

**УДК 622.014.1**

Головченко Е.А., заместитель начальника отдела  
Момот Д.И., научный сотрудник  
НИИГД «Респиратор», г. Донецк

**РАЗРАБОТКА ПЛАСТОВ УГЛЯ ПОД СООРУЖЕНИЯМИ  
И ЗДАНИЯМИ**

При очистных работах в угольных шахтах для предупреждения повреждений различных сооружений на поверхности обычно оставляют охранные целики угля.

Размеры и форму целиков определяют проектным путем по нормам принятым при строительстве и проектировании шахт.

Охрана сооружений путем оставления целиков имеет ряд недостатков. Запасы полезного ископаемого, заключенные в них, полностью теряются или надолго остаются законсервированными. Во многих случаях охранные целики мешают нормальному развитию горных работ, вызывают излишние материальные затраты на проведение и поддержание подготовительных выработок.

Выемка целиков под сооружениями возможна в тех случаях когда она не вызывает на земной поверхности деформаций опасных для данных сооружений. Иногда охранные целики заменяют плотными закладочными массивами, создаваемыми гидравлическим или пневматическим способом. При этом учитывают экономическую целесообразность возведения закладочного массива и характер охраняемого сооружения. Применение закладки позволяет снизить размеры сдвижений пород и обеспечить плавное опускание поверхности при котором сооружения обычно сохраняются [1].

При необходимости оставления охранных целиков весьма больших размеров их делают несплошными. Для этого охранный целик прорезают системой очистных выработок – камер, между которыми оставляют межкамерные целики. Этот способ частичного погашения охранных целиков сопровождается большими потерями угля, и поэтому его применяют в редких случаях – на малых глубинах разработки и при не экономичности применения закладки.

По мере углубления очистных работ оставление целиков угля становится все менее экономичным, так как возрастают их размеры.

С целью уменьшения потерь угля в целиках прибегают к закладке или изменению форм угольных целиков, либо полной отработке ранее оставленных целиков. Это все должно учитываться при решении вопросов оставления целиков для охраны сооружений.

При выемке угля под сооружениями проводят мероприятия которые способствуют уменьшению деформаций земной поверхности, а следовательно и уменьшению повреждений сооружений.

Поскольку деформации и повреждения возникают при неравномерной сдвижении сооружений, расположение и последовательность проведения горных выработок должны быть такими, чтобы неравномерность сдвижений была наименьшей и во всяком случае не выше предельно допустимой.

На земной поверхности зона сдвижений горных пород располагается различно относительно границ горной выработки в зависимости от угла падения пластов. Границы зоны сдвижения определяются углами  $\delta$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  (см. рис.1.).

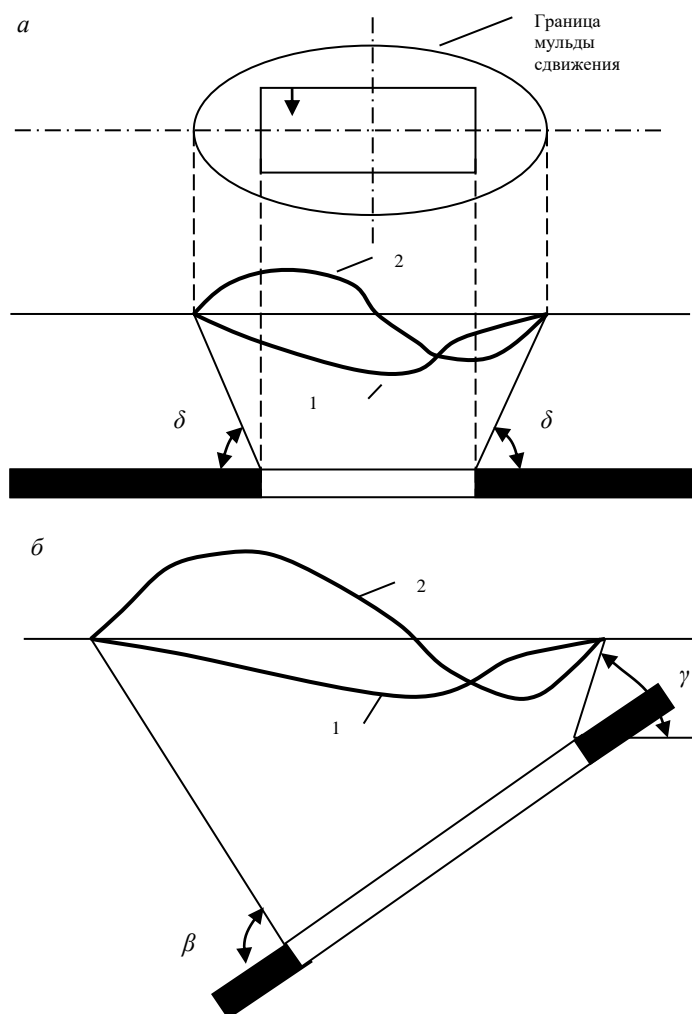


Рисунок 1. Зоны сдвижений:

*a* – при горизонтальном залегании пласта; *б* – при наклонном залегании пласта; 1 – кривая оседаний; 2 – кривая горизонтальных сдвижений

Сдвижение сопровождается растрескиванием горных пород. Трещины образуются на контактах отдельных слоев (трещины расслоения) и внутри них вследствие растягивающих усилий, возникающих вблизи гра-

ниц зоны сдвижения. Размеры трещин колеблются от долей миллиметра до десятков сантиметров.

Процесс сдвижения пород протекает в следующей последовательности. При работах с обрушением кровли непосредственно над выработкой, породы обрушаются на высоту  $3\ m-5\ m$ , где  $m$  - мощность пласта угля. Далее происходит прогиб слоев пород, сопровождающийся образованием трещин в местах растяжений. Эта зона может достигать  $100\ m$ . Затем следует зона прогиба слоев породы, в которых видимых трещин может и не возникать. При малых глубинах разработки процесс сдвижения пород может заканчиваться образованием воронок – провалов на земной поверхности.

Образование трещин на земной поверхности зависит от многих обстоятельств, в том числе и от отношения глубины разработки  $H$  к мощности пласта  $m$ , а также от свойств вмещающих пород и угла падения.

Провальные воронки обычно появляются при кратности  $\frac{H}{m}$ , не превышающей 10, а трещины - 100.

Так в условиях Центрального района Донбасса, при разработке свиты крутых пластов трещины на земной поверхности появлялись при больших глубинах разработки, более  $500\ m$ , кратность  $\frac{H}{m}$  при этом составляла около 200. Причиной появления трещин явилось расслоение пород на контактах отдельных слоев в местах их выходов под наносы. При мощности наносов до  $8-10\ m$  трещины образуются и на земной поверхности, а при большой мощности наносов, в условиях небольших общих сдвижений трещины могут и не появляться. Наносы в всех случаях выравнивают резкие деформации коренных пород и способствуют смягчению деформаций земной поверхности.

На процесс сдвижения существенное влияние оказывают физико-механические свойства вмещающих пород. Наличие в толще непрочных пород, например глинистых сланцев, приводит к более плавному распределению деформаций земной поверхности. Мощные слои крепких песчаников или известняков наоборот, при больших площадях подработки вызывают на земной поверхности резкие подвижки и скачки в кривых распределения деформаций.

Характер сдвижения пород зависит также от последовательности залегания слоев пород различных свойств. Например, если над крепкими породами (песчаники, известняки) находится мощная толща слоев породы менее прочных, то резкие деформации и трещины возникающие при взламывании песчаников или известняков, не вызовут таких же резких деформаций на земной поверхности. Наоборот, если более слабые породы залегают ниже крепких, то трещины возникшие на последних вызовут более

опасные деформации на земной поверхности. В первом случае расслоение пород будет более меньшим, чем во втором.

В настоящее время в Донбассе горные работы ведутся на такой глубине, при которой трещины на поверхности практически не появляются. Но и в этом случае ввиду различных величин и направления перемещения отдельных точек земной поверхности возникают ее деформации.

Деформации бывают вертикальными (наклоны, кривизна) и горизонтальными (сжатия, растяжения).

На рис. 2 показано распределение деформаций по главным сечениям мульды – вкрест простирания и по простиранию.

Подработка на поверхности может проявляться полно и неполно.

При полной подработке образуется плоское дно мульды сдвижения, в пределах которой точки поверхности перемещаются по нормали к пласту примерно на одну и ту же величину. При неполной подработке такого дна мульды не возникает.

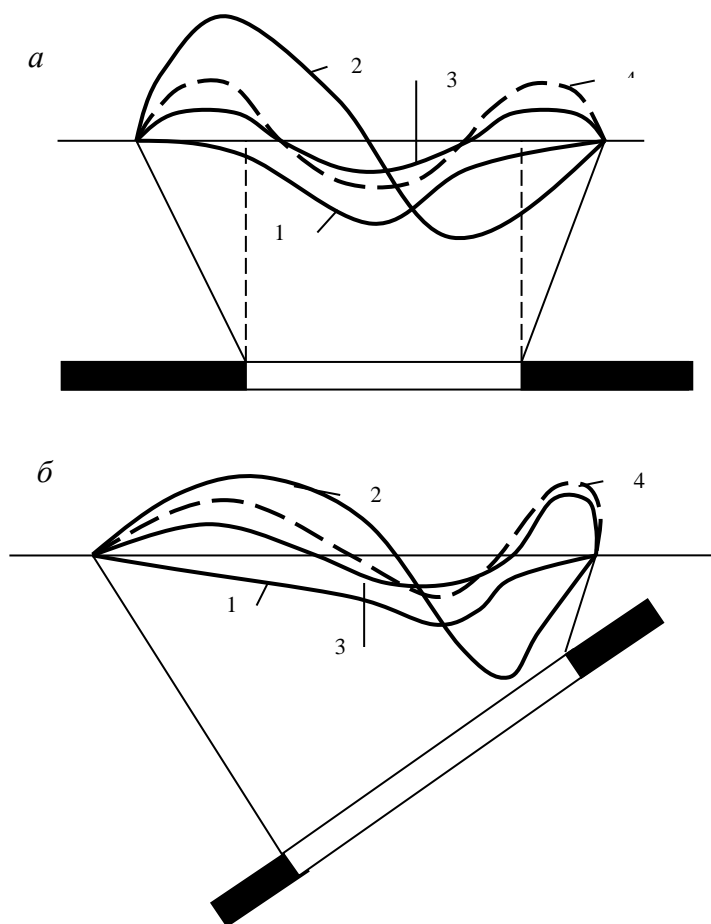


Рисунок 2. Типы распределения деформаций:

*a* – в главных сечениях, перпендикулярных направлению движения очистного забоя; *б* – по простиранию; 1 – кривая оседаний; 2 – кривая наклонов; 3 – кривая изменений наклонов; 4 – кривая растяжений и сжатий.

Если, например подрабатываемое здание окажется в центральной части мульды на ее плоском дне то оно претерпит почти равномерное поступательное перемещение и деформации здания будут минимальны [2].

Деформации можно уменьшить в нужном месте, если вызвать в нем наложение деформаций разных знаков (рис. 3). Растяжение на участке  $ad$ , вызванное выработкой  $M_1N_1$  уменьшилось благодаря тому, что выработка  $MN$  в этом же месте вызвала сжатие.

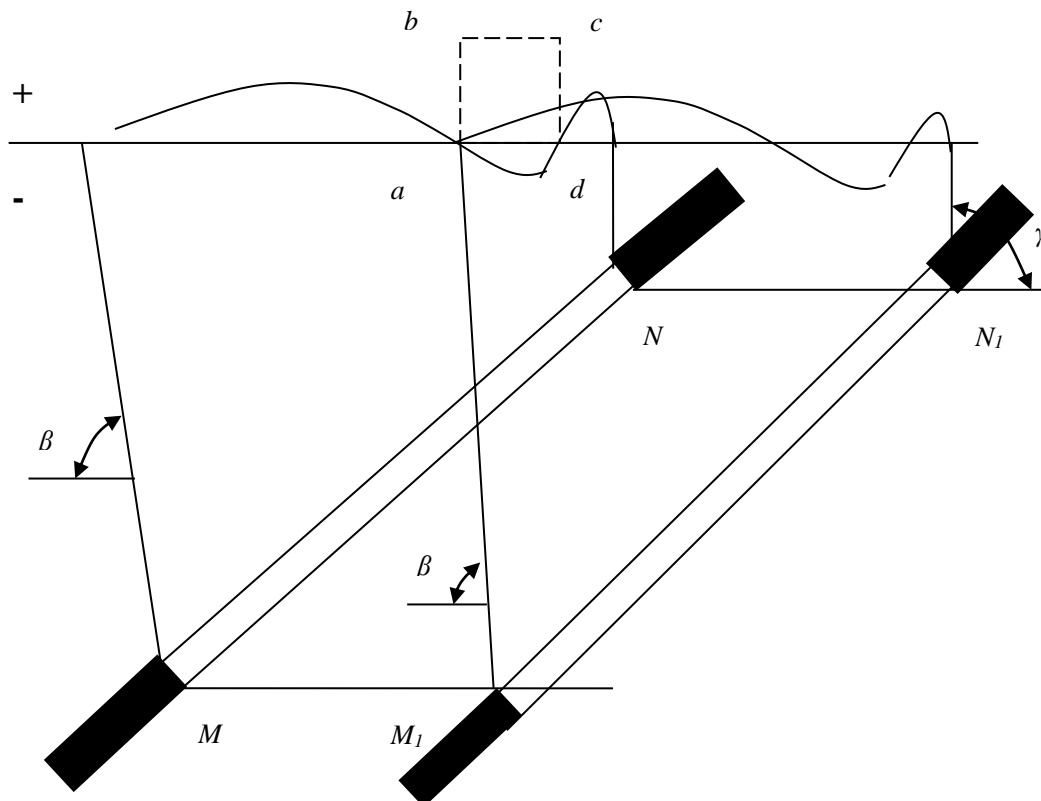


Рисунок 3. Компенсация деформаций.

При прохождении очистного забоя под сооружением кривая оседаний по направлению движения забоя при нахождении его в точках  $a$  и  $b$  будет перемещаться так, как это показано на рис. 4. Для уменьшения деформаций поверхности необходимо добиваться максимального выполаживания кривой оседания.

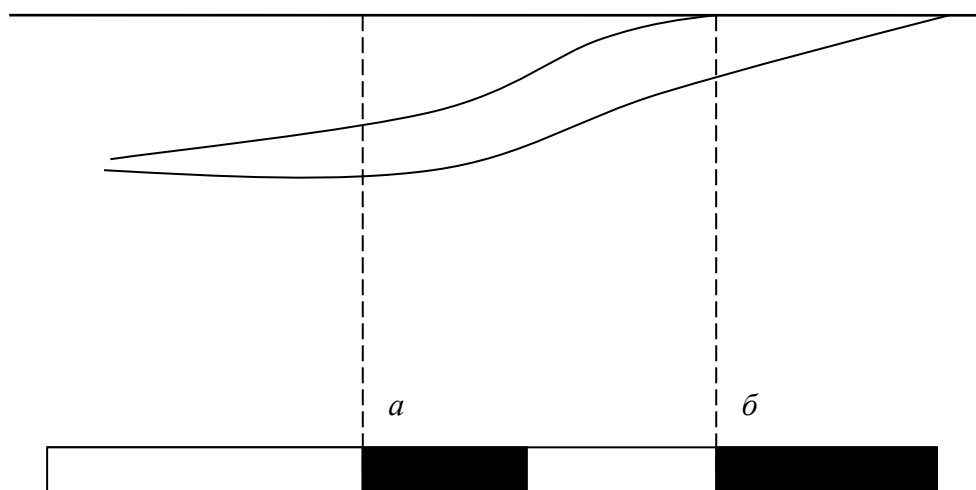


Рисунок 4. Перемещение кривой оседаний

Кривая оседания будет тем более пологой, чем больше скорость продвижения забоя. Однако, при  $\frac{H}{m}$ , равном 300-400 и более, влияние скорости продвижения очистного забоя на эту кривую незначительно.

При разработке под сооружениями с учетом перечисленных особенностей влияния горных выработок на земную поверхность выемку охранного целика под сооружениями производят исходя из технической и экономической целесообразности данного мероприятия. На деформирующейся поверхности сооружение может терпеть повреждения, устранение которых требует определенных затрат. Уменьшения повреждений, а следовательно и затрат на их устранение можно достигнуть различными горнотехническими мероприятиями.

Наиболее эффективное мероприятие, предотвращающее опасные деформации поверхности – полная закладка выработанного пространства. В начальный период усадка закладочного массива наиболее интенсивна и колеблется в следующих пределах: при гидравлическом способе – 10-15 % и при сухих способах закладки 40-50 %. Таким образом, путем закладки можно уменьшить объем выработанного пространства на 50-90 %. Это приведет к соответствующему уменьшению сдвижений и деформаций земной поверхности, а сами деформации будут иметь плавный характер.

Менее эффективна частичная закладка, в частности закладка в виде бутовых полос. Однако, с ее применением уменьшается скорость сдвижения горных пород и земной поверхности, сдвижение пород становится более плавным с менее интенсивными периодическими подвижками. В опре-

деленных условиях для снижения влияния подработки можно рекомендовать частичную закладку в виде бутовых полос.

При горных работах под сооружениями и зданиями следует стремиться к обеспечению максимальной равномерности и плавности процесса сдвижения пород. В связи с этим совершенно недопустимым является применение систем разработки с оставлением опорных угольных целиков: околоштрековых, междулавных и т.д. Такие целики в большинстве случаев не превышающие по ширине 20-30 м, только на весьма больших глубинах разработки не влияют на земную поверхность. Обычно над этими целиками мульда сдвижения получается неравномерной и создаются условия для опасных повреждений сооружений. В таких случаях для поддержания подготовительных выработок необходимо прибегнуть к бутовым полосам с подрывкой пород почвы или кровли на высоту, обеспечивающую нужные размеры выработки после сжатия бутовых полос.

Предотвратить повреждение зданий и сооружений на земной поверхности можно путем применения различных строительных конструкций, как при самом строительстве так и после возведения сооружения, если оно в дальнейшем будет подрабатываться. Например, предусмотрев деформационные швы в здании, можно значительно улучшить сопротивляемость здания повреждениям. При подработках существующих зданий разделение их на отсеки или введение железобетонных поясов приведет к увеличению их устойчивости.

Эти мероприятия связаны с удорожанием строительства, которое однако, при современных технологиях не превышает 15-20% стоимости здания.

Деформации земной поверхности могут быть уменьшены путем правильного выбора последовательности отработки этажей, пластов и отдельных слоев мощных пластов.

Проектируя и производя очистные работы, необходимо добиваться образования под сооружениями плоского дна мульды сдвижения и уменьшения до минимума времени воздействия на сооружение деформаций одного знака [2].

Для образования плоского дна мульды вдоль линии, перпендикулярной направлению движения очистного забоя, необходимо осуществить полную подработку сооружения вдоль этой линии.

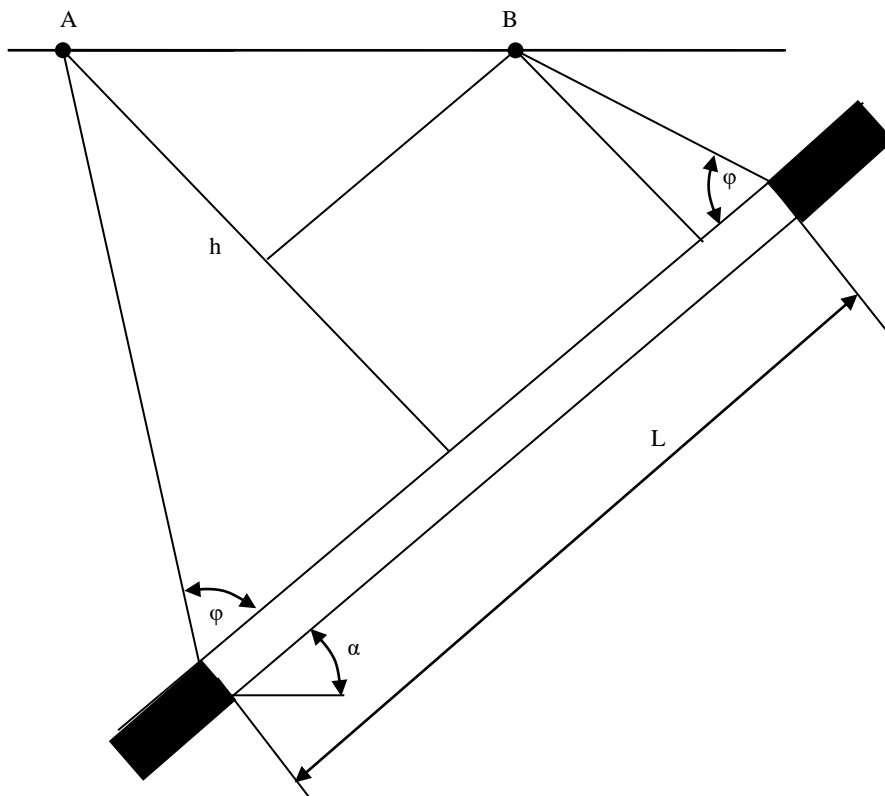


Рисунок 5. Условия полной подработки сооружений и зданий

В зависимости от размеров охраняемой площади АВ (рис. 5 ) длина общего фронта очистных работ обеспечивающая полную подработку сооружения(на крутом падении) может быть определена из выражения:

$$L = AB(\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{ctg} \varphi_2) + h(\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2) \quad (1)$$

где значения величин, входящих в уравнение указаны на рис. 5

Углы полной подработки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  можно подсчитать по формулам:

$$\varphi_1 = 45 + \frac{\rho}{2} - f \cdot \alpha \quad (2)$$

$$\varphi_2 = 45 + \frac{\rho}{2} + f \cdot \alpha \quad (3)$$

где  $\rho$  – средний угол трения данной толщи пород, колеблется от 20 до 30°;

$f$  – коэффициент, который колеблется от 0,4 до 0,7, для приближенных расчетов можно принять равным 0,6.

Величина  $L$  представляет длину одного сплошного или нескольких забоев, подвигающихся с минимально возможным отставанием.

Длина очистного забоя в условиях пологого падения должна быть не менее

$$L = 2Htg\varphi + l \quad (4)$$

где  $H$  – глубина разработки, м;

$\varphi$  – угол полной подработки;

$l$  – длина сооружения (здания), м.

При горизонтальном залегании угольного пласта угол полной подработки можно принять равным  $50^\circ$ .

Однако при современных глубинах разработки (более 800-1000м) требуемая длина очистного забоя может оказаться весьма большой. С другой стороны, с возрастанием глубины разработки при прочих равных условиях величины деформаций будут быстро уменьшаться, и может оказаться, что для сооружения в данных условиях деформации поверхности получатся неопасными, даже если на поверхности не возникает плоского дна мульды.

В каждом отдельном случае вопрос о производстве горных работ под сооружениями следует выяснять при помощи расчетов деформаций земной поверхности и сопоставления последних с допустимыми деформациями для данного сооружения [3].

В проекте горных работ под сооружениями должна быть предусмотрена максимально возможная скорость подвигания очистного забоя, Так при работе под зданиями скорость подвигания очистного забоя должна быть не менее 40 м/мес.

Для обеспечения поступательного равномерного опускания сооружения очистные работы лучше вести от середины здания в обе стороны.

При разработке под сооружением группы пластов их следует отрабатывать в такой последовательности, при которой на земной поверхности под сооружением произойдет компенсация деформаций, Так например выработки  $MN$   $M_1N_1$  (см. рис. 3) вызовут равномерное опускание здания  $abcd$  если проведение этих выработок будет одновременным.

Для этого необходимо очистные забои располагать в одной вертикальной плоскости, т.е. вести их без опережения.

Однако, при этом могут ухудшиться условия поддержания подготовительных выработок на вышележащем пласте, а в некоторых случаях и на нижележащем, если подготовительные выработки на последнем окажутся в зоне опорного давления в результате выемки вышележащего пласта. Кроме того, при подработке вышележащего пласта может ухудшиться состояние его кровли, а следовательно и условия работ в очистном забое. Поэтому очистные работы приходится вести с величиной опережения не

менее мощности междупластья. Но при таком опережении может значительно утратиться компенсирующее действие деформаций. Вопрос о последовательности отработки пластов под сооружениями должен решаться в каждом отдельном случае с учетом конкретных условий, а также технических и экономических показателей. Для определения экономических показателей сравнивают снижение затрат от уменьшения повреждения сооружения при использовании компенсации деформаций, с уменьшением затрат на поддержание выработок в условиях их подработки.

Иногда выгоднее сооружение подработать дважды с достаточно большим интервалом времени, т.е. не использовать возможную компенсацию деформаций, а затем произвести ремонт сооружения.

В других условиях подработка может улучшить условия ведения очистных работ на вышележащем пласте при одновременном достижении максимальной компенсации деформаций на поверхности.

Возможны случаи, когда требуется только частичная компенсация деформаций.

При обратном порядке отработки шахтного поля с погашением вентиляционных выработок на подрабатываемом пласте создается большая возможность для одновременной подработки и, следовательно, для использования компенсации, если только это допускают условия расположения пластов и выработок.

Итак, тот вариант при котором под сооружением может возникнуть плоское дно мульды сдвижения, а следовательно и минимальные деформации будет наиболее подходящим с точки зрения сохранности сооружения. Однако этот вариант должен оцениваться с учетом остальных вопросов технологии добычи полезного ископаемого.

Благоприятного характера деформаций земной поверхности в нужном месте можно также добиться соответствующим опережением выемки отдельных слоев при разработке мощных пластов угля. Вообще же разработка мощных пластов под сооружениями, как правило, возможна только при тщательной и полной закладке выработанного пространства. Но и при закладке сдвижения пород будут неизбежны, и чтобы, не суммировались одноименные деформации, необходимо добиваться разновременного действия слоев, вынимаемых под сооружениями, что возможно при опережении работ вышележащего слоя на расстояние не меньше глубины разработки.

Подработка таких сооружений как железные дороги в последние годы получила широкое распространение. Современная техника текущего ремонта железнодорожных путей позволяет эксплуатировать их бесперебойно даже при значительных колебаниях земной поверхности (оседание поверхности до 1,0-1,2 м). Опыт работ в Донбассе показывает что затраты на ремонт железных дорог обычно незначительны.

Более чувствительны к деформациям земной поверхности различные трубопроводы, особенно опасны повреждения газо- и нефтепроводов. Но и при этом возможно производить выемку угля под ними, один из самых эффективных способов – вскрытие труб на период подработки, систематический ремонт и установка компенсаторов, которое обычно обеспечивает сохранность сооружения.

#### Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. ПБ 07-269-98. Утвержденные постановлением Госгортехнадзора России от 16 марта 1998 г. № 13.
2. Чепурная Л. А. Обобщенная схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского дна мульды / Л. А. Чепурная, Н. И. Антощенко // Науч. тр. Донбасского ГТУ. – 2013. – Вып. 40. – С. 46–50.
3. Гавриленко Ю. Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю. Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – № 6. – С. 45–49.