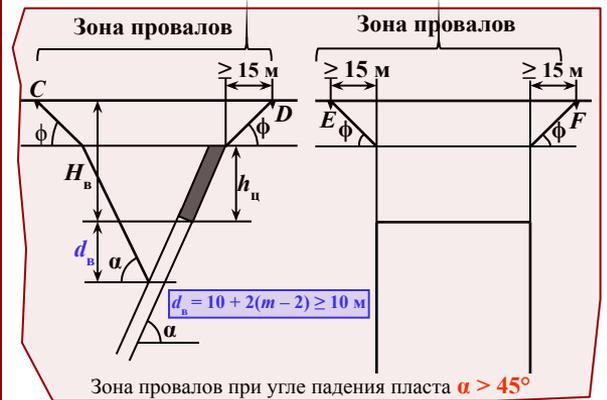
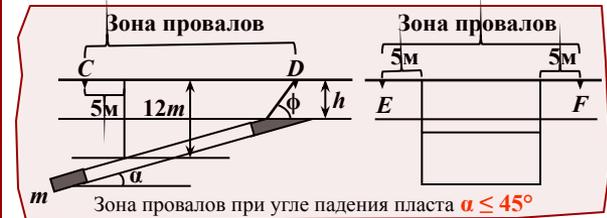


Сдвигение пород лежачего бока возможно, если $\alpha > \alpha_{II}$ (α - угол наклона пласта; α_{II} - предельный угол наклона пласта, определяемый для конкретных угольных месторождений по Правилам).

Если сдвигение пород лежачего бока возможно, то для определения размеров профильных линий вместо γ_0 должен быть использован угол β_{01} .

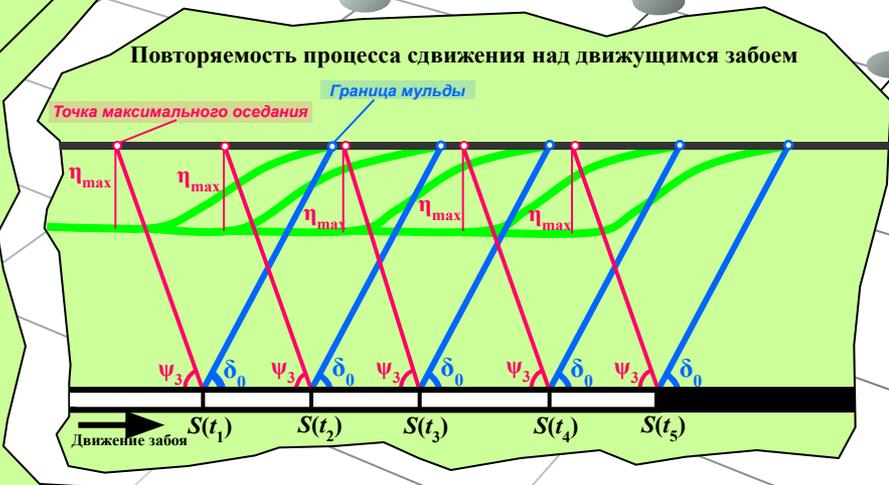
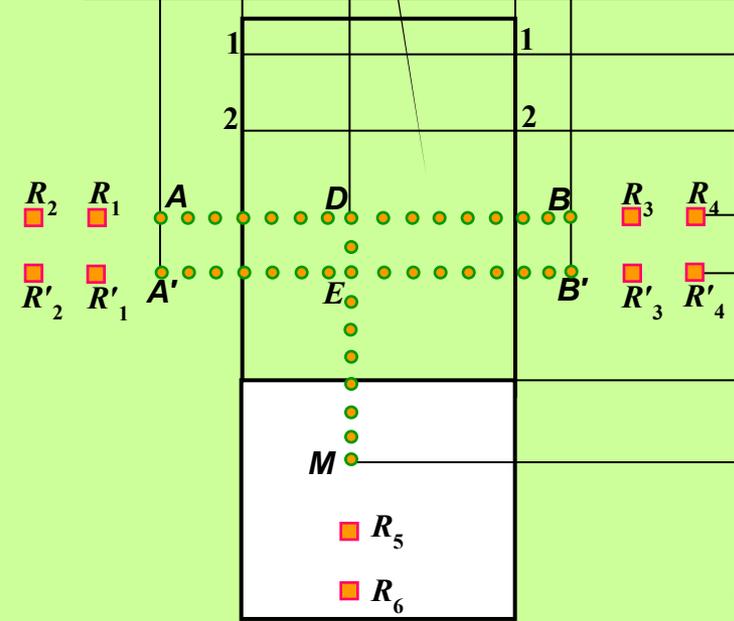
При расчете расположения рабочих реперов учитывают возможность образования **провалов** земной поверхности. При отработке пластов с углом падения $\alpha \leq 45^\circ$ провалы образуются при глубине горных работ **менее 12 м**.

При отработке пластов на глубине **менее 400 м** с углом падения $\alpha > 45^\circ$ провалы образуются, если вертикальная высота целиков h_{II} меньше нормативной величины.



Натурные наблюдения за процессами сдвижения горных пород

Продолжение: 1.1. Определение размеров и местоположения профильных линий реперов



AB и A'B' – длина профильных линий вкрест простирания пласта;
DM – то же по простиранию пласта.

1.2. Периоды процесса сдвижения

Общая продолжительность процесса сдвижения $T_{\text{общ}}$.

Это период времени, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвижения. **Началом** процесса сдвижения считается дата, когда оседание точки земной поверхности достигает **15 мм**, а за **окончание** процесса принимается дата, после которой суммарные оседания земной поверхности за **полгода** не превышают **10 %** от их максимальных значений, при этом они не должны превышать **30 мм**. Величина $T_{\text{общ}}$ определяется по Правилам.

1. Начальный период t_n

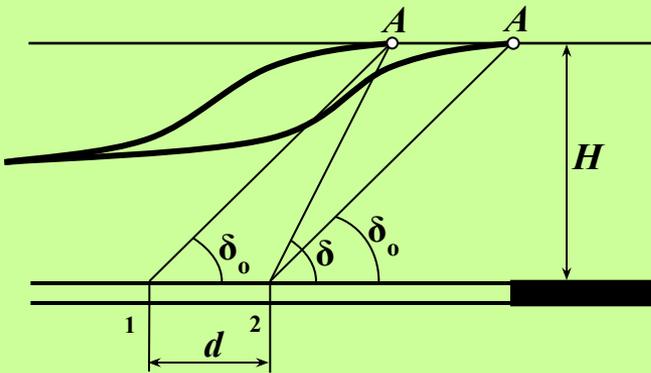


Схема определения начального периода процесса сдвижения

Начальный период – это период, когда деформации развиваются от граничных («нулевых») до опасных (критических). Граничные («нулевые») деформации: $\varepsilon_{\text{гр}} = i_{\text{гр}} = 0.5 \cdot 10^{-3}$ (оседания $\eta_{\text{гр}}$) – определяются граничными углами ($\beta_0, \gamma_0, \delta_0$). Опасные (критические) деформации: $\varepsilon_{\text{кр}} = 2 \cdot 10^{-3}$; $i_{\text{кр}} = 4 \cdot 10^{-3}$; $K_{\text{кр}} = 0.2 \cdot 10^{-3}$ – определяются углами сдвижения (β, γ, δ).

$$t_n = d / c,$$

где d – расстояние 1-2 (см. рис.); c – скорость подвигания забоя.

2. Период опасных деформаций $t_{\text{оп}}$

Это период, в течение которого деформации развиваются от критических («опасных») до максимальных и далее, до меньших максимальных.

Другими словами, это период, в течение которого проявляется вредное влияние подземных разработок на сооружения и природные объекты.

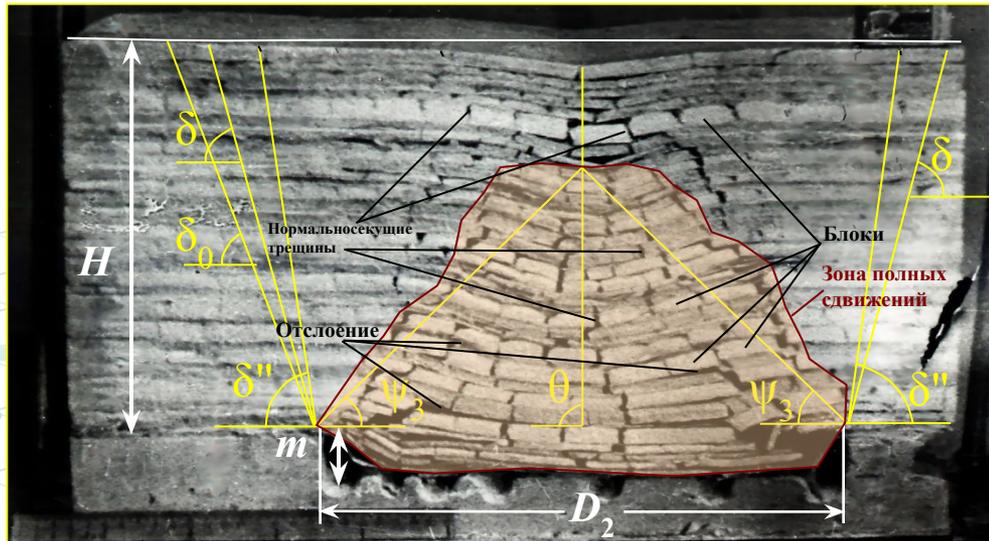
Период опасных деформаций определяется по Правилам в зависимости от глубины горных работ H и скорости их развития c , т.е. скорости подвигания забоя.

3. Период затухания t_3

$$t_3 = T_{\text{общ}} - (t_n + t_{\text{оп}}),$$

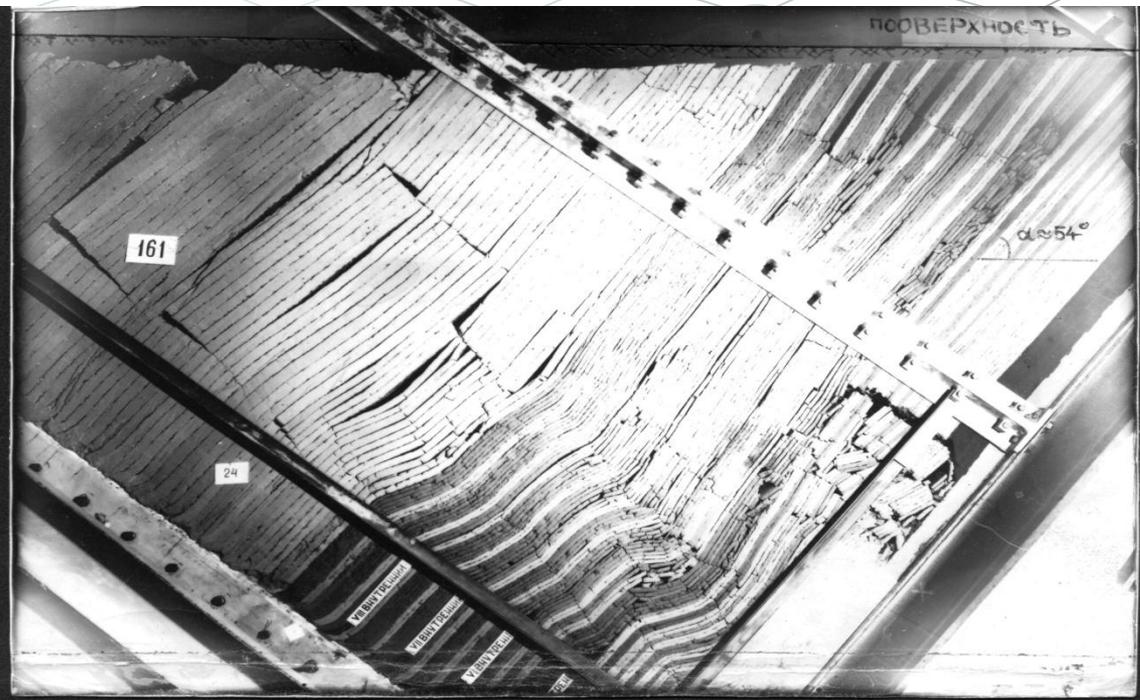
где $T_{\text{общ}}$ – общий период сдвижения для рассматриваемых условий; t_n – начальный период сдвижения; $t_{\text{оп}}$ – период опасных деформаций.

Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)



Общий вид поворотного стенда

В состав стенда входит 32 электромеханических исполнительных механизмов (ЭИМ) по контуру модели, обеспечивающих пригрузку модели (до 3000 Н) в соответствии с заданной программой



Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Принципы моделирования из эквивалентных материалов

В основу каждой модели положен определенный геологический разрез, для основных горных пород которого предварительно определены физико-механические свойства.

Задаваясь масштабом модели, подбирают материалы, механические свойства которых были бы эквивалентны одноименным свойствам породы природы.

Показатели механических свойств материалов модели определяют по формуле Г.Н.Кузнецова, вытекающей из общего закона подобия Ньютона,

$$N_M = \frac{l}{L} \frac{\gamma_M}{\gamma_H} N_H$$

где N_M – определяемая механическая характеристика (сопротивление сжатию, изгибу и т.п.) эквивалентного материала модели; l/L – масштаб модели (геометрический); γ_M и γ_H – плотность материала соответственно модели и пород природы; N_H – соответствующая характеристика пород природы.

Новые методы исследований моделей из эквивалентных материалов (ЭМ)

- Исследование слоистых и блочных моделей из ЭМ в условиях воздействия гравитационных и тектонических сил в статических и динамических режимах.
- Многомерное исследование геомеханических процессов в моделях из ЭМ на основе синхронного определения параметров полей напряжений и деформаций, акустической эмиссии, ускорений, тепловых полей в статических и динамических режимах по 100 независимым каналам.
- Создание новых типов ЭМ на основе исследования его дисперсионного состава и регулирование их физико-механических свойств
- Исследование подобия силовых полей, прочностных параметров и деформаций моделей из ЭМ в циклических режимах, включая запредельную зону нагружения.
Проводилось моделирование отработки угольных пластов шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс», извлечение запасов из целиков на рудниках ОАО «Норильский никель», исследовалось взаимодействие крепи ствола на Усольском калийном комбинате, определялся оптимальный порядок отработки рабочего, условно-пускового и проектируемого горизонтов на Коробковском месторождении.

Экспресс анализатор крупности частиц Camsizer XT



Диапазон измерений: с картриджем "X-Fall" – 10 мкм - 3 мм; с картриджем "X-Jet" – 1 мкм - 1.5 мм.

Принцип измерения: Динамическая Обработка Изображений (ISO 13322-2).

Время измерения: 3-7 мин.

Объем загрузки: от 20 мг - 100 г. Разрешение: 1 мкм.

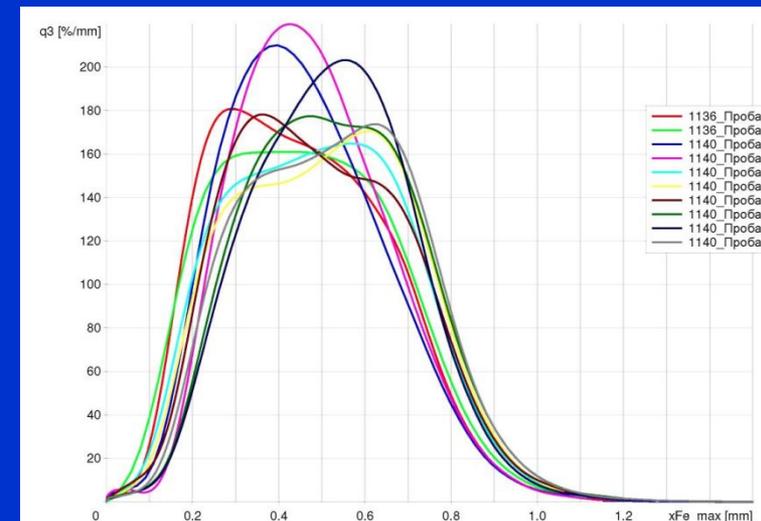
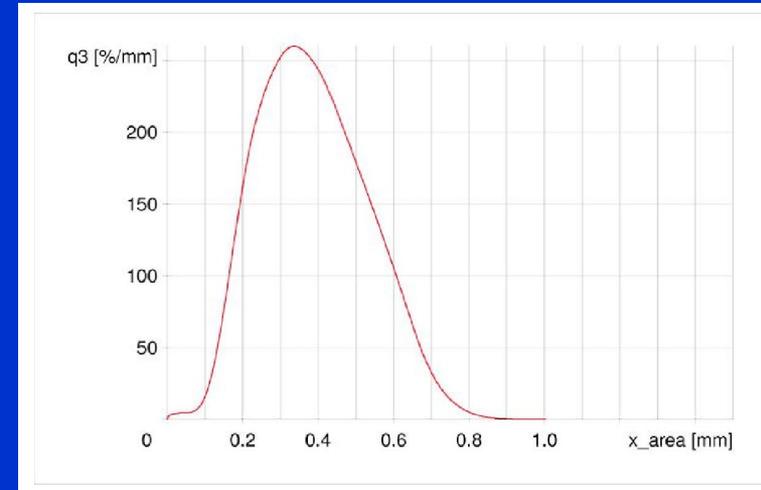
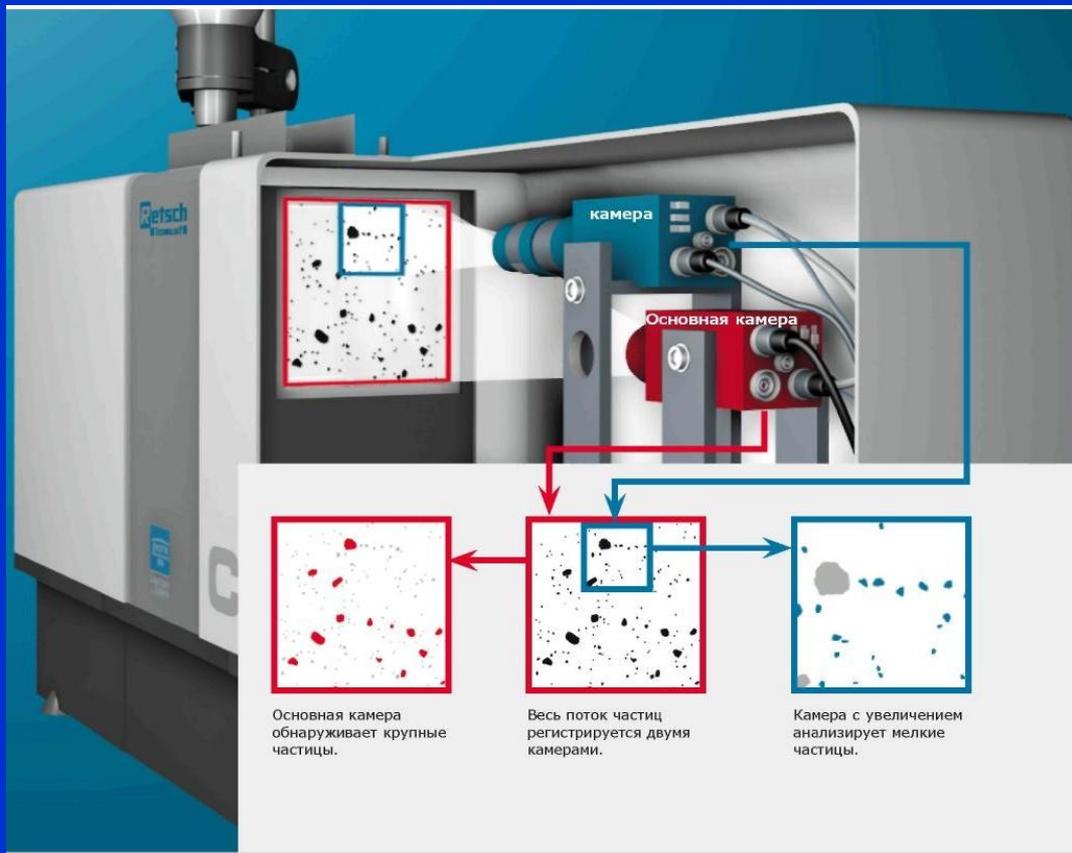
Измеряемые параметры: Размер частиц Форма частиц (в соотв. с ISO 9276-6).

Автоматический экспресс-анализатор крупности частиц CAMSIZER XT, предназначен для оперативной оценки дисперсионного состава мелкодисперсных наполнителей эквивалентных материалов с целью регулирования их физико-механических параметров. CAMSIZER XT используется для измерения размеров и формы частиц сыпучих материалов в диапазоне от 1 мкм до 3 мм. CAMSIZER XT был разработан для измерения частиц более тонких порошков и агломератов, используются взаимозаменяемые модули для сухих и мокрых образцов, что обеспечивает большую гибкость при анализе конкретного образца.

Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Научный центр геомеханики и проблем горного производства

Экспресс анализатор крупности частиц Camsizer XT



Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Научный центр геомеханики и проблем горного производства

Информационно-измерительная система на базе крейта LTR с программным обеспечением ACSTest Pro



Крейт LTR:

- до 16 плат расширения различных типов
- собственный сигнальный процессор и блок питания
- интерфейсы USB и Ethernet

Платы расширения для регистрации сигналов различных типов LTR-212 и LTR-22

Датчики – микродинамометры МДГ-3, акустической эмиссии – GT300, акселерометры –



Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Научный центр геомеханики и проблем горного производства

Комплекс для определения статических и динамических параметров смещений с программным обеспечением



Скоростной видеорегистратор
Скорость съемки – до 1 млн. кадров/сек
Разрешение сенсора - 5 Мпикс



Фоторегистратор
Разрешение матрицы - 50 Мпикс
Получение снимков разрешением 200 Мпикс

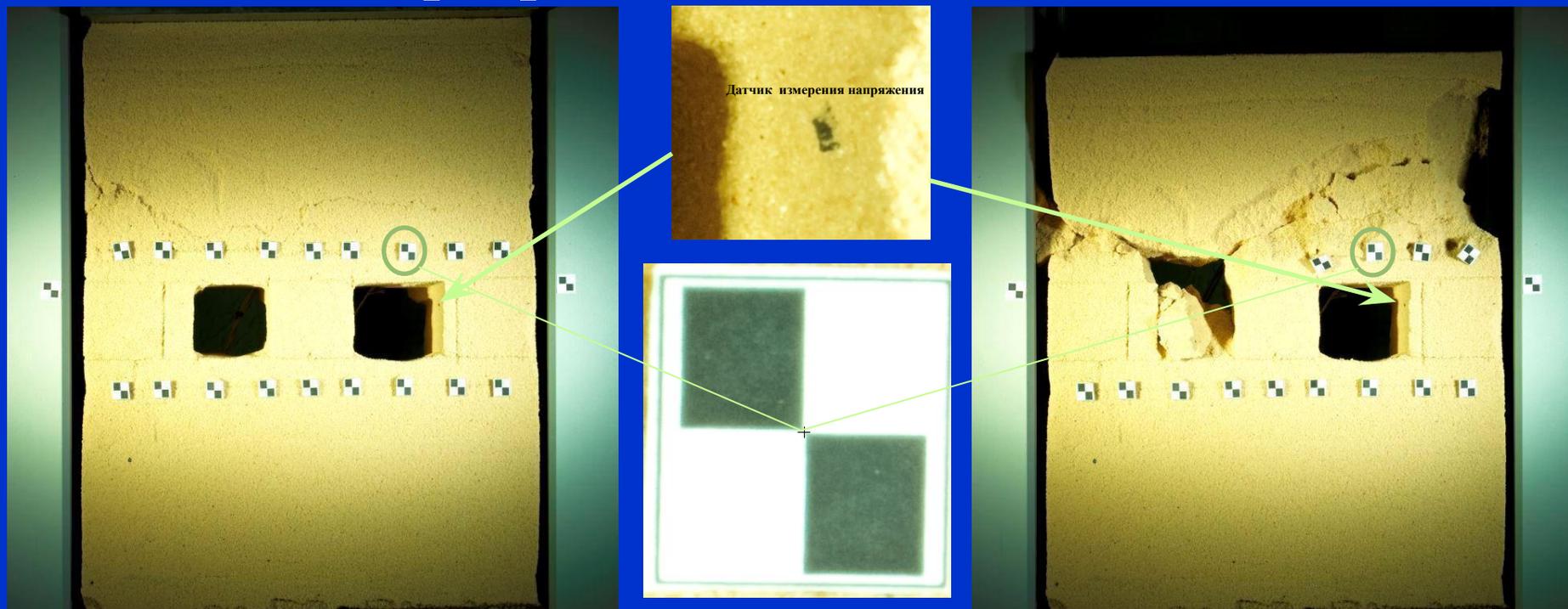
ПО для отслеживания реперных марок с различными алгоритмами слежения, вычислением смещений, скоростей, ускорений

Позволяет фиксировать быстропротекающие динамические процессы и программное обеспечение ТЕМА Motion 2D, предназначенное для детального исследования процессов, связанных с трещинообразованием, разрушением и изменением свойств горного массива при моделировании работ на месторождениях полезных ископаемых с подземной, открытой или комбинированной системой разработки

Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Научный центр геомеханики и проблем горного производства

Комплекс для определения статических и динамических параметров смещений с программным обеспечением



Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Научный центр геомеханики и проблем горного производства

Модели из эквивалентных материалов



1- охрана капитальных камер рудника Октябрьский;

2 – управление податливостью целиков шахт «СУЭК-Кузбасс»;

3 – порядок отработки Коробковского м/р .

Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Лаборатория горной геомеханики в DMT (г. Эссен, Германия)

Фирма DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH), 45307 ESSEN, www.dmt.de является научно-производственным центром, занимающимся разработкой, изготовлением и внедрением в производство новейших приборов и технологий в области горного дела, строительства, геологии, геодезии и мониторинга земной поверхности и подземного пространства.

Штат головной фирмы в г. Эссен составляет всего 596 человек, однако годового оборот равен 69 млн. евро. Фирма имеет филиалы в других районах Германии (Мюнхен, Бохум, Дюссельдорф) а также в других странах (Англия, США).



Готовую модель помещают в горизонтально расположенные гидравлические прессы. На этих прессах моделируют вертикальные и горизонтальные нагрузки на моделируемый горный массив, и сформированные в нем выработки. Для моделирования наличия горного массива с фронтальной плоскости на модель при испытании укладывают утяжеленные маты.

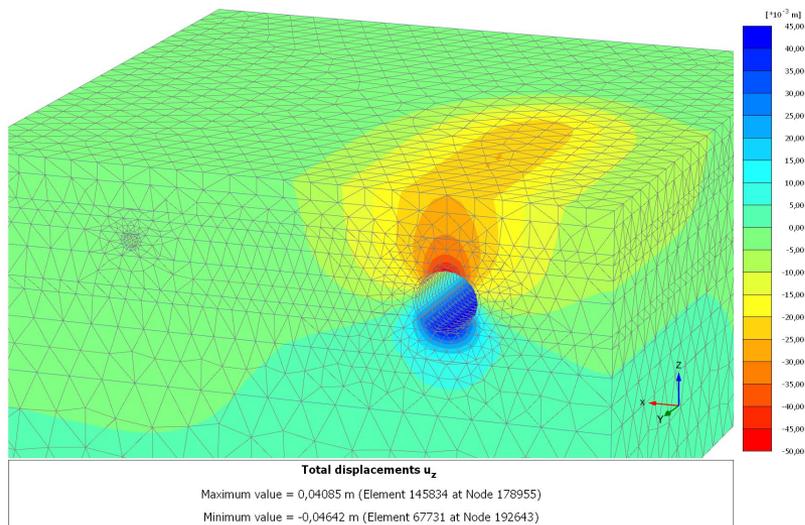
Лабораторные исследования процесса сдвижения горных пород на моделях из эквивалентных материалов (физическое моделирование)

Лаборатория горной геомеханики в DMT (г. Эссен, Германия)

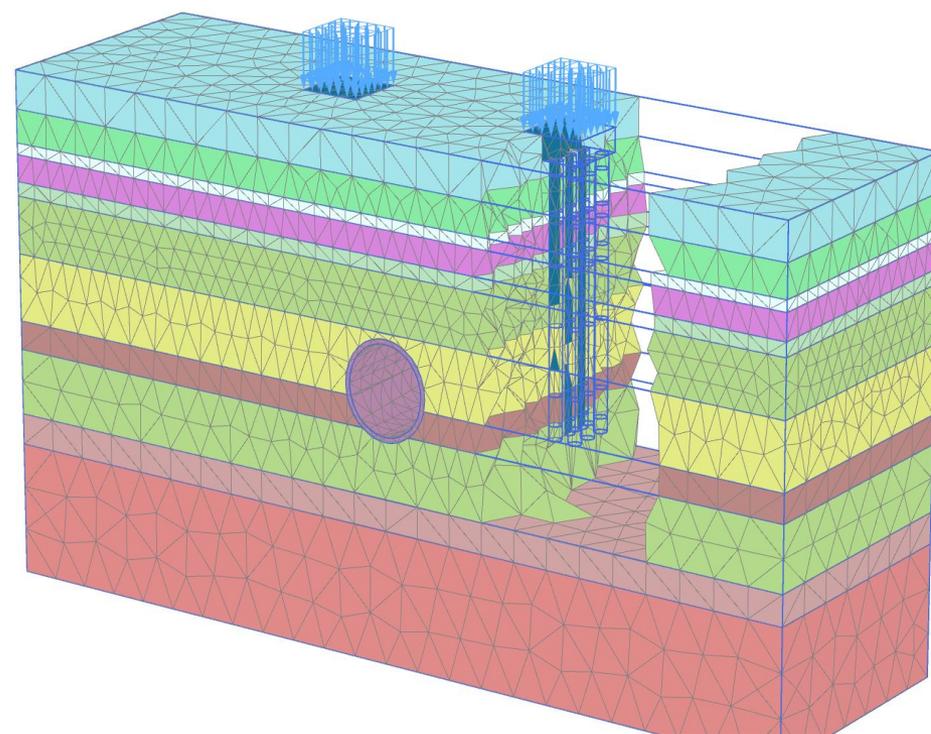


Результаты моделирования используются для тарировки моделей из конечных элементов. Сформированные модели конечных элементов применяются для аналогичных горно-геологических условий, позволяют получить объективные результаты.

Математическое моделирование геомеханических процессов на основе метода конечных элементов (МКЭ)



Разработка методов прогноза сдвижений и деформаций от строительства тоннелей и подземных станций метрополитена с последующей оценкой их влияния на здания и сооружения на основе методов математического моделирования геомеханических процессов (метода конечных элементов).



Геомеханическая модель «тоннель - опоры путепровода»

Обработка результатов измерений

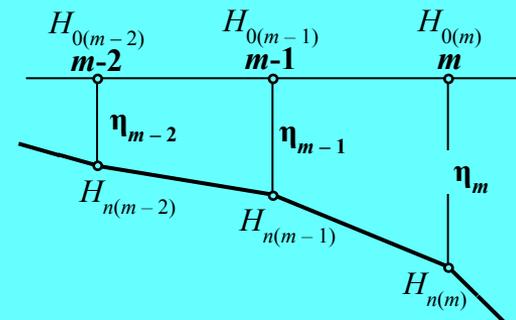
Вертикальные
сдвигения и
деформации

I. Вертикальные сдвигения и деформации

1. Оседание (η) репера m :

$$\eta_m = H_{0(m)} - H_{n(m)},$$

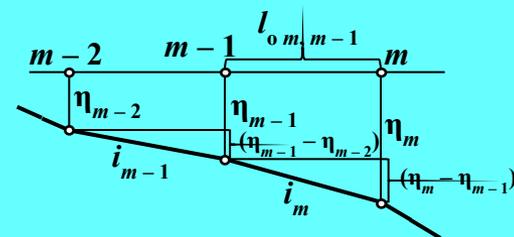
где $H_{0(m)}$ – высотная отметка репера в начальной серии наблюдений;
 $H_{n(m)}$ – высотная отметка репера в данной серии наблюдений.



2. Наклон (i) интервала земной поверхности между реперами m и $m-1$:

$$i_m = \frac{\eta_m - \eta_{m-1}}{l_{0m, m-1}}$$

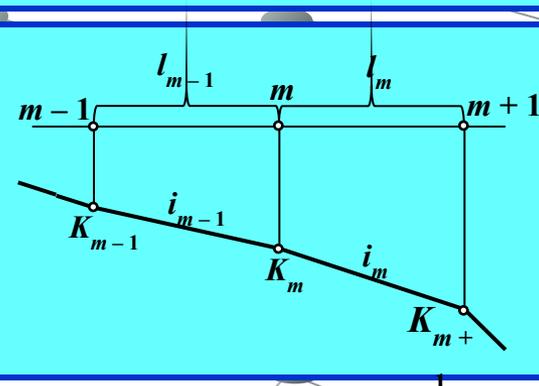
где η_m – оседание m -го репера; η_{m-1} – оседание $(m-1)$ -го репера;
 $l_{0m, m-1}$ – горизонтальное расстояние между реперами m и $m-1$.



3. Кривизна (K) в точках мульды сдвижения:

$$K_m = \frac{i_m - i_{m-1}}{l_{cp}}$$

где i_m – наклон m -го интервала; i_{m-1} – наклон $(m-1)$ -го интервала;
 l_{cp} – средняя длина интервалов l_m и l_{m-1} ($l_{cp} = (l_m + l_{m-1}) / 2$).



4. Радиус кривизны (R) – величина обратная кривизне, выражается в километрах:

$$R = 1 / K.$$

Обработка результатов измерений

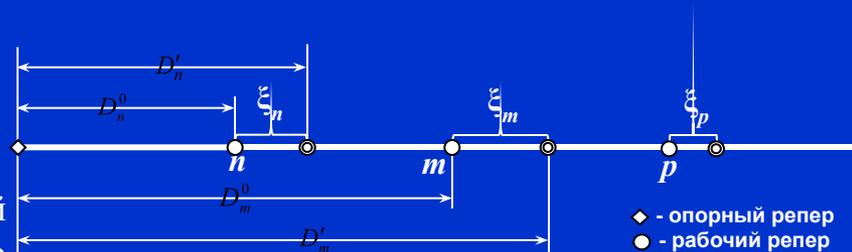
Горизонтальные
сдвиги и
деформации

II. Горизонтальные сдвиги и деформации

5. Горизонтальные сдвиги (ξ):

$$\xi_n = D'_n - D_n^0$$

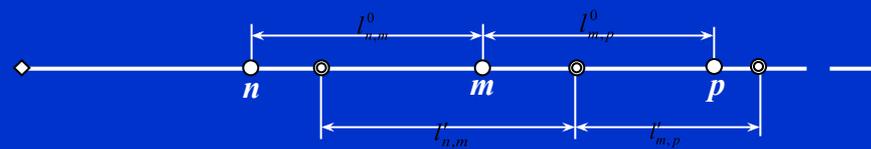
где D'_n – расстояние от опорного репера до репера n в данной серии наблюдений; D_n^0 – расстояние от опорного репера до репера n в начальной серии наблюдений.



6. Горизонтальные деформации (ε):

$$\varepsilon_n = \frac{l'_{n,m} - l_{n,m}^0}{l_{n,m}^0}$$

где $l'_{n,m}$ – расстояние между реперами n и m в данной серии наблюдений; $l_{n,m}^0$ – то же в начальной серии наблюдений.



6.1. Определение горизонтальных деформаций (ε) через горизонтальные сдвиги (ξ):

$$l_{n,m}^0 = D_m^0 - D_n^0$$

$$l'_{n,m} = D'_m - D'_n$$

$$(l'_{n,m} - l_{n,m}^0) = (D'_m - D'_n) - (D_m^0 - D_n^0) = (D'_m - D_m^0) - (D'_n - D_n^0) = \xi_m - \xi_n; \text{ - это числитель формулы, записанной в п. 6}$$

$$l'_{m,p} - l_{m,p}^0 = \xi_p - \xi_m$$

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Для расчета сдвижений и деформаций земной поверхности используется метод **типовых кривых** – безразмерных функций распределения основных видов сдвижений и деформаций, представляющих собой выраженные в безразмерной форме средние значения оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и деформаций.

Ожидаемые сдвижения и деформации определяют в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные.

Вероятные сдвижения и деформации определяют, когда календарные планы горных работ отсутствуют.

Расчетные деформации получают путем умножения ожидаемых или вероятных сдвижений и деформаций на коэффициенты перегрузки: n_{η} , n_{ξ} , n_i , n_k , n_{ε} .

Исходными параметрами являются:

- граничные углы (β_0 , γ_0 , δ_0);
- угол максимального оседания (θ) и углы полных сдвижений (ψ_1 , ψ_2 , ψ_3);
- относительное максимальное оседание (q_0);
- относительное максимальное горизонтальное сдвижение (a_0).

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при отсутствии сдвижения пород лежачего бока.

На разрезе вкрест простирания и по простиранию по **граничным углам** $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$ и **углу максимального оседания** θ (при неполной подработке) или по **углам полных сдвижений** ψ_1, ψ_2, ψ_3 (при полной подработке) определяют **длину полумульд** L_1, L_2, L_3 .

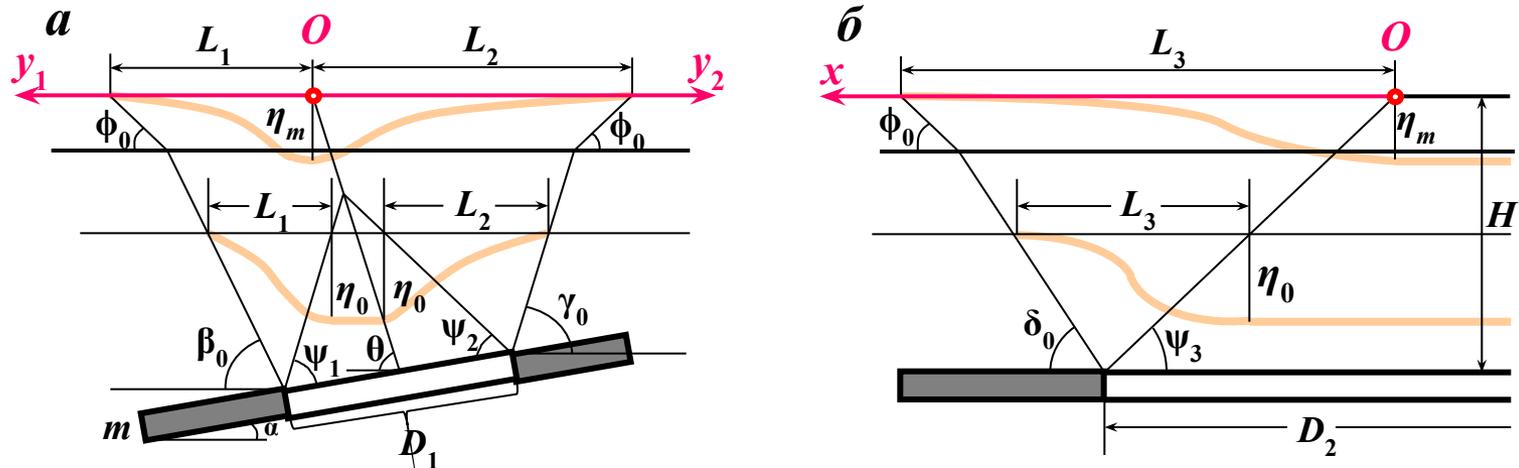


Схема к расчету сдвижений и деформаций по методу типовых кривых:

а – вкрест простирания; *б* – по простиранию

Максимальное оседание земной поверхности

$$\eta_m = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2,$$

где q_0 – относительное максимальное оседание, $q_0 = \eta_0/m$; η_0 – максимальное оседание при полной подработке; m – вынимаемая мощность пласта; N_1, N_2 – коэффициенты, учитывающие степень подработанности толщи соответственно вкрест и по простиранию пласта, определяется по Правилам охраны в зависимости от отношения $D_{1,2}/H$; α – угол падения пласта.

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при отсутствии сдвижения пород лежачего бока.

При применении закладки выработанного пространства вместо вынимаемой мощности пласта (m) используют так называемую **эффективную мощность пласта** ($m_э$):

$$m_э = h_к + h_н + [m - (h_к + h_н)]B_1,$$

где $h_к$ – сближение кровли и почвы (*конвергенция*) до возведения закладочного массива (рис.29), при отсутствии данных принимается равным $0,15 \cdot m$; $h_н$ – неполнота закладки (среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли на рис.29); B_1 – коэффициент усадки закладки (отношение изменения мощности закладочного массива под нагрузкой к его первоначальной мощности в неуплотненном состоянии) определяется из опыта или по компрессионным испытаниям закладочного материала, а при отсутствии данных – по таблице в Правилах охраны.

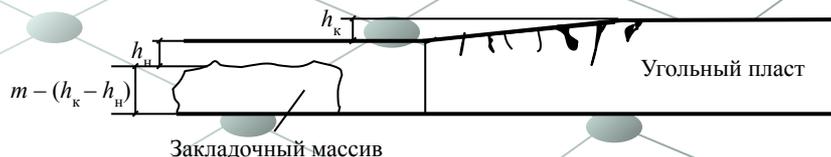


Схема определения эффективной мощности пласта

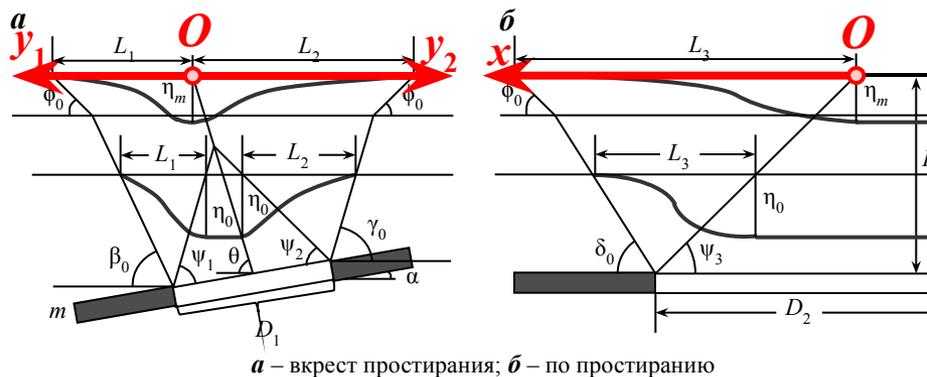
Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при отсутствии сдвижения пород лежащего бока.

Если при расчетах коэффициентов получают значения $N_1 > 1$ или $N_2 > 1$, то принимают $N_1 = N_2 = 1$.

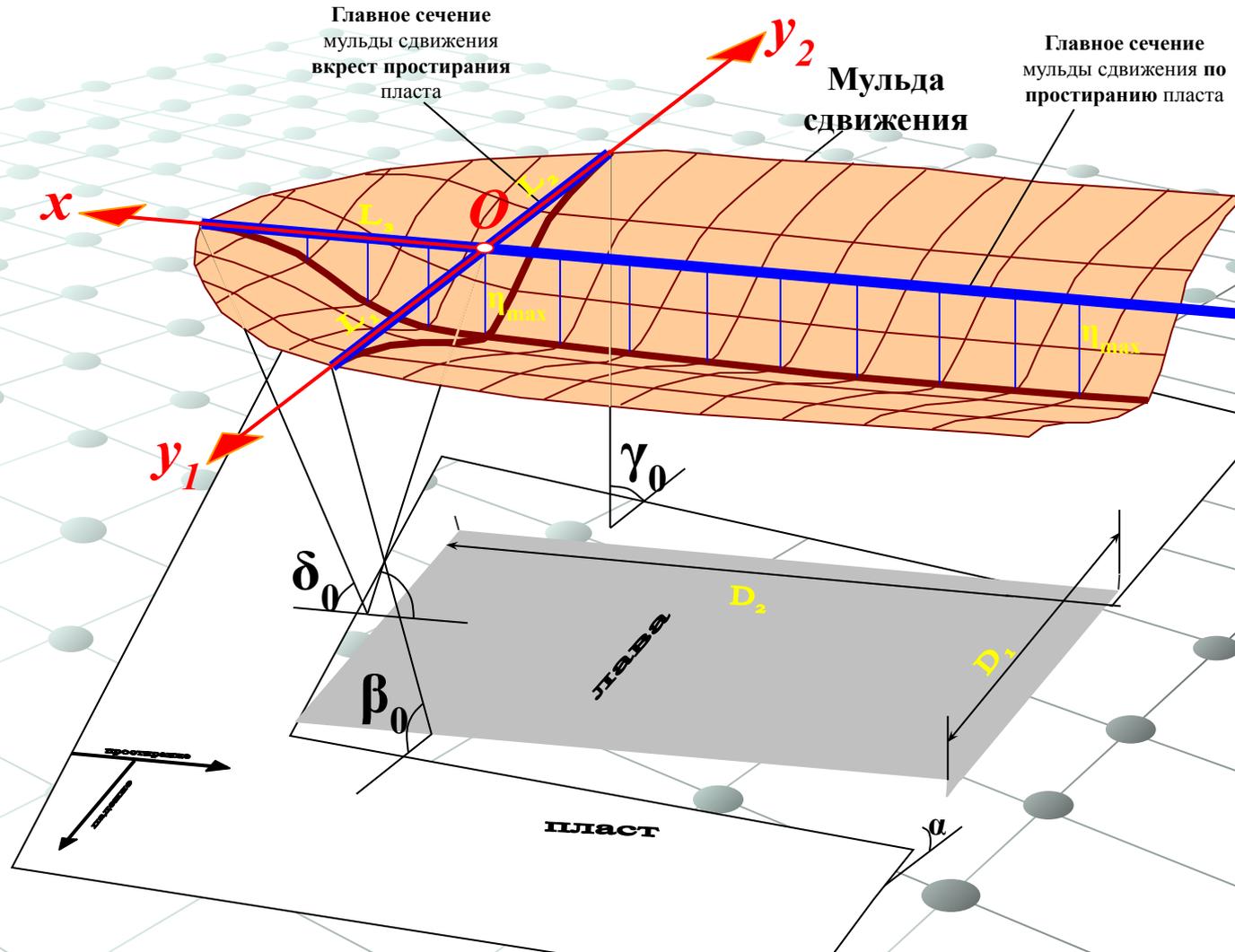
Различают максимальные оседания при полной подработке земной поверхности η_0 (когда $N_1 = N_2 = 1$) и при неполной подработке η_m (при $N_1 < 1$ и $N_2 < 1$).

Начало координат находится в **точке максимального оседания**, ось x направлена по простиранию, ось y – в сторону падения y_1 и в сторону восстания y_2 .



Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при
отсутствии сдвижения пород лежачего бока.



Система координат, принятая в расчётном методе типовых кривых

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при отсутствии сдвижения пород лежащего бока.

Вертикальные
сдвижения и
деформации

η (оседание)

Оседания (η) земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяются формулам:

а) в полумульде по простиранию и в сторону, обратную простиранию

$$\eta_x = \eta_m S(z_x)$$

б) в полумульде по падению вкrest простирания пласта

$$\eta_{y_1} = \eta_m S(z_{y_1})$$

в) в полумульде по восстанию вкrest простирания пласта

$$\eta_{y_2} = \eta_m S(z_{y_2})$$

где $S(z)$ – функция типовой кривой распределения оседаний, определяемая по таблицам Правил для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 – для точек главного сечения вкrest простирания пластов и N_2 – для точек главного сечения по простиранию пластов; $z_x = x / L_3$; $z_{y_1} = y_1 / L_1$; $z_{y_2} = y_2 / L_2$; x, y_1 и y_2 – расстояния от точки максимального оседания (начала координат) до рассматриваемой точки.

i (наклон)

Наклоны (i) в главных сечениях мульды:

а) по простиранию

$$i_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3} \right) S'(z_x)$$

б) в сторону, обратную простиранию

$$i_x = - \left(\frac{\eta_m}{L_3} \right) S'(z_x)$$

в) в полумульде по падению

$$i_{y1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1} \right) S'(z_{y1})$$

г) в полумульде по восстанию

$$i_{y2} = - \left(\frac{\eta_m}{L_2} \right) S'(z_{y2})$$

где – $S'(z)$ значения функции типовой кривой наклонов, определяются по таблицам Правил для соответствующих бассейнов (месторождений), в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 $z_x; z_{y1}; z_{y2}$ – то же, что в формулах η .

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при отсутствии сдвижения пород лежащего бока.

Вертикальные
сдвижения и
деформации

K (кривизна)

Кривизна (K) в главных сечениях мульды:

а) по простиранию

$$K_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3^2} \right) S''(z_x)$$

б) в полумульде по падению

$$K_{y1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1^2} \right) S''(z_{y1})$$

в) в полумульде по восстанию

$$K_{y2} = \left(\frac{\eta_m}{L_2^2} \right) S''(z_{y2})$$

где – $S''(z)$ функция типовой кривой кривизны, определяемая по таблицам Правил для соответствующих бассейнов (месторождений), в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 . z_x ; z_{y1} ; z_{y2} – то же, что в формулах η .

При неполной подработке ($N_{1,2} < 1$) кривизна в точке максимального оседания определяется по средней длине полумульды $L_{cp} = 0,5(L_1 + L_2)$.

ξ (горизонтальные сдвиги)

Горизонтальные сдвиги (ξ) в точках главных сечений мульды:

а) по простиранию

$$\xi_x = 0,5a_0\eta_m S'(z_x)$$

б) в сторону, обратную простиранию

$$\xi_x = -0,5a_0\eta_m S'(z_x)$$

в) в полумульде по падению

$$\xi_{y_1} = 0,5a_0\eta_m [S'(z_{y_1}) + 2BS(z_{y_1})]$$

г) в полумульде по восстанию

$$\xi_{y_2} = -0,5a_0\eta_m [S'(z_{y_2}) - 2BS(z_{y_2})]$$

где значения функции $S'(z_x)$ определяются по таблицам Правил для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициента N_2 ; значения функций $S(z_{y_1})$, $S(z_{y_2})$, $S'(z_{y_1})$, $S'(z_{y_2})$, – по тем же таблицам Правил, в зависимости от коэффициента N_1 .

ε (горизонтальные деформации)

Горизонтальные деформации (ε) в точках главных сечений мульды:

а) по простиранию

$$\varepsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_3} S''(z_x)$$

б) в полумульде по восстанию

$$\varepsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} [S''(z_{y_1}) + 2BS'(z_{y_1})]$$

в) в полумульде по падению

$$\varepsilon_{y_2} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2} [S''(z_{y_2}) - 2BS'(z_{y_2})]$$

Значения функции $S'(z_x)$, $S''(z_x)$ определяются по таблицам Правил для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициента N_2 ; значения функций $S'(z_{y_1})$, $S'(z_{y_2})$, $S''(z_{y_1})$, $S''(z_{y_2})$ – по тем же таблицам Правил, в зависимости от коэффициента N_1 .

При неполной подработке ($N < 1$) горизонтальные деформации в точке максимального оседания определяются по средней длине полумульды $L_{cp} = 0,5(L_1 + L_2)$.

Методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций при
отсутствии сдвижения пород лежащего бока.

B (коэффициент для ξ и ϵ)

Коэффициент B в формулах для ξ и ϵ определяется из выражения

$$B = \frac{1}{a_0} \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{h + h_M}{H_{\text{ср}}} \right) \geq 0$$

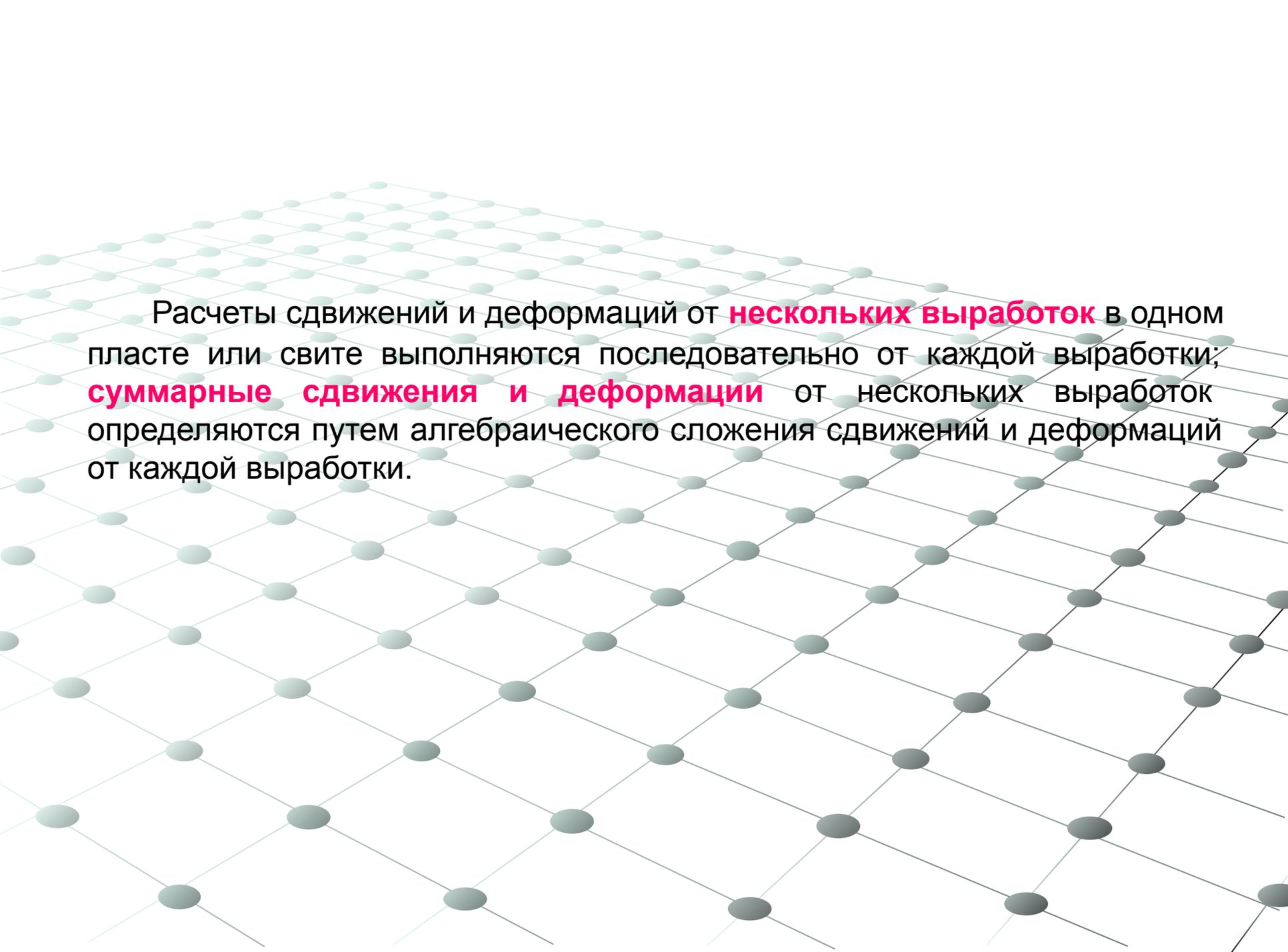
где α – угол падения пласта; h – мощность наносов; h_M – мощность горизонтально залегающих ($\leq 5^\circ$) мезозойских отложений; $H_{\text{ср}}$ – средняя глубина разработки; a_0 – относительное максимальное горизонтальное сдвижение: отношение максимального горизонтального сдвижения ξ_m к максимальному оседанию при полной подработке η_0 , горизонтальном залегании пласта и закончившемся процессе сдвижения.

Анализ формулы определения B

1. При угле падения $\alpha = 0^\circ$ коэффициент $B < 0$ (отрицательное значение), то принимается $B = 0$, поскольку должно быть $B \geq 0$. Значит, на разрезе по простиранию, где $\alpha = 0^\circ$, типовые функции для расчёта горизонтальных сдвижений (ξ) и деформаций (ε) выбираются по таблицам Правил при $B = 0$, т.е. угол падения не учитывается.

2. При отсутствии наносов и мезозойских отложений ($h = 0$ и $h_m = 0$) коэффициент $B = (\operatorname{tg}\alpha)/a_0$.

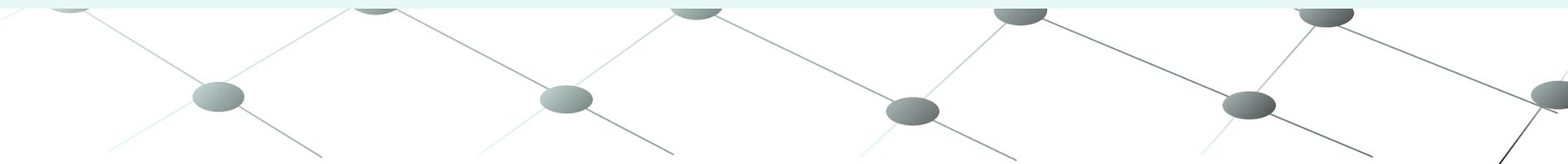
3. Угол падения не оказывает влияния на вертикальные сдвижения и деформации, поэтому функции типовых кривых для вычисления наклонов (i) и кривизны (K) берутся при $B = 0$.



Расчеты сдвижений и деформаций от **нескольких выработок** в одном пласте или свите выполняются последовательно от каждой выработки; **суммарные сдвижения и деформации** от нескольких выработок определяются путем алгебраического сложения сдвижений и деформаций от каждой выработки.

При расчетах сдвижений и деформаций от нескольких выработок учитывается **активизация процесса сдвижения**, возникающая за счет трещин расслоений и отслоений, образовавшихся от первичной подработки. Под **активизацией процесса сдвижения** понимают изменение характера распределения и размера сдвижений и деформаций горных пород при повторных подработках смежными выработками или свитой пластов по сравнению со сдвижениями и деформациями от отдельной выработки при первичной подработке.

Активизация процесса сдвижения увеличивает сдвижения и деформации земной поверхности, что учитывается через изменение значения в большую сторону относительного максимального оседания q_0 , через принятие более пологих **углов сдвижения**, **граничных углов**, т.е. увеличивая тем самым зону сдвижения. Степень выполаживания упомянутых **углов** и увеличение q_0 от **активизации** определяется по Правилам... .



Условия безопасной выемки угля

в зонах влияния на здания и сооружения и выбор мер их охраны определяются на основании *расчётных деформаций* (*показателей деформаций*) земной поверхности и их сравнения с *допустимыми* и *предельными деформациями* (*показателями деформаций*) и *скоростями деформаций* для железных дорог.

Допустимыми деформациями (показателями деформаций) земной поверхности (основания сооружения) считаются деформации, которые могут вызвать такие повреждения в сооружениях, при которых для дальнейшей их эксплуатации по прямому назначению достаточно проведения текущих ремонтных и наладочных работ.

Предельными деформациями (показателями деформаций) считаются такие, превышение которых вызывает аварийное состояние сооружений с угрозой для жизни людей.

Условия безопасного ведения горных работ

в зонах влияния на охраняемые объекты определяются *допустимыми значениями деформаций (показателей деформаций)*,

а при перспективном планировании горных работ – *безопасной глубиной разработки пластов.*

Безопасной глубиной разработки

называется такая, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций более допустимых.

Безопасная глубина откладывается от объекта по вертикали.

Ниже горизонта **безопасной глубины горных работ** могут проводиться без применения горных и конструктивных мер охраны сооружений.

I. Безопасная глубина H_{δ} при разработке одиночных пластов определяется по формулам:

а) без учёта влияния подвижек пород по контактам напластований

$$H_{\delta}^{(1)} = k_D \cdot \frac{m}{[D_D]}$$

б) от влияния подвижек по контактам напластований

$$(2) \quad H_{\delta} = \frac{0.9 \cdot m \cdot \sin^2 \alpha}{[D_D]}$$

m – вынимаемая мощность пласта (при выемке пластов с закладкой выработанного пространства в формулы подставляется эффективная мощность пласта m_{ε}); $[D_D]$ – допустимые значения либо горизонтальных деформаций ($[D_D] = [\varepsilon_D]$), либо наклонов ($[D_D] = [i_D]$) для объекта; $k_D = k_{\varepsilon}$ – при допустимых горизонтальных деформациях для объекта; $k_D = k_i$ – при допустимых наклонах для объекта; α – угол падения пласта.

II. **Безопасная глубина H_6** при разработке **свит пластов** (без учёта влияния подвижек пород по контактам напластований) определяется по формулам:

а)

а) при разработке свит пластов с углами падения $\alpha < 25^\circ$

$$\frac{m_1}{H_6} + \frac{m_2}{H_6 + \Delta h_1^{(3)}} + \frac{m_3}{H_6 + \Delta h_2} \leq \frac{[D_D]}{k_D}$$

где m_1, m_2, m_3 – вынимаемые мощности соответственно верхнего, среднего и нижнего, - **трёх наиболее влияющих пластов (имеющих максимальные отношения – $m_1/H_1, m_2/H_2, m_3/H_3$; H_1, H_2, H_3 – средние глубины разработки пластов)**, расположенных в зоне влияния на охраняемый объект;

зона влияния определяется по углам β_0 и γ_0 на разрезе вкрест простирания

или углом δ_0 на разрезе по простиранию (на рис. а, зона АА'Б'Б); Δh_1 –

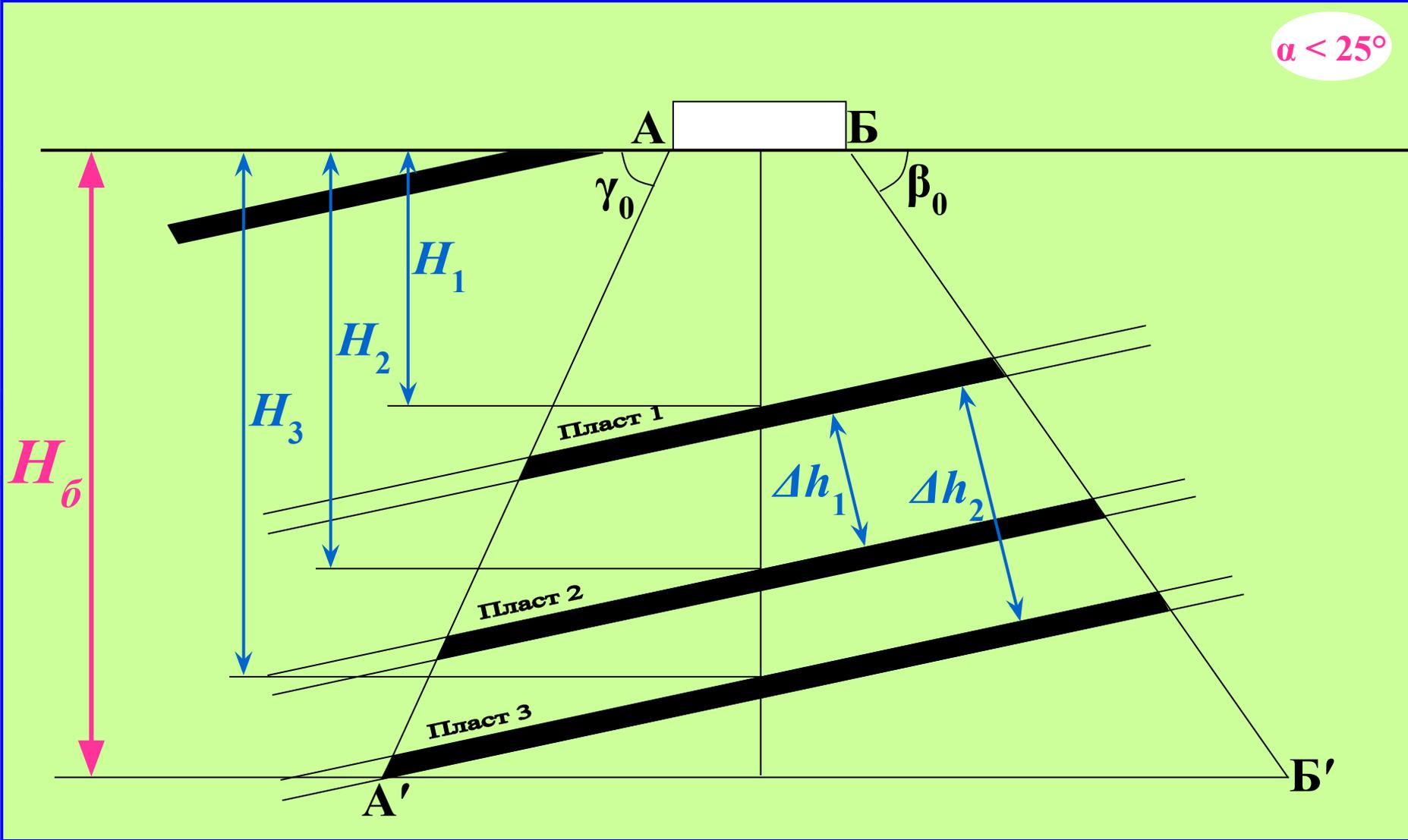
мощность междупластия между первым и вторым наиболее влияющими пластами (расстояние по нормали между почвой первого и кровлей второго

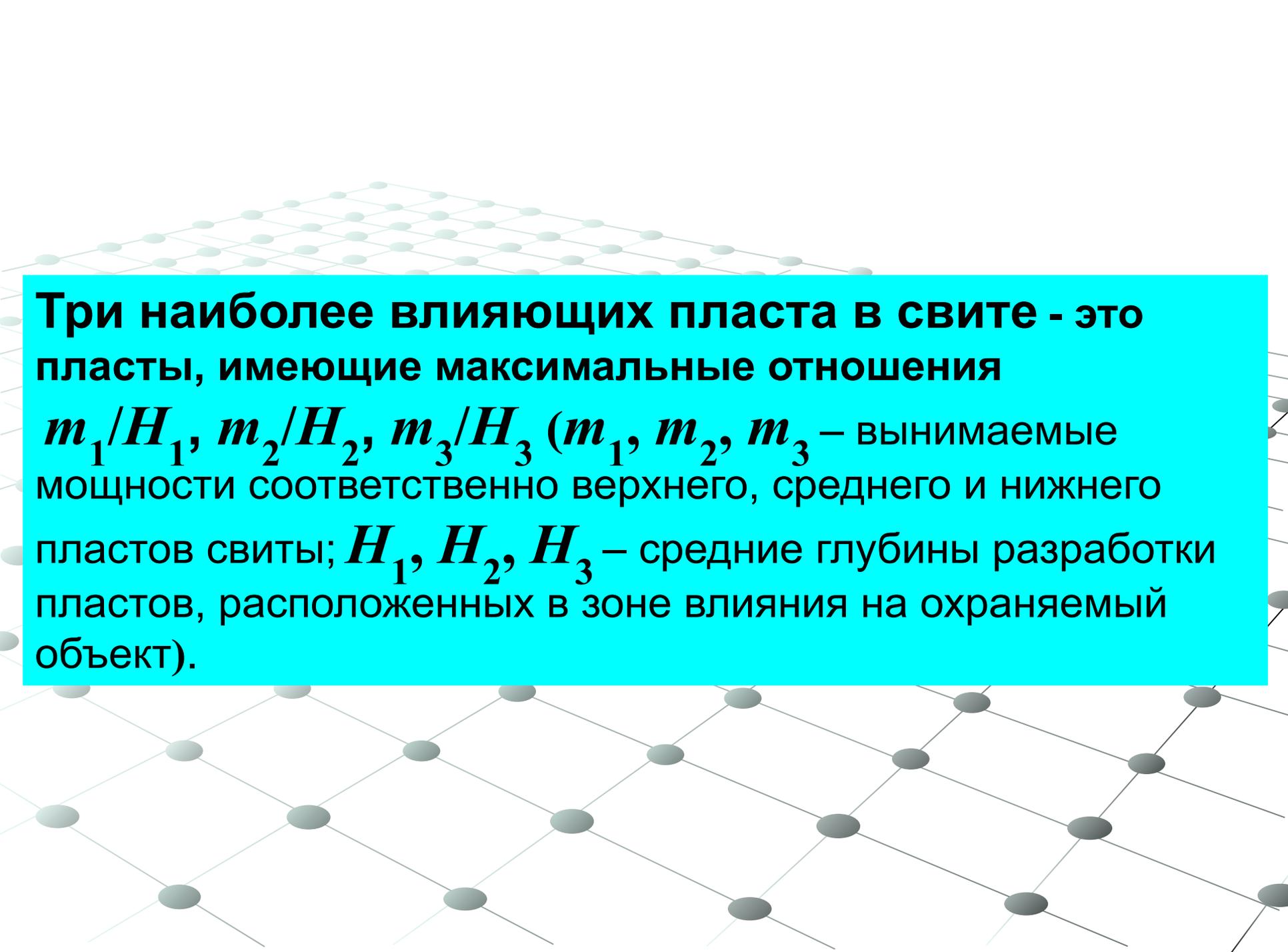
пластов); Δh_2 – мощность междупластия между первым и третьим наиболее влияющими пластами (расстояние по нормали между почвой первого и кровлей

третьего пластов); $[D_D]$ и k_D – см. расшифровку к формуле (1).

a

$\alpha < 25^\circ$





Три наиболее влияющих пласта в свите - это пласты, имеющие максимальные отношения m_1/H_1 , m_2/H_2 , m_3/H_3 (m_1 , m_2 , m_3 – вынимаемые мощности соответственно верхнего, среднего и нижнего пластов свиты; H_1 , H_2 , H_3 – средние глубины разработки пластов, расположенных в зоне влияния на охраняемый объект).

Продолжение:

а)

При мощности междупластий $\Delta h_1 \leq 0,2H_2$; $\Delta h_2 \leq 0,2H_3$ расчёт безопасной глубины допускается производить по формуле:

$$H_{\text{б}} = \frac{k_{\text{Д}}^{(4)}}{[\text{Д}_{\text{Д}}]} \cdot (m_1 + m_2 + m_3)$$

При $\Delta h_1 > 0,2H_2$; $\Delta h_2 > 0,2H_3$ безопасная глубина определяется из выражения (3).

Решение уравнения (3) выполняется методом итераций или каким-либо другим методом.

Примечание. В Кузнецком бассейне при определении безопасной глубины разработки следует учитывать два наиболее влияющих пласта свиты.

б)

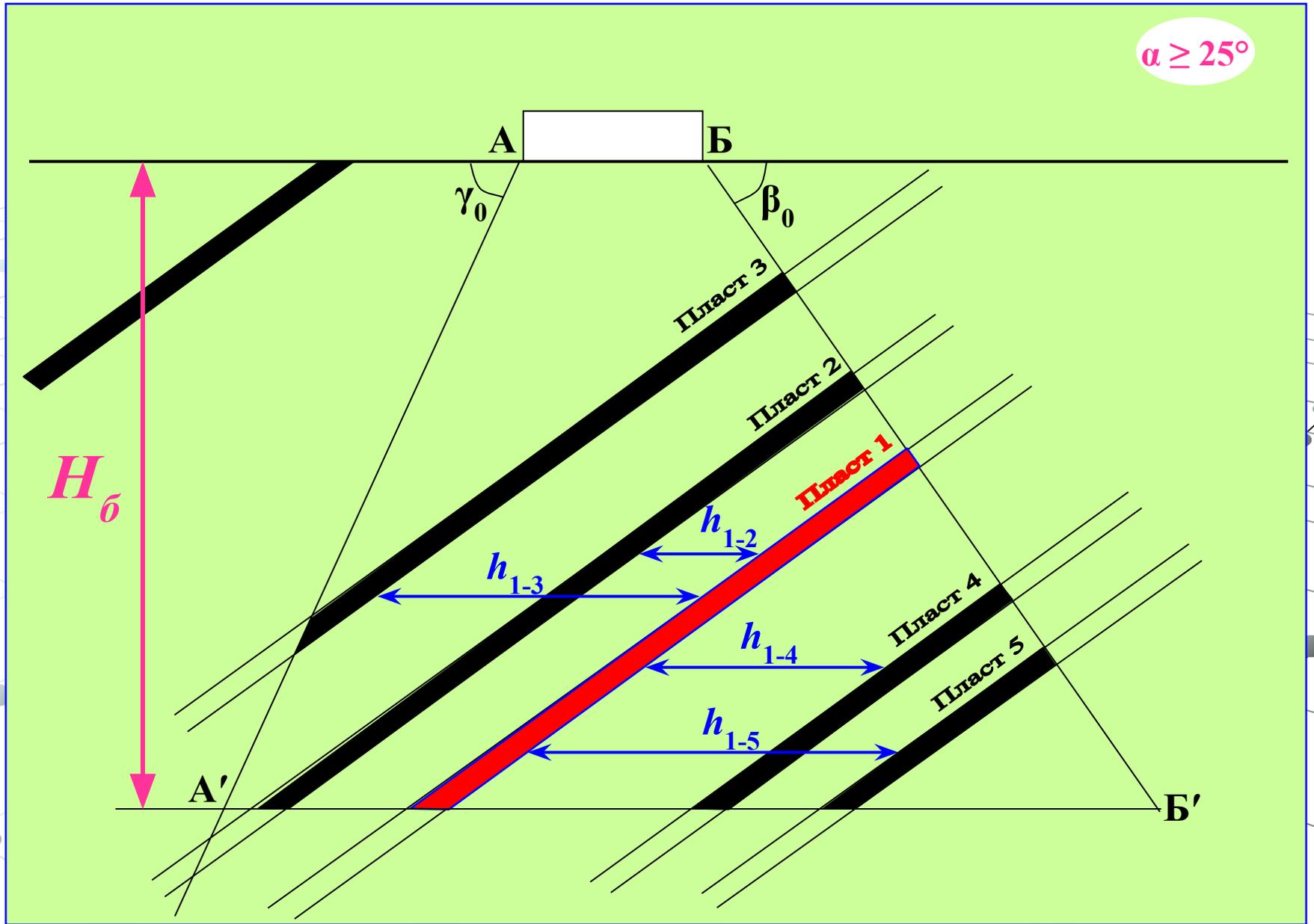
б) при разработке свит пластов с углами падения $\alpha \geq 25^\circ$

$$H_{\delta} = \frac{k_{\text{Д}}}{2 \cdot [\text{Д}_{\text{Д}}]} \sum_1^n m_i + \sqrt{\left(\frac{k_{\text{Д}}}{2[\text{Д}_{\text{Д}}]} \sum_1^n m_i \right)^2 - \frac{k_{\text{Д}}}{[\text{Д}_{\text{Д}}]} \sum_1^{n-1} m_{i+1} h_{1-(i+1)}}$$

где $\sum_1^n m_i$ - суммарная вынимаемая мощность свиты пластов в пределах зоны влияния на охраняемые объекты; зона влияния выработок на охраняемый объект определяется по углам β_0, γ_0 на разрезе вкрест простирания и углом δ_0 - на разрезе по простиранию (зона АА'Б'Б на рис. б);

$\sum_1^{n-1} m_{i+1} h_{1-(i+1)} = m_2 h_{1-2} + m_3 h_{1-3} + \dots + m_n h_{1-n}$ - расстояния по горизонтали между **выбранным первым** пластом свиты и каждым рассматриваемым пластом; в качестве **первого** принимается пласт с максимальной вынимаемой мощностью или пласт, находящийся в центре свиты.

6



Продолжение:

б)

Расчёты безопасной глубины разработки по **(5)** выполняются последовательно. Вначале учитываются все пласты, находящиеся в зоне влияния на охраняемый объект. При этом, если линия безопасной глубины на разрезе пересекает все пласты в зоне влияния, принятые для расчётов, либо располагается ниже принятых к расчёту пластов в зоне влияния, то полученное значение безопасной глубины является окончательным.

Если часть принятых в расчётах безопасной глубины пластов располагается на разрезе в зоне влияния ниже линии безопасной глубины, то производится повторный расчёт безопасной глубины по формуле **(5)** без учёта влияния пластов, расположенных ниже линии рассчитанной безопасной глубины на разрезах. Расчёты безопасной глубины ведутся до тех пор, пока линия безопасной глубины на разрезе будет пересекать или располагаться ниже тех пластов, мощности которых использовались при расчётах $H_{б}$.

III. Безопасная глубина разработки (НБ) свиты пластов при наличии подвижек пород по контактам напластований:

$$H_{\sigma}^{(6)} = \frac{\sin^2 \alpha \cdot \sum_1^n k_i m_i}{[D_D]}$$

где k_1, k_2, \dots, k_n – коэффициенты влияния 1-го, 2-го, n -го пластов;
 $k_1 = 0,9; k_2 = 0,7; k_3 = \dots = k_n = 0,5$.

При наличии подвижек пород по контактам напластований расчёты безопасной глубины выполняются **дважды**:

- по формулам (1), (3), (4), (5), т.е. без учёта влияния подвижек пород по контактам напластований;

- по формулам (2), (6), т.е. с учётом подвижек пород по контактам напластований.

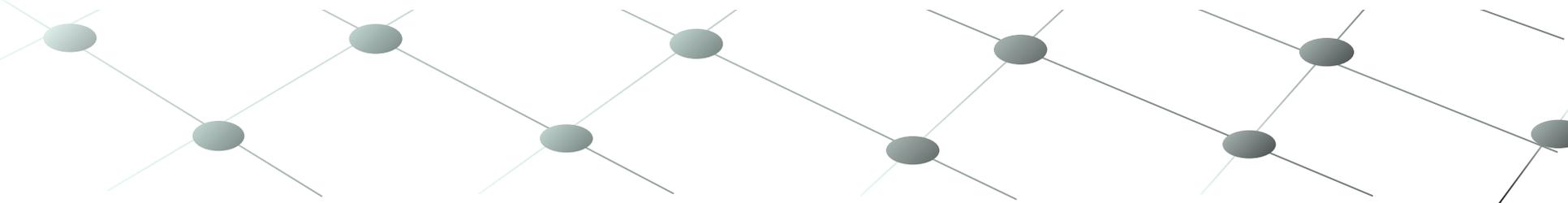
К использованию для планирования горных работ и выбора мер охраны объектов принимаются **максимальные** из полученных значений безопасной глубины H_{σ} .

При подработке свиты пластов под гражданскими, промышленными, инженерными сооружениями и санитарно-техническими сетями безопасная глубина может рассчитываться отдельно для каждого пласта свиты как для одиночного, если

- разрыв во времени между подработками объектов превышает **пять лет**;
- **ликвидированы** деформации и повреждения несущих и ограждающих конструкций от предыдущих подработок;
- **восстановлена** эксплуатационная способность зданий, сооружений и коммуникаций.



Если охраняемый объект возведён на подработанной площади после окончания процесса сдвигения от предыдущих подработок и при отсутствии зависаний пород, то значение **безопасной глубины**, рассчитанное по формулам (1) – (6), увеличивается на 15%.



Предельные условия подработки объектов, при которых горные работы могут вызвать появление недопустимых деформаций в зданиях и сооружениях, определяются **предельными показателями деформаций $[D_{\text{п}}]$**

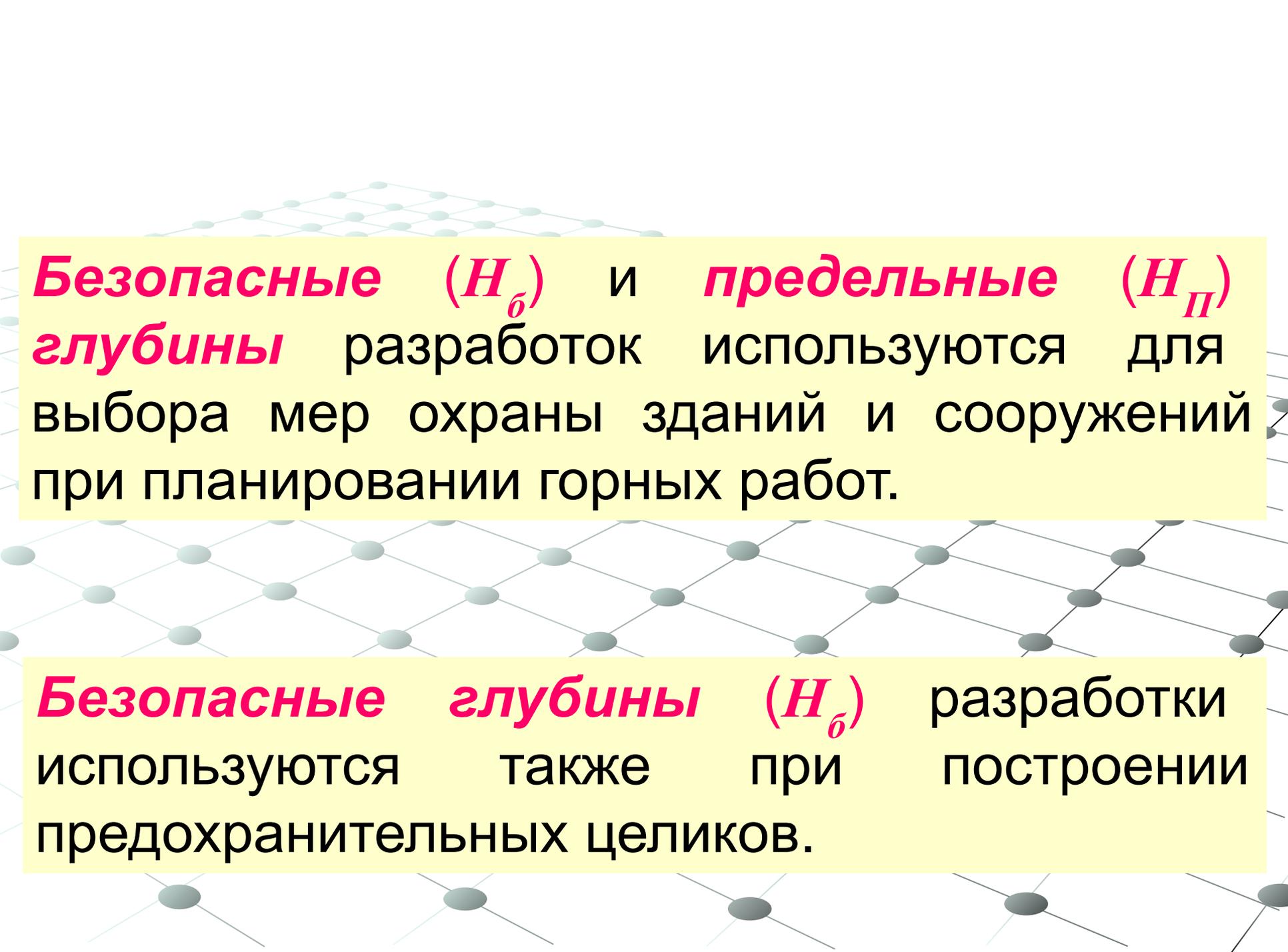
или

при перспективном планировании горных работ - **предельной глубиной разработки $H_{\text{п}}$**

Предельная глубина разработки $H_{\text{п}}$ откладывается от охраняемого объекта по вертикали.

$H_{\text{п}}$ определяется по формулам (1) - (6), в которых вместо **допустимых деформаций (показателей деформаций) $[D_{\text{д}}]$** используются **предельные деформации (показатели деформаций) $[D_{\text{п}}]$** .

Приёмы и методы расчёта **предельной глубины разработки ($H_{\text{п}}$)** аналогичны приемам и методам расчёта **безопасной глубины разработки ($H_{\text{б}}$)**, изложенным выше.



Безопасные (H_6) и **предельные (H_{II})**
глубины разработок используются для
выбора мер охраны зданий и сооружений
при планировании горных работ.

Безопасные глубины (H_6) разработки
используются также при построении
предохранительных целиков.

Планирование горных работ должно производиться исходя из следующих основных положений:

- **ниже горизонта безопасной глубины ($H_б$)** горные работы в зоне влияния на охраняемые объекты могут вестись без применения **горных и конструктивных мер охраны объектов**;
- на участках **между безопасной ($H_б$) и предельной ($H_п$) глубиной** разработки при ведении горных работ необходимо предусматривать применение отдельно или совместно **горных и конструктивных мер охраны объектов**;
- **выше предельной глубины ($H_п$)** или на участках, разработка которых может вызвать образование провалов, необходимо совместное применение как **горных мер защиты объектов**, уменьшающих деформации как минимум до предельных величин, так и **конструктивных мер**, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов.

При выемке угля под охраняемыми объектами с применением *горных и конструктивных мер охраны* или при *отступлении от настоящих Правил* (Правила ..., 1998 г.) угледобывающие организации должны проводить **специальные инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности, деформациями объектов и технологического оборудования, изменением гидрогеологических режимов грунтовых вод и водоносных горизонтов**, с целью своевременной корректировки применяемых мер охраны. Наблюдения должны производиться в соответствии с "Инструкцией по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях" (М.: Недра, 1989) и "Методическими указаниями по наблюдениям за сдвижением горных пород и за подрабатываемыми сооружениями" (Л., 1987).

Горные меры охраны - специальные системы разработки пластов и способы управления горным давлением, способствующие уменьшению величин деформаций поверхности или уменьшению скоростей деформаций поверхности.

Горные меры:

- охрана сооружений с помощью закладки выработанного пространства;
- охрана применением различных режимов выемки: гармоническая отработка, разработка пластов с разрывом во времени более продолжительности процесса сдвижения от одного пласта, выемка в обе стороны от разрезной печи и др.;
- частичная выемка запасов (по мощности, по площади);
- оставление предохранительных целиков, если другие меры охраны не могут гарантировать нормальную эксплуатацию охраняемого объекта или являются экономически нецелесообразными (когда надобность в предохранительном целике отпадает, шахта обязана частично или полностью извлечь запасы из предохранительного целика. В случае нецелесообразности извлечения запасов они относятся к потерям в целиках в установленном порядке).

1. Обработка пластов на неполную мощность.

1.1. Для случаев, когда известен достоверный календарный план развития горных работ и достоверно известно положение проектируемых очистных горных выработок:

а) выемка **одного (первого)** пласта свиты

$$\text{отсюда } \frac{\varepsilon}{[\varepsilon]} = \frac{m_1}{[m]_1} \quad ; \quad (1)[m]_1 = \frac{m_1 \cdot [\varepsilon]}{\varepsilon}$$

б) выемка **второго** пласта свиты

$$\frac{\varepsilon}{[\varepsilon]} = \frac{([m]_1 + m_2)}{[m]_2} \quad (2) \quad [m]_2 = \frac{([m]_1 + m_2) \cdot [\varepsilon]}{\varepsilon}$$

в) выемка **третьего** пласта свиты

$$\frac{\varepsilon}{[\varepsilon]} = \frac{([m]_1 + [m]_2 + m_3)}{[m]_3} \quad ; \quad (3)[m]_3 = \frac{([m]_1 + [m]_2 + m_3) \cdot [\varepsilon]}{\varepsilon}$$

г) выемка **четвёртого** пласта свиты

$$[m]_4 = \frac{([m]_1 + [m]_2 + [m]_3 + m_4) \cdot [\varepsilon]}{\varepsilon} \quad (4)$$

д) выемка **n-го** пласта свиты

$$[m]_n = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n-1} [m]_i + m_n \right) \cdot [\varepsilon]}{\varepsilon} \quad (5)$$

$m_1, m_2, m_3, m_4, \dots, m_n$ – мощности 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, n -го пластов свиты; $[m]_1, [m]_2, [m]_3, [m]_4, \dots, [m]_n$ – допустимые вынимаемые мощности 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, n -го пластов свиты; ε – ожидаемые горизонтальные деформации земной поверхности; $[\varepsilon]$ – допустимые горизонтальные деформации (показатели деформаций) земной поверхности для наиболее ответственных объектов.

1.2. Для стадии разведки месторождения, проектирования и строительства шахты (по мотивам Правил...):

допустимая вынимаемая мощность (величина неполной мощности) определяется с учётом необходимого коэффициента уменьшения деформаций (λ)

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^3 m_i}{[\varepsilon] \sum_{i=1}^3 [m]_i}$$

(в Правилах (с. 249) эта формула записана **не правильно**)

отсюда

$$\sum_{i=1}^3 [m]_i = \frac{[\varepsilon] \cdot \sum_{i=1}^3 m_i}{\varepsilon}$$

где $[\varepsilon]$ – допустимые горизонтальные деформации (показатели деформаций) земной поверхности для

наиболее ответственных объектов; ε – максимальные вероятные деформации земной поверхности;

$\sum_{i=1}^3 m_i$ суммарная вынимаемая мощность **трёх наиболее влияющих пластов** (пластов с максимальным отношением вынимаемой мощности к средней глубине разработки); λ – допустимая вынимаемая мощность **трёх наиболее влияющих пластов** (уменьшенная).

2. Отработка пластов с закладкой выработанного пространства.

2.1. Для случаев, когда известен достоверный календарный план развития горных работ и достоверно известно положение проектируемых очистных горных выработок:

а) выемка **одного (первого)** пласта свиты,

должно соблюдаться условие: **эффективная мощность** $(m_э)$ не должна превышать **допустимой** $([m])$, т. е. при выбранном виде закладочного материала

$$(m_э)_1 \leq [m]_1;$$

б) выемка **второго** пласта свиты

$$(m_э)_2 \leq [m]_2;$$

в) выемка **третьего** пласта свиты

$$(m_э)_3 \leq [m]_3;$$

г) выемка **четвёртого** пласта свиты

$$(m_э)_4 \leq [m]_4;$$

д) выемка **n-го** пласта свиты

$$(m_э)_n \leq [m]_n,$$

где $[m]_1, [m]_2, [m]_3, [m]_4, \dots, [m]_n$ - допустимые вынимаемые мощности 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, n-го пластов свиты, определяемые по формулам (1) – (5); $(m_э)_1, (m_э)_2, (m_э)_3, (m_э)_4, \dots, (m_э)_n$ – эффективные мощности 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, n-го пластов свиты.

2.2. Для стадии разведки месторождения, проектирования и строительства шахты:

должно соблюдаться условие: **эффективная мощность** не должна превышать **допустимой**, т. е. при выбранном виде закладочного материала

$$\sum_{i=1}^3 (m_{\text{э}})_i \leq \sum_{i=1}^3 [m]_i$$

где $\sum_{i=1}^3 [m]_i$ - допустимая (уменьшенная) вынимаемая мощность **трёх наиболее влияющих пластов**, определяется по формуле (6); $\sum_{i=1}^3 (m_{\text{э}})_i$ - эффективная мощность **трёх наиболее влияющих пластов**.

ПРИМЕЧАНИЕ. При извлечении угля с закладкой выработанного пространства или на неполную мощность размеры планируемого к отработке с закладкой участка определяют плоскостями по **граничным углам**, построенным от **границ охраняемой площади**.

Эффективная мощность пласта ($m_э$)

При закладке выработанного пространства, вместо вынимаемой мощности пласта m при расчетах сдвижений и деформаций поверхности принимается **эффективная мощность пласта $m_э$** , которая определяется, **за исключением Кузбасса**, по формуле:

$$m_э = h_к + h_н + [m - (h_к + h_н)] B_1, \quad (1)$$

где $h_к$ – сближение кровли и почвы (конвергенция) до возведения закладочного массива, при отсутствии данных принимается равным **0.15m**; $h_н$ – неполнота закладки (среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли); B_1 – коэффициент усадки закладки (**отношение изменения мощности закладочного массива под нагрузкой к его первоначальной мощности в неуплотненном состоянии**): определяется из опыта или по компрессионным испытаниям закладочного материала, а при отсутствии данных принимают по таблицам Правил (Прил. 1, разд. 4.1).



Продолжение: **Эффективная мощность пласта ($m_{\text{э}}$)**

В случаях, когда известно расстояние от груди забоя до границы закладочного массива, эффективную мощность можно определить по формуле:

$$m_{\text{э}} = \frac{mB_1 + h_n(1 - B_1)}{1 - k + kB_1} \quad (2)$$

где m , h_n , B_1 – тоже, что в формуле (1); k – определяется из выражения:

$$k = \frac{l}{l_0} + 0, 1 \leq 1$$

l – расстояние от груди забоя до границы закладочного массива;

l_0 – параметр, определяемый по **таблице** (взята из Правил) в зависимости от типа кровли по обрушаемости.

Значение параметра l_0 , (м)

Тип кровли		
Легкообрушаемая	Среднеобрушаемая	Труднообрушаемая
25	40	65

Продолжение: **Эффективная мощность пласта (m_{ε})**

Для Кузбасса величина эффективной мощности определяется по формуле:

$$m_{\varepsilon} = k_p [h_k (1 - B_1) + B_1 m] , \quad (3)$$

где k_p – коэффициент, определяемый по таблицам Правил (Прил. 1, разд. 4.1); h_k – величина сближения кровли с почвой (конвергенция) в зоне опорного давления и на участках между забоем и закладкой, при отсутствии инструментальных данных определяется из выражения

$$h_k = 0,15 B_1 m ,$$

где B_1 – коэффициент усадки закладки, определяемый по данным наблюдений, а при отсутствии данных наблюдений по таблицам Правил (Прил. 1, разд. 4.1).

Продолжение: **Эффективная мощность пласта ($m_{\text{э}}$)**

Определение эффективной мощности ($m_{\text{э}}$) для свиты пластов

1. При определении эффективной мощности по формуле (1), для свиты пластов это будет выглядеть следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n (m_{\text{э}})_i = n \cdot (h_{\text{к}} + h_{\text{н}}) + \left[\sum_{i=1}^n m_i - n \cdot (h_{\text{к}} + h_{\text{н}}) \right] \cdot B_1$$

где $\sum_{i=1}^n (m_{\text{э}})_i$ - суммарная **эффективная мощность** свиты пластов; $\sum_{i=1}^n m_i$ - суммарная **мощность** свиты пластов; n – количество пластов в свите.

2. При определении эффективной мощности по формуле (2), для свиты пластов это будет:

$$\sum_{i=1}^n (m_{\text{э}})_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^n m_i \right) \cdot B_1 + n \cdot h_{\text{н}} (1 - B_1)}{n \cdot (1 - k + kB_1)}$$

3. При определении эффективной мощности по формуле (3), для свиты пластов это будет:

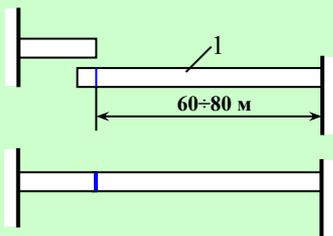
$$\sum_{i=1}^n (m_{\text{э}})_i = k_p \cdot \left[n \cdot h_{\text{к}} \cdot (1 - B_1) + B_1 \cdot \sum_{i=1}^n m_i \right]$$

Конструктивные меры охраны - усиление конструкций и узлов для восприятия дополнительных усилий в сооружении при подработке, а также снижение жесткости конструкций для уменьшения дополнительных усилий в сооружении, снижение дополнительных силовых воздействий на сооружения со стороны основания, уменьшение деформаций сооружения путем подъема и выправления сооружения или его части.

Конструктивные меры:

- осадочные швы: швы располагаются рядом с внутренними поперечными стенками, толщина швов должна быть такой, чтобы отдельные отсеки в процессе подработки работали независимо друг от друга; по вертикали здание рекомендуется разрезать на всю высоту, исключением является фундамент;
- податливые фундаменты: поглощающие горизонтальные напряжения в зданиях – для этого делается шов, отделяющий подземную часть здания от фундамента, шов заполняется материалом с небольшим коэффициентом трения;
- усиление здания железобетонными или стальными поясами;
- защита зданий с помощью компенсационных траншей: компенсационные траншеи, дно которых фиксируется ниже фундамента на 0,5 м, заполняется листовой волнистой сталью, мелким коксом, смесью грунта с опилками – очень эффективно защищает от горизонтальных деформаций, снижает их уровень в 1,5-2,0 раза;
- защита трубопроводов путём: вскрытия подземных трубопроводов; снижения заземления подземного трубопровода в грунте путём засыпки его малозаземляющими материалами (песок, гравий) и уменьшения его заглубления; разрезки трубопровода с последующей вваркой катушек; установки в трубопроводах компенсаторов;
- восстановление профиля железнодорожных путей.

а



б

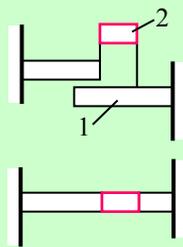


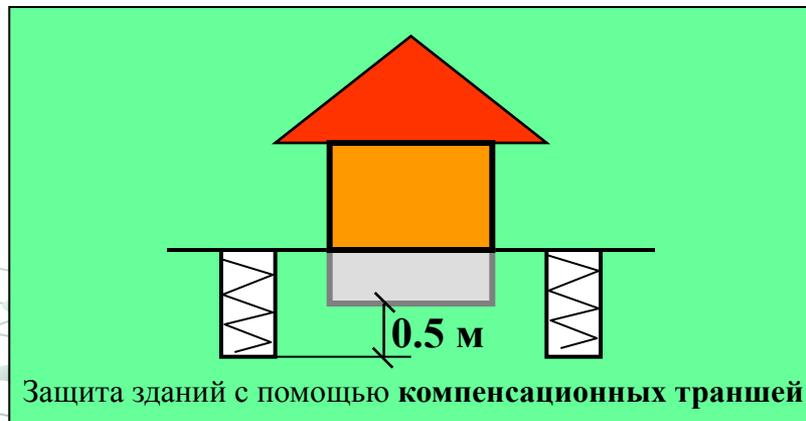
Схема ликвидации технологического разрыва при монтаже **захлѣста** (а), при врезке **катушки** (б):

1 - труба; 2 - катушка

Длина **катушки** должна быть не менее одного диаметра трубы.

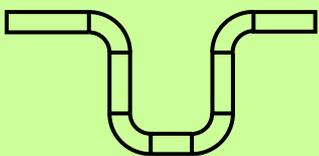
Для сварки **захлѣста** в траншее необходимо оставлять незасыпанным один из примыкающих участков трубопровода на расстоянии 60-80 м от места предполагаемого захлѣсточного стыка.

Наиболее эффективным способом является вварка **катушки**.

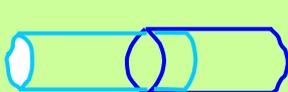


Защита зданий с помощью **компенсационных траншей**

1

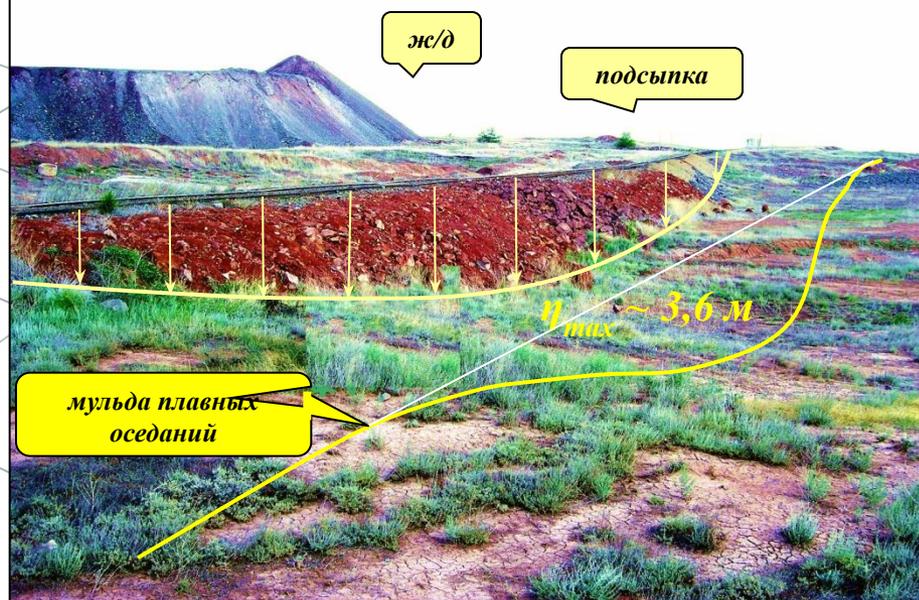


2



Защита трубопроводов компенсаторами коленного типа (1) и телескопическим (2)

Восстановление профиля ж/д пути



компенсатор

*мульда плавных
оседаний*

компенсатор

Выбор рационального комплекса общих и частных **мер защиты** должен определяться технико-экономическим обоснованием и социальными требованиями.

Рациональный вариант определяется на основании оценок потерь угля в недрах, дополнительных затрат на специальные способы ведения горных работ (на **горные меры**), стоимости **конструктивных мер** защиты объектов.



I. Расчётные, допустимые и предельные деформации (показатели деформаций) земной поверхности для подрабатываемых ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

- **Расчётный показатель деформаций для гражданских зданий:**

1. При разработке пласта *отдельной выработкой*:

а) при деформациях земной поверхности без образования уступов

$$\Delta l = l \cdot \sqrt{m_{\varepsilon}^2 \cdot \varepsilon_1^2 + m_k^2 \cdot \frac{H^2}{R_1^2}}$$

б) при деформациях земной поверхности с образованием трещин и уступов

$$\Delta l = m_{\varepsilon} \cdot \varepsilon_1 \cdot l + h_{y1} \quad (4.2)$$

2. При многократной подработке - разработке одного или свиты пластов несколькими выработками:

2.1 - при процессе сдвижения, когда разрывы во времени между подработками меньше или равны общей продолжительности процесса сдвижения:

а) при деформациях земной поверхности без образования уступов

$$\Delta l = l \cdot \sqrt{m_{\varepsilon}^2 \cdot \left(\sum_1^n \varepsilon_i \right)^2 + m_k^2 \cdot H^2 \cdot \left(\sum_1^n K_i \right)^2}$$

б) при деформациях земной поверхности с образованием трещин и уступов

$$\Delta l \stackrel{(4.4)}{=} l \cdot m_{\varepsilon} \sum_1^n \varepsilon_i + \sum_1^n h_{yi}$$

2.2 - при процессе сдвижения с разрывами во времени, превышающими общую продолжительность процесса сдвижения:

$$\Delta l = \sqrt[4]{\Delta l_1^2 + \Delta l_2^2 + \dots + \Delta l_n^2}$$

Обозначения в формулах (4.1) – (4.5)

l и H - соответственно длина здания (отсека), мм, и его высота от подошвы фундамента до верха карниза, м; ε_1 , R_1 , h_{y1} - соответственно расчетные величины горизонтальной деформации (безразм.), радиуса кривизны, м ($R = 1/K$, K - кривизна земной поверхности, 1/м), и уступа, мм, от одной выработки (определяются по Прил. 1 Правил...); ε_i , K_i , h_{yi} - расчетные величины горизонтальной деформации, кривизны земной поверхности и уступа от отдельной i -той выработки; n - количество выработок; Δl_1 , Δl_2 , Δl_n - показатели деформаций от влияния первой, второй и n -ой выработок, определяются по формулам (4.1) и (4.2); m_ε , m_k - коэффициенты условий работы при учете воздействия на здание или сооружение относительных горизонтальных деформаций ε и кривизны K ; значения коэффициентов условий работы принимаются по таблице 4.1 (из Правил...).

Таблица 4.1
 Коэффициенты условий работы для зданий, сооружений и коммуникаций

Деформация земной поверхности	Обозначения	При длине здания, сооружения или коммуникации l , м		
		до 15	15 - 30	свыше 30
Относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия (ϵ)	m_ϵ	1,0	0,8	0,7
Кривизна выпуклости или вогнутости (K)	m_k	1,0	0,7	0,5
Наклон (i)	m_i	1,0	0,8	0,7

Коэффициенты перегрузки

Сдвигения и деформации	Обозначение коэффициентов перегрузки	Значения коэффициентов перегрузки для расчетных сдвигения и деформаций	
		при расчётах ожидаемых величин	при расчетах вероятных величин
Оседание	n_{η}	1,2	1,1
Горизонтальное сдвижение	n_{ζ}	1,2	1,1
Наклон	n_i	1,4	1,2
Кривизна	n_k	1,8	1,4
Относительные горизонтальные деформации (растяжения-сжатия)	n_{ε}	1,4	1,2
Уступ	n_{ky}	1,4	1,2
Горизонтальные сдвиги	γ_y	1,6	1,3

За расчетные сдвигения и деформации земной поверхности под объектами принимаются наибольшие значения ожидаемых (вероятных) сдвижений и деформаций в точках **1 - 3** зоны в районе объекта (см. рис.), умноженные на коэффициент перегрузки.

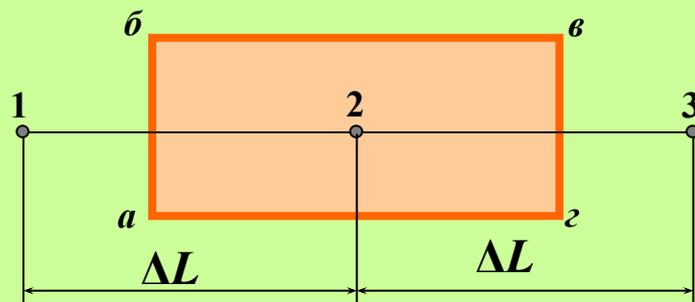


Схема к определению расчетных деформаций в основании объекта *абвг*.

Положение точек **1 - 3** находится, исходя из ошибок положения зоны сдвижения на местности ΔL (см. рис.), определяемых по формуле:

$$\Delta L = 0,10H_1,$$

но не менее **10 м**; где H_1 – средняя глубина залегания наиболее влияющего пласта на объекты.

Для **длинных (вытянутых) объектов** расчеты ожидаемых сдвижений и деформаций выполняются аналогично для **характерных точек объекта**.

- **Допустимые** и **предельные** показатели деформаций для гражданских (жилых и общественных) зданий:

$$[\Delta l_{Д}] = [\Delta l_{Д}]_Н \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5$$

$$[\Delta l_{П}] = [\Delta l_{П}]_Н \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5$$

где $[\Delta l_{Д}]_Н$ и $[\Delta l_{П}]_Н$ - нормативные **допустимый** и **предельный** показатели деформаций, определяются по табл.4.2 Правил в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности; n_1 - коэффициент, зависящий от грунтовых условий, (табл. 4.3 Правил); n_2 - коэффициент, учитывающий материал и толщину наружных стен зданий, (по табл. 4.4 Правил); n_3 - коэффициент, учитывающий износ наружных стен зданий, (табл. 4.5 Правил); n_4 - коэффициент, учитывающий наличие "жестких" перекрытий (для зданий со сборными или монолитными железобетонными перекрытиями $n_4=1.2$, для зданий с деревянными перекрытиями $n_4=1.0$.); n_5 - коэффициент, учитывающий форму здания в плане (для простой формы $n_5=1.0$; для зданий П-образной, Г-образной, Т-образной формы в плане и других конфигураций $n_5=0.8$; для зданий с деревянными стенами во всех случаях $n_5=1.0$.)

В приведённых формулах должно соблюдаться условие:

$$n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \geq 0.5$$

Если произведение указанных коэффициентов менее **0.5**, то его принимают равным **0.5**.

Для определения **безопасных** и **предельных** глубин подрботки гражданских зданий **допустимые** и **предельные** показатели горизонтальных деформаций (безразмерные величины) определяются по формулам:

$$[\varepsilon_D] = \frac{[\Delta l_D]}{1.2 \cdot m_\varepsilon l}$$

$$[\varepsilon_P] = \frac{[\Delta l_P]}{1.2 \cdot m_\varepsilon l}$$

$[\Delta l_D]$, $[\Delta l_P]$ – соответственно допустимые и предельные величины показателя деформаций, мм (определяются по вышеприведённым формулам).

Предохранительные целики

Когда при подработке сооружений могут возникнуть деформации земной поверхности, превышающие **допустимые**, и по технико-экономическим расчетам нельзя применить **горные** и **конструктивные меры защиты**, под охраняемыми сооружениями должны быть оставлены **предохранительные целики**.

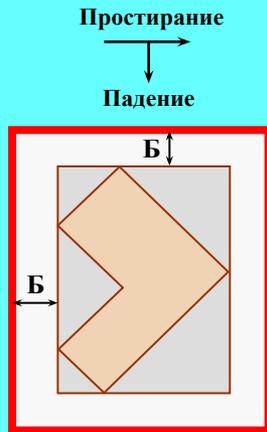
Границы **предохранительных целиков** строятся относительно **границ охраняемой площади**, которая для зданий и сооружений включает **охраняемый объект** и **берму** вокруг него. Ширина **бермы** определяется по Правилам в зависимости либо от значений $[\varepsilon_D]$ или $[i_D]$, либо от **категории охраны** транспортных сооружений.

Если для сооружения размеры **берм**, рассчитанные по допустимым деформациям $[\varepsilon_D]$ и $[i_D]$, получаются различными, то в качестве окончательного значения принимают **наибольшее**.

Предохранительные целики

Границы охраняемой площади

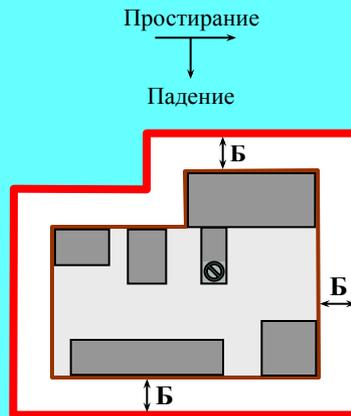
Границы охраняемой площади для отдельных зданий и сооружений, у которых отношение длинной стороны к короткой менее **5**, строят в виде прямоугольника, стороны которого ориентируют по простиранию и вкрест простирания пласта. Размер бермы откладывается от сторон прямоугольника.



Граница охраняемой площади

Б – берма

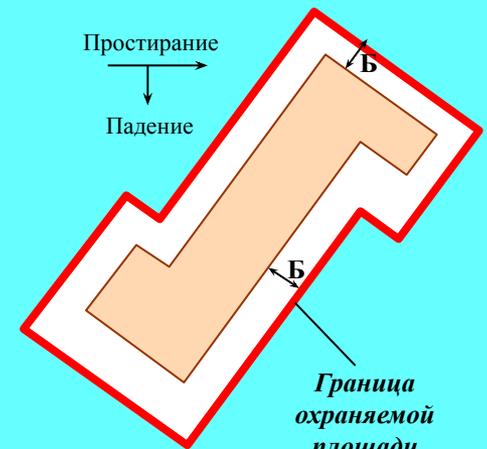
Для группы зданий и сооружений границы охраняемой площади определяются на плане фигурой с прямыми углами и сторонами, параллельными сторонам охраняемых объектов и отстоящими от них на расстоянии ширины бермы.



Граница охраняемой площади

Б – берма

Для вытянутых объектов, ориентированных по диагонали к линии простирания пласта, границу охраняемой площади строят параллельно сторонам охраняемых объектов на расстоянии от них, равном ширине бермы.

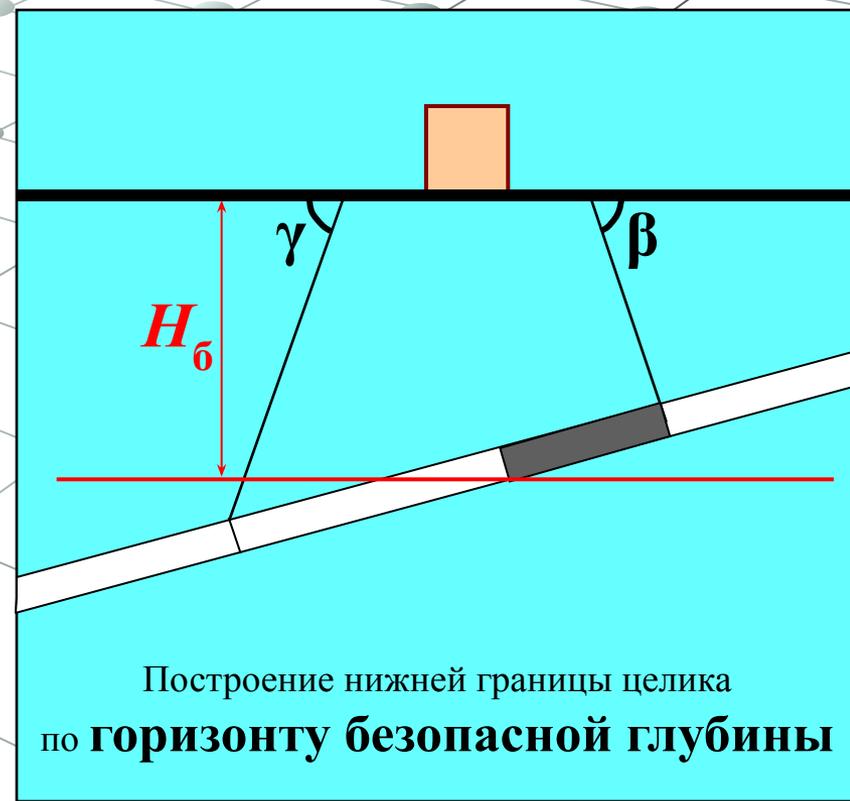
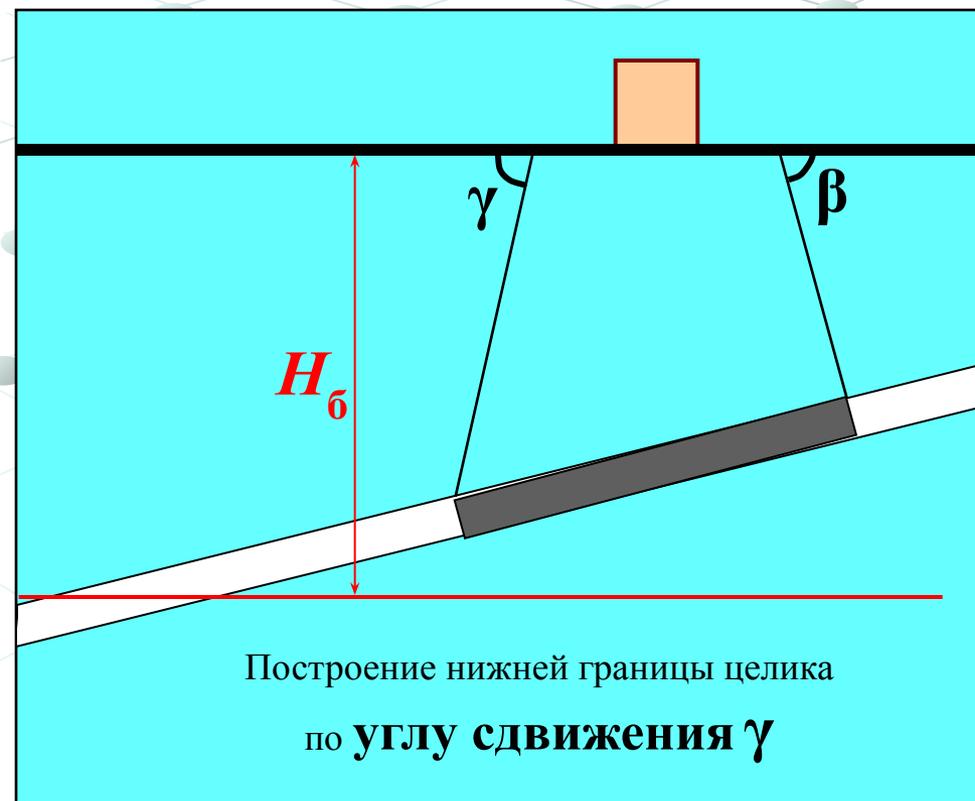


Граница охраняемой площади

Б – берма

Предохранительные целики

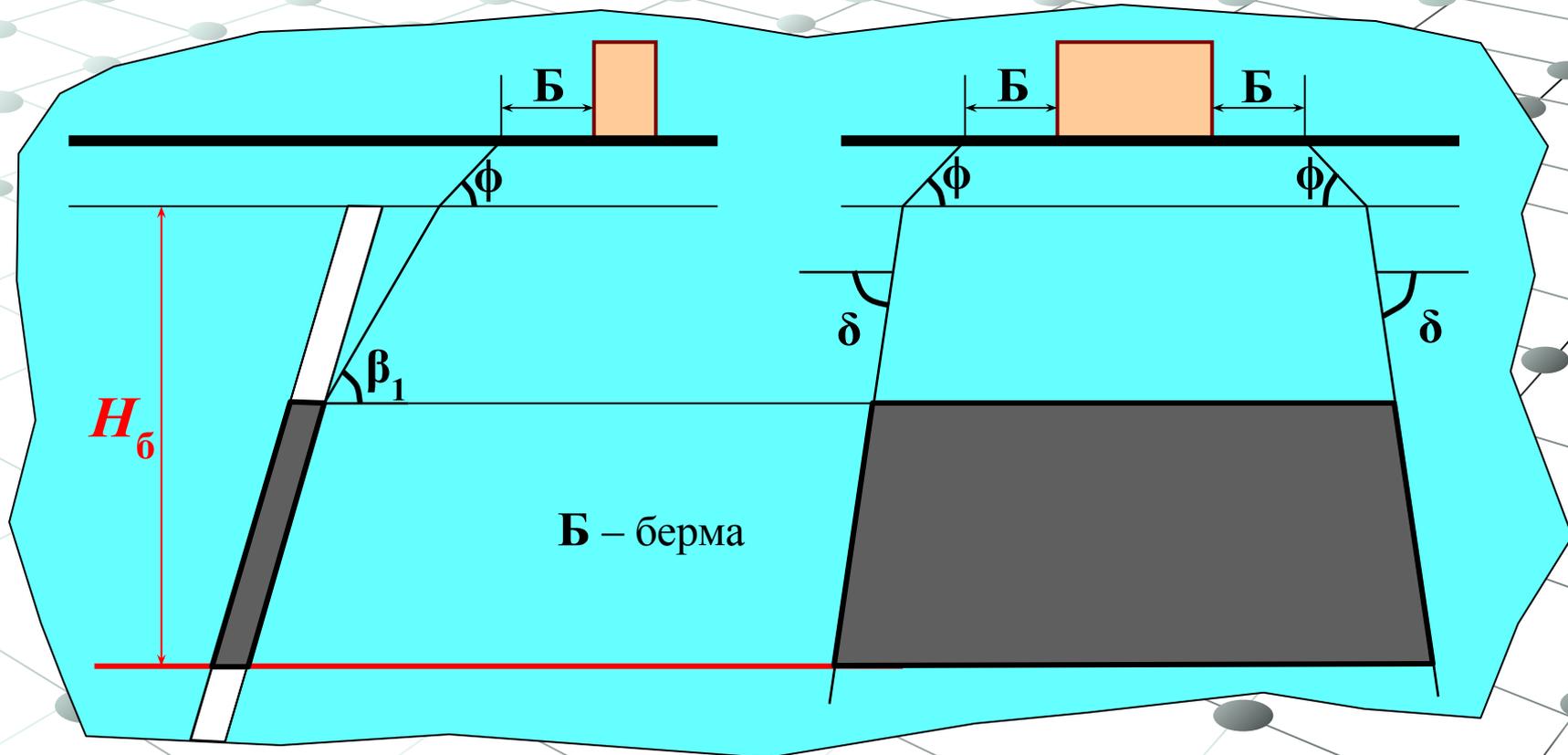
Границы предохранительных целиков для зданий и сооружений определяют с помощью углов сдвига. Если нижняя граница целика, построенная по углу сдвига γ , располагается ниже горизонта **безопасной глубины**, то за нижнюю границу целика принимается **горизонт безопасной глубины**.



Предохранительные целики

По Правилам 1998 г.

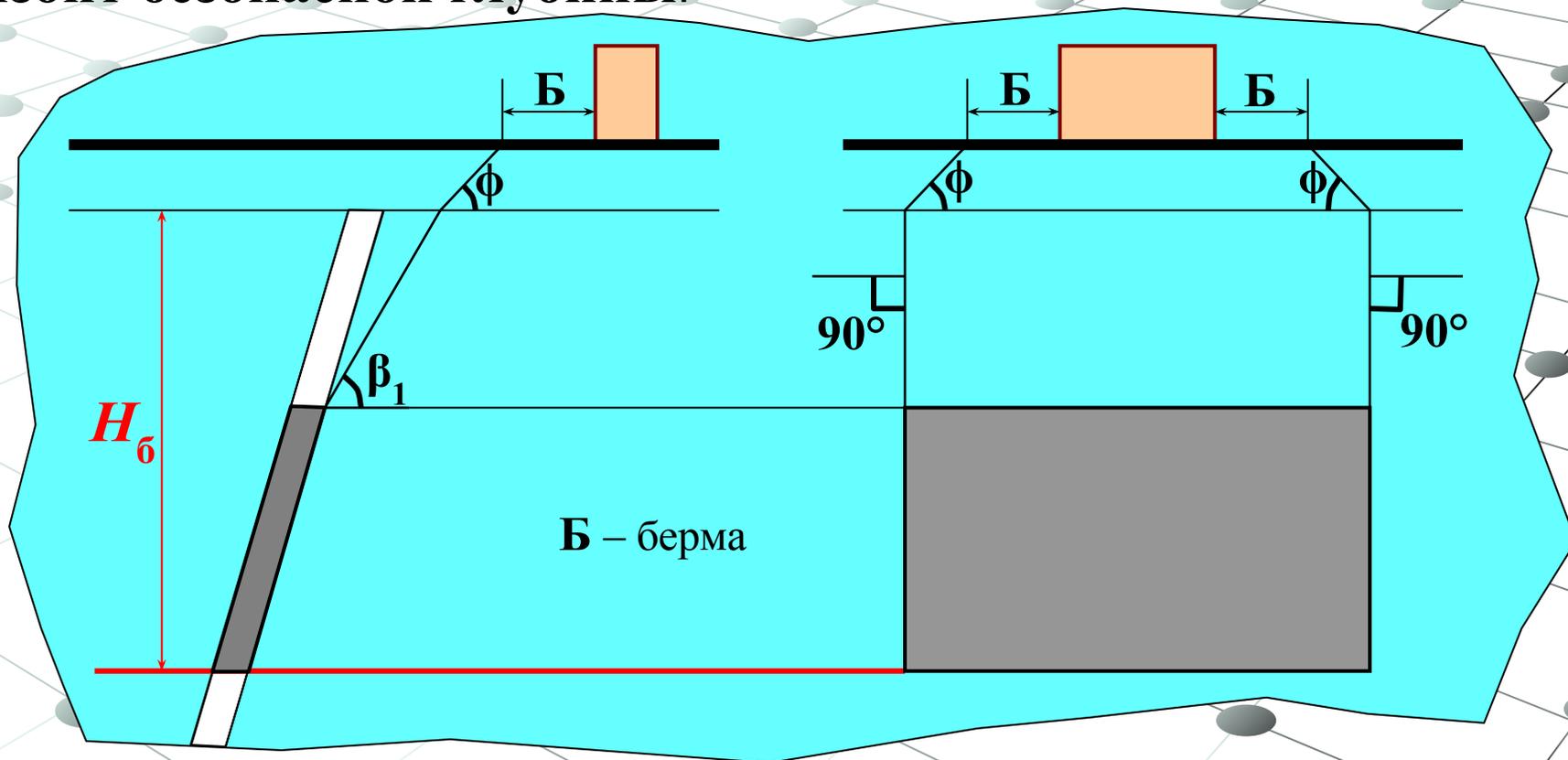
Под зданиями и сооружениями, расположенными в лежачем боку разрабатываемого пласта с углом падения $\alpha \geq \alpha_{II}$, верхняя граница предохранительного целика определяется углом сдвижения β_1 , границы целика по простиранию определяются по углу δ , в наносах – углом ϕ . За нижнюю границу целика принимается **горизонт безопасной глубины**.



Предохранительные целики

По Правилам 1981 г.

Под зданиями и сооружениями, расположенными в лежачем боку разрабатываемого пласта с углом падения $\alpha \geq \alpha_{II}$, верхняя граница предохранительного целика в коренных породах определяется углом сдвижения β_1 , границы целика по простиранию в наносах – углом ϕ , а в коренных породах составляют 90° к горизонту. За нижнюю границу целика принимается горизонт безопасной глубины.



Предохранительные целики

Способ вертикальных разрезов

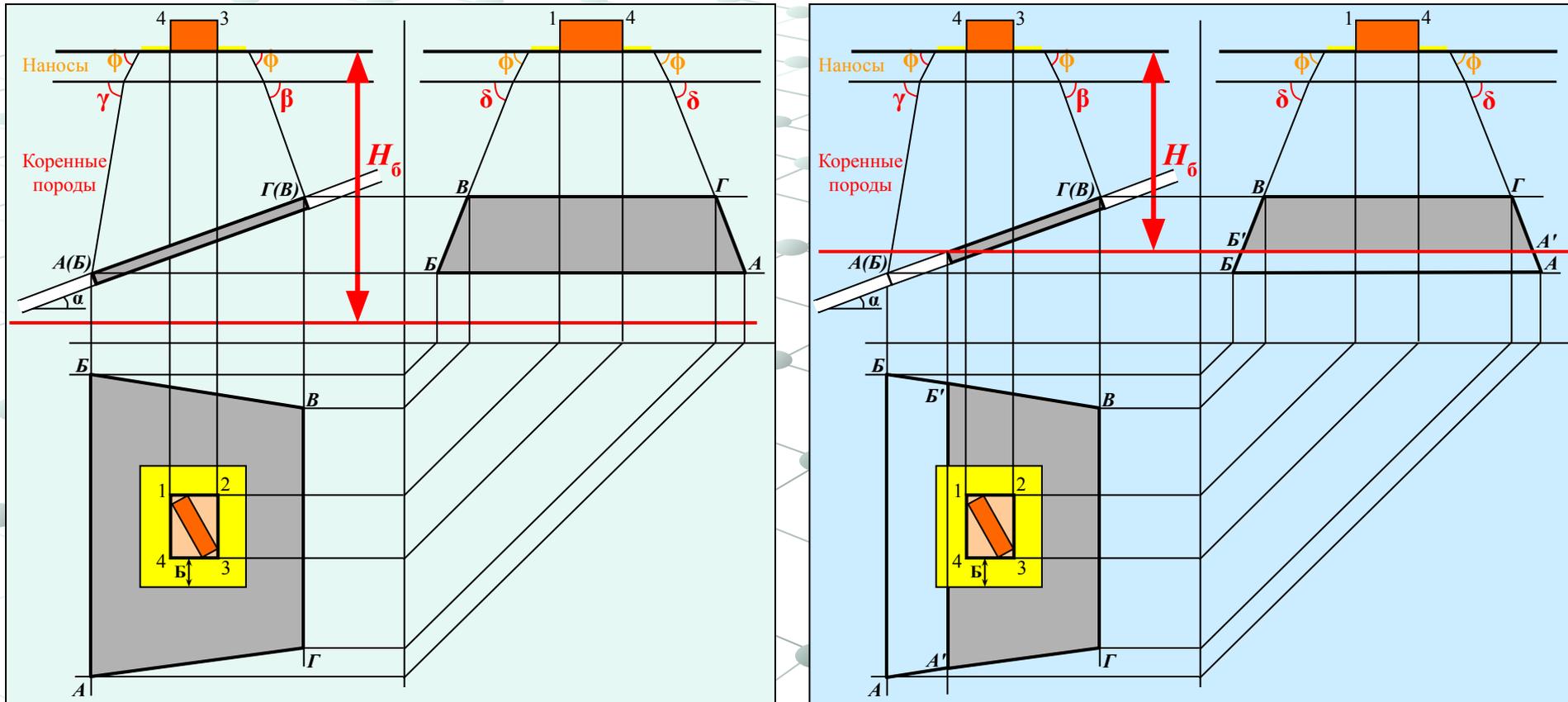
По Правилам 1998 г.

- На разрезах вкрест простирания границы целиков **по восстанию** определяют в наносах по углам ϕ , в коренных породах – по углам β .
- На разрезах вкрест простирания границы целиков **по падению** определяют в наносах также по углам ϕ , в коренных породах – по углам γ .
- На разрезе по простиранию границы целика определяются по углам ϕ – в наносах и δ – в коренных породах.

Предохранительные целики

По Правилам 1998 г.

Способ вертикальных разрезов



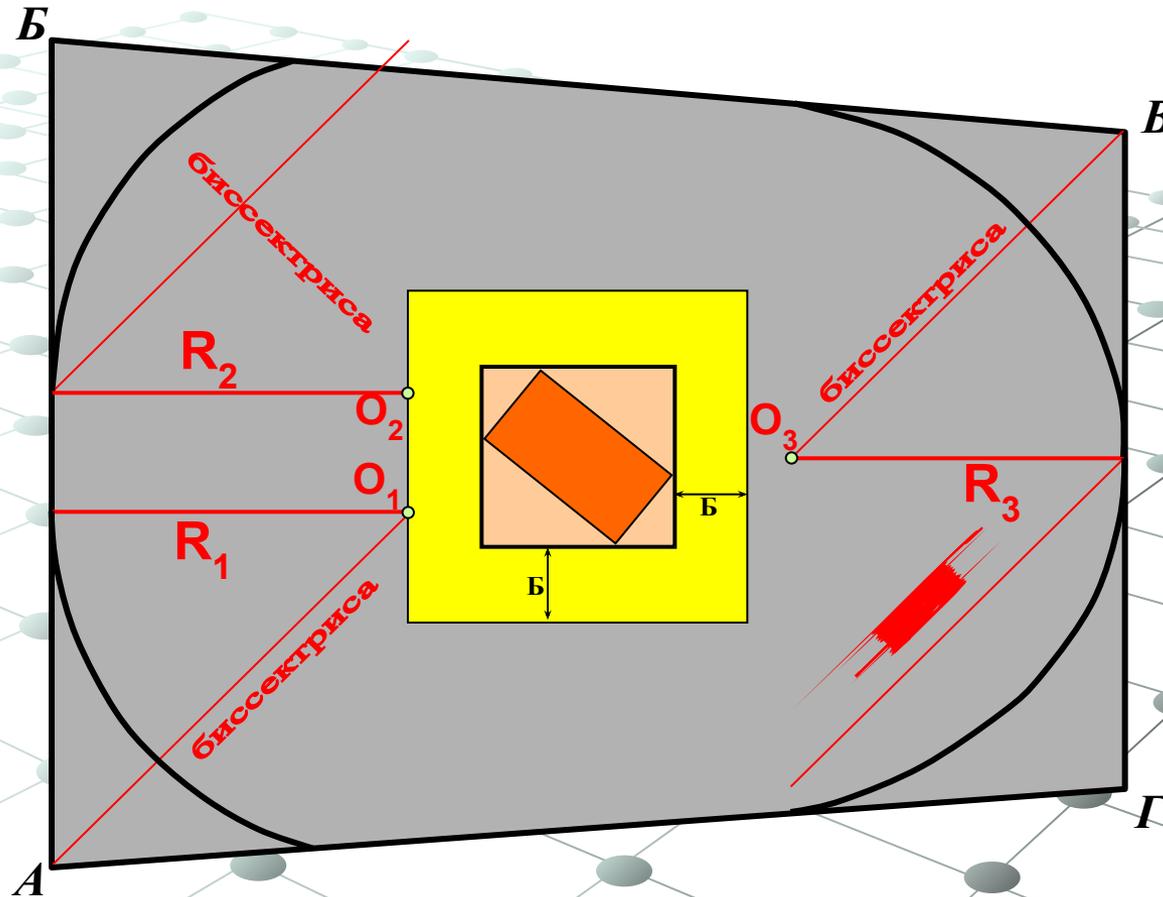
Построение предохранительного целика под здание:

B – берма; $ABVG$ – контур целика при H_6 больше глубины залегания нижней границы целика; $A'B'VG$ – контур целика при H_6 меньше глубины залегания нижней границы целика.

Предохранительные целики

По Правилам 1998 г.

Приведение предохранительных целиков к *предельно минимальным* размерам



Врезание очистными выработками в предохранительный целик допускается не больше чем до построенных границ с помощью радиусов R_1 , R_2 , R_3 .

Способ вертикальных разрезов

• На разрезах вкрест простирания границы целиков по **восстанию** определяют в наносах по углам ϕ , в коренных породах – по углам β .

• **Со стороны падения** на разрезе вкрест простирания границы целиков определяют в наносах также по углам ϕ , в коренных породах – по углам γ (см. рис.).

• На разрезе **по простиранию** границы целика определяются по углам ϕ – в наносах и δ – в коренных породах до глубины, равной H_{Γ} . Ниже глубины H_{Γ} границы целика в коренных породах определяются плоскостями, проведенными под углом 90° к горизонту. Глубина

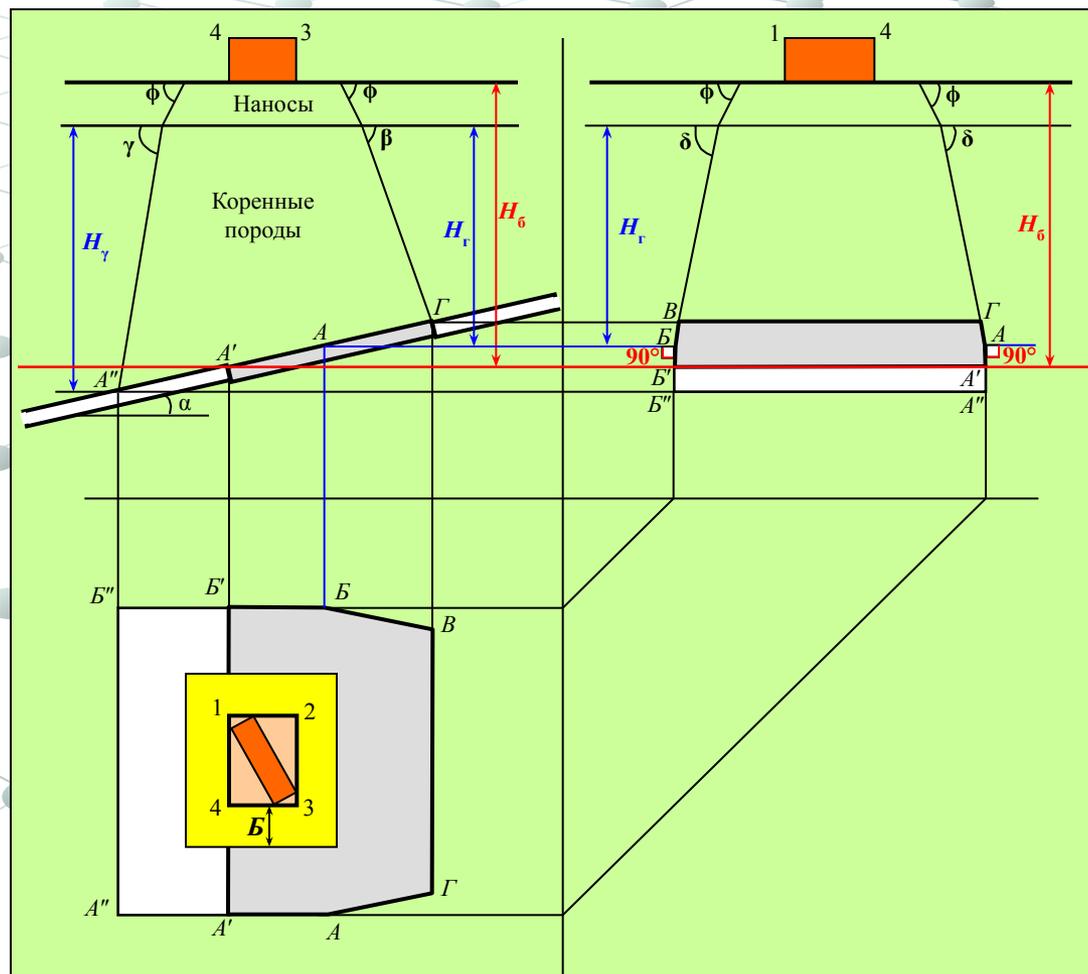
$$H_{\Gamma} = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \alpha}} H_{\gamma}$$

где γ – угол сдвижения со стороны восстания пласта; H_{γ} – расстояние по вертикали между нижней границей целика (без учета безопасной глубины) и контактом коренных пород с наносами (или мезозойскими отложениями, если таковые есть в составе толщи).

Предохранительные целики

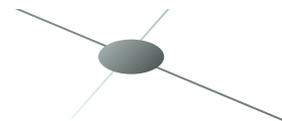
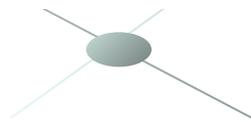
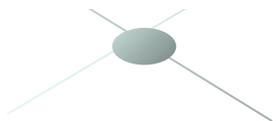
По Правилам 1981 г.

Если горизонт безопасной глубины H_6 пересекает пласт выше охранной плоскости, проведенной к горизонту под углом γ (линия $A'B'$), то за нижнюю границу целика принимается линия $A'B'$, расположенная на безопасной глубине разработки, а не линия пересечения охранной плоскости с пластом $A''B''$.



Предохранительные целики

Если размеры **охраняемой площади** в плане в каком-либо направлении (по простиранию или вкрест простирания) менее **0,5** средней глубины разработки первого (верхнего) пласта свиты под серединой охраняемого объекта, то **угол сдвига**, используемый для построения предохранительных целиков, в соответствующем направлении уменьшается на **5°**.

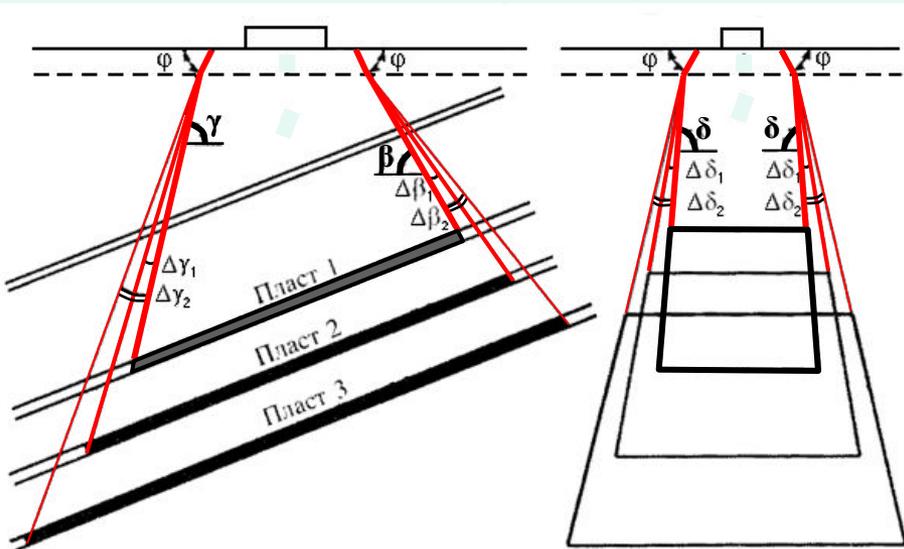


Предохранительные целики

При разработке свит пластов для построения предохранительных целиков рекомендуется **два варианта** определения углов сдвижения и построения предохранительных целиков.

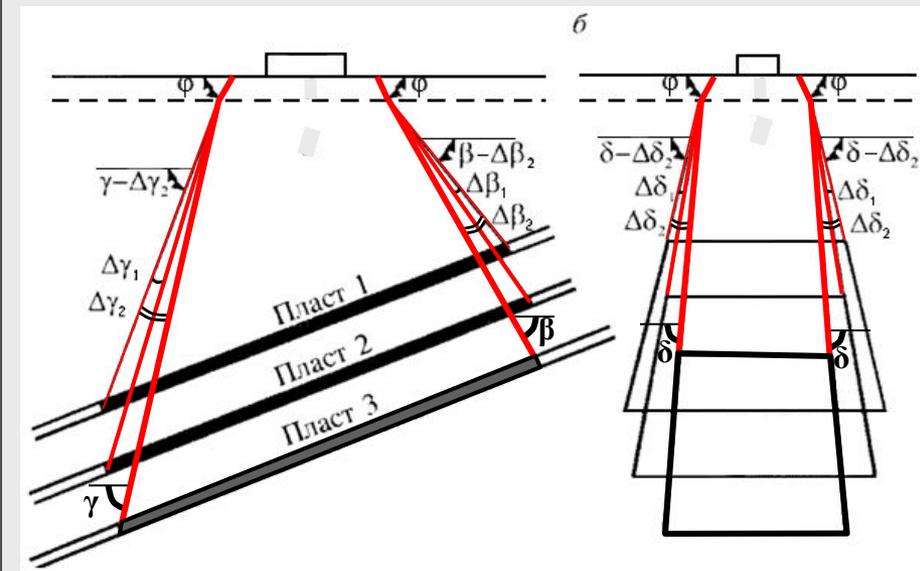
1

Первый вариант используется в случаях, когда в пределах предохранительных целиков **имеются ранее пройденные очистные выработки**. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов уменьшаются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются как при разработке одного пласта. Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов, определяемые в соответствии с разд. 7, имеют отрицательные значения.



2

Второй вариант построения целиков используется в случаях, когда **ранее пройденные очистные выработки отсутствуют** в пределах предохранительных целиков. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов увеличиваются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются как для нижнего пласта при разработке свиты пластов (как для первого варианта построения целиков). Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов, определяемые в соответствии с разд. 7, имеют положительные значения.



Предохранительные целики

При построении предохранительных целиков в *свитах пластов* (два и более), значения *углов сдвижения* от влияния выработок в группах пластов определяются по формулам:

$$\delta_{\text{ц}} = \delta \pm \Delta\delta_{\text{ц}};$$

$$\beta_{\text{ц}} = \beta \pm \Delta\beta_{\text{ц}};$$

$$\gamma_{\text{ц}} = \gamma \pm \Delta\gamma_{\text{ц}},$$

где значения поправок к углам сдвижения определяются по приведённой ниже таблице.

Значения величин $\Delta\delta_{\text{ц}}$, $\Delta\beta_{\text{ц}}$, $\Delta\gamma_{\text{ц}}$

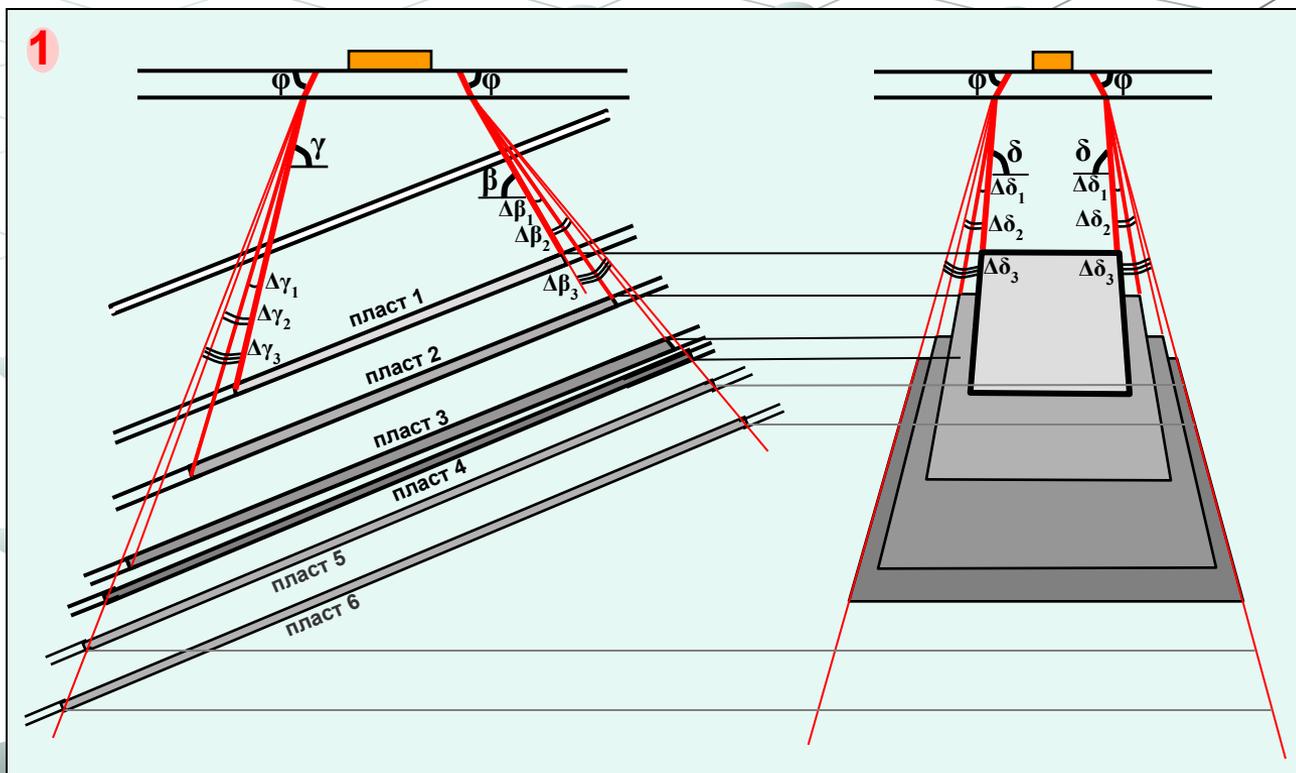
Пласт		
Второй	Третий	Последующие в группе
3°	5°	7°

Примечание. Знаки поправок $\Delta\delta_{\text{ц}}$, $\Delta\beta_{\text{ц}}$, $\Delta\gamma_{\text{ц}}$ принимаются в зависимости от способов построения целиков (см. предыдущий слайд).

Разделение пластов на группы выполняется в соответствии с 2 разд. Правил (п. 2.3).

Предохранительные целики

Начиная с **пласта 4** и для нижележащих пластов свиты (**пласт 5, пласт 6, ...**) для построения целиков используются уже не изменяющиеся углы сдвижения: $(\beta + \Delta\beta_3)$, $(\gamma + \Delta\gamma_3)$, $(\delta + \Delta\delta_3)$



Предохранительные целики

В случаях, когда при построении предохранительных целиков производится разделение свиты пластов на группы (см. разд. 2 Правил), под словами ***"первый, второй и последующий пласты"*** следует понимать ***"первую, вторую и последующие группы пластов"***.



Спасибо за внимание!