Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVI, вып. I, 1952 г.

К ВОПРОСУ ОХРАНЫ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК НА УГОЛЬНЫХ И СЛАНЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С НЕИЗУЧЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Проф Д. А. Казаковский

1. Общие замечания

До сих пор на вновь осваиваемых месторождениях и на эксплуатирующихся месторождениях с неизученным характером сдвижения горных пород расчет предохранительных целиков в соответствии с рекомендацией „Правил технической эксплуатации шахт" производился по аналогии с другими более или менее изученными месторождениями.

Однако никаких указаний по выбору месторождений-аналогов не существовало, что не могло не приводить к неправильному выбору параметров для расчета предохранительных целиков.

В настоящее время представляется возможным на основе накопленных фактических данных дать некоторые руководящие указания по выбору месторождений аналогов.

Эти указания могут быть использованы при расчете целиков в период проектирования шахт и на эксплуатирующихся месторождениях с неизученным характером сдвижения горных пород. Они могут оказаться полезными также при расчете профильных линий наблюдательных станций.

В основу указаний должна быть положена классификация угольных месторождений (табл. 1).

Как показывают фактические данные, в условиях угольных месторождений средние значения углов сдвижения δ зависят главным образом от физико-механических свойств (крепости) пород.

В первом приближении эти свойства, применительно к рассматриваемой задаче [6], могут быть характеризованы такими показателями, как временное сопротивление сжатию, буримость (например, по шкале СУСН[1]) и крепость по шкале Протодьяконова.

Угол сдвижения δ, являющийся одним из основных признаков классификации, имеет примерно одно и то же значение как для крепких, так и весьма крепких пород. Наряду с этим (как показывают наблюдения на рудных месторождениях и в Кизеловском бассейне)

[1] СУСН — Справочник укрупненных сметных показателей на геолого-разведочные работы.

сумма углов $\beta + \alpha$ при крутом и наклонном падении для весьма крепких пород больше, чем для крепких пород. Следовательно, угол сдвижения δ не может служить признаком при разделении месторождений, сложенных крепкими и весьма крепкими породами.

По этой причине ниже, в табл. 1а, к III группе отнесены месторождения, сложенные крепкими и весьма крепкими породами (с временным сопротивлением раздавливанию свыше 800 *кг/см*^{2}). Отнесение к этой группе месторождений с весьма крепкими породами дает несколько заниженные значения углов β при наклонном и крутом падении пластов.

Полученные в 1948—1949 гг. дополнительные данные подтверждают применимость классификации при выборе (в первом приближении) параметров для расчета предохранительных целиков.

Практика показывает, что если даже руководствоваться только первым и вторым признаками классификации (общая геологическая характеристика и крепость пород), то можно гарантировать себя от тех грубых ошибок при расчете целиков, которые имели место в прошлом.

Пользование третьим признаком — величиной угла сдвижения δ (определение которого без особых затруднений может быть произведено силами местных маркшейдеров) — позволяет решить задачу с еще бо́льшим приближением, не требующим дальнейших уточнений для целого ряда небольших месторождений.

2. Определение района влияния горных разработок

Обрушение горных выработок, связанное с выемкой угольных пластов, является причиной сдвижения вышележащих пород и земной поверхности. Образующиеся в результате этого мульды сдвижения при определенных условиях могут вызвать возникновение разрушительных деформаций в сооружениях или проникновение воды в выработки из подработанных водоемов.

Контур мульды сдвижения определяется линиями пересечения земной поверхности с поверхностями сдвижения, проведенными через границы выработанного участка на разрезах вкрест простирания и по простиранию под соответствующими углами сдвижения: β, γ и δ. Углы β, γ и δ откладываются от горизонтальной плоскости вверх — в сторону выработанного пространства.

Численные значения углов сдвижения в наносах рекомендуется принимать равными: а) при наличии мощных (свыше 10 *м*) или относительно обводненных наносов — 45°; б) в условиях сухих наносов или небольшой мощности их (до 10 *м*) — 55°

Углы сдвижения в сильно сводненных наносах следует снижать до 35—40°

Углы сдвижения в коренных породах определяются по табл. 1 и 1а в зависимости от принадлежности месторождения к тому или иному типу, приведенной в табл. 1 классификации угольных и сланцевых месторождений.

Классификация месторождений основана на трех признаках:

1) общей геологической характеристике месторождений;

2) физико-механических свойствах (крепости) пород;

3) средних значениях углов сдвижения δ.

При проектировании шахт во вновь осваиваемых районах определение типа месторождений производится на основе первого и вто-

рого признаков. При этом крепость пород оценивается по средневзвешенным значениям буримости, временного сопротивления пород сжатию или коэффициентов шкалы Протодьяконова.

В качестве весов при вычислении указанных средневзвешенных значений принимается процентное участие главнейших пород в разрезе покрывающей толщи.

Из признаков, характеризующих крепость пород, предпочтение следует отдавать результатам лабораторного определения временного сопротивления пород сжатию (на образцах, приготовленных в форме кубиков или цилиндров 5×5 *см*).

При выборе параметров для расчета целиков на эксплуатирующихся месторождениях с неизученным характером сдвижения горных пород отнесение месторождений к тому или иному типу по классификации необходимо производить, исходя из совокупности всех трех признаков. В последнем случае предпочтение отдается наиболее точному признаку — величине угла δ, определяемой работниками маркшейдерской службы по данным кратковременных наблюдений. В районах, имеющих перспективное значение, выбранные таким образом параметры для расчета целиков впоследствии должны уточняться путем постановки длительных наблюдений.

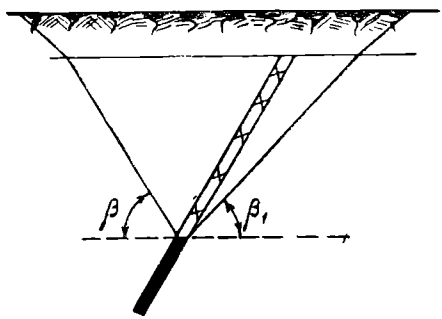


Рис. 1

В целях гарантии сохранности сооружений для расчета целиков, принимаются минимальные углы из числа выбранных по различным признакам. При выборе углов только по второму или третьему признаку классификации углы снижаются путем отнесения того или иного месторождения к соседнему типу с более пологими углами сдвижения.

Следует отметить, что углы сдвижения, принимаемые в настоящее время при расчете целиков, представляют собой до некоторой степени условные величины.

Эта условность объясняется: а) определением углов по точкам, отвечающим некоторым условно принятым критическим деформациям; б) определением углов по различным (в разное время и на разных месторождениях) критериям; в) определением углов γ при наличии ранее отработанных участков со стороны восстания пласта.

На некоторых месторождениях углы сдвижения определялись по точкам с некоторым предельным оседанием (например, 20 *мм* в Подмосковном бассейне, 20, 50 и 100 *мм* в Кузбассе).

В Донбассе первое время углы сдвижения определялись по точке с вектором полного смещения 30 *мм*, а в последующие годы в ряде случаев по критическим значениям растяжений, уклонов и изменения уклонов. При этом в качестве окончательных принимались минимальные значения углов из числа полученных по различным критериям. То же самое имело место при обработке наблюдений, проведенных в Челябинском, Кизеловском и Карагандинском бассейнах.

На месторождениях, сложенных слабыми породами или имеющих наносы весьма большой мощности, мульда оседаний получается

Таблица 1

Классификация угольных и сланцевых месторождений

Группы месторождений	Основные признаки классификации				Типы месторождений
	общая геологическая характеристика месторождений	ориентировочная характеристика крепости пород вышележащей толщи	углы сдвижения, град.		
			средние	пределы колебаний	
I	Буроугольные месторождения преимущественно кайнозойского, мезозойского и отчасти более древнего возрастов. Покрывающая толща сложена весьма слабо и слабо сцементированными породами	Породы весьма слабые и слабые. Средневзвешенный коэффициент крепости по шкале Протодьяконова до 2,5 Средневзвешенное сопротивление раздавливанию до 250 *кг/см²*. Средневзвешенная категория буримости по 12-категорной шкале СУСН до 4,5	65	50—80	
			65	60—70	I-а
II	Угольные месторождения преимущественно мезозойского и отчасти палеозойского возрастов, сложенные сцементированными породами средней крепости	Породы средней крепости Указанные выше показатели крепости пород составляют: 2,5—5,0; 250—500 *кг/см²*; 4,5—6,5— соответственно	70	65—75	II
			75	70—80	II-а
III	Угольные месторождения преимущественно палеозойского и отчасти более молодого возрастов, сложенные сильно сцементированными породами высокой крепости	Породы крепкие Указанные выше показатели крепости пород соответственно составляют: 5—8; 500—800 *кг/см²*; 6,5—8,5	80—85	76—88	III
			85—90	80—90	III-а

Таблица 1а

Углы наклона охранных плоскостей для расчета предохранительных целиков на месторождениях с неизученным характером сдвижения горных пород

Группы месторождений	Типы месторождений	Типичные месторождения из числа изученных инструментальными наблюдениями	Углы сдвижения (углы наклона охранных плоскостей для расчета целиков) в коренных породах, град.
		Месторождения, залегающие в рыхлых или сильно обводненных породах с плывунами. Подмосковный бассейн	55
	I-а	Прочие месторождения. Челябинский бассейн	$\delta = 65$. При угле падения пласта α от 0 до 10° $\beta = \gamma = 65$. При α от 10 до 45° $\beta = 70-0{,}5\alpha$; $\gamma = 70$. При $\alpha > 45°$ $\beta = 45$ $\gamma = 75$
II	II	Карагандинский бассейн	$\beta = 70-0{,}6\,\alpha$, но не менее 35; $\delta = \gamma = 70$
	II-а	Черемховское месторождение, Кузбасс, Хакасское месторождение	$\beta = 75-0{,}8\,\alpha$, но не менее 30; $\delta = \gamma = 75$
III	III	Хорошо изученных месторождений нет	$\delta = \gamma = 80$ при всех значениях угла падения α. При α от 0 до 5° $\beta = 80$. При α от 6 до 65° $\beta = 85-0{,}9\,\alpha$. При $\alpha > 65°$ $\beta = 90-0{,}9\,\alpha$, но не менее 25
	III-а	Донбасс	$\delta = \gamma = 85$ при всех значениях α. При α от 0 до 5° $\beta = 85$. При α от 6 до 65° $\beta = 90-\alpha$. При $\alpha > 65°$ $\beta = 100-\alpha$, но не менее 25

Примечания:

1. На угольных месторождениях, сложенных весьма крепкими породами, углы сдвижения для расчета целиков принимаются в соответствии с типом III-а.
2. При разработке верхних горизонтов крутопадающих мощных и средней мощности пластов ($\alpha > 65°$) граница зоны сдвижения в сторону лежачего бока строится под углом $\beta_1 = 50°$ (рис. 1).

чрезвычайно растянутой и характеризуется незначительным и равномерным наклоном краев.

Такая форма мульды часто объясняется не непосредственным влиянием горных выработок, а вторичными явлениями (например, осушением пород, изменением мерзлотного режима и т. п.), развивающимися в течение длительного времени.

В указанных условиях приходится отказываться от определения углов сдвижения по критическим значениям оседаний и определять эти углы по другим деформациям (например, по изменению наклонов).

Несмотря на отмеченную условность, применение углов сдвижения при расчете целиков оправдано длительной практикой.

Дальнейшая задача состоит в уточнении критических деформаций и углов.

Особое внимание следует уделить правильному определению углов сдвижения γ, так как возможность их существенного увеличения на месторождениях ряда типов вполне очевидна.

В табл. 1 и 1а приведены углы сдвижения в неподработанной толще. Углы сдвижения в ранее подработанной толще в настоящее время достаточно не изучены, известно лишь, что они положе углов в неподработанной толще. Так, например, на Черемховском месторождении констатировано значительное выполаживание углов сдвижения и обрушения при выемке нижнего слоя пласта Главного в контуре ранее подработанном верхним слоем этого пласта.

На шахтах № 2-бис и 9 Ангренского месторождения при выемке мощного пласта на участках, ранее подработанных верхним слоем этого пласта, отмечено выполаживание углов обрушения до 46—58° (при 65° в неподработанном массиве).

В Донбассе известны примеры, когда наблюдательные станции, заложенные при отсутствии очистной выемки на вышележащем горизонте, давали углы сдвижения γ, близкие $90° + \alpha$ (где α — угол падения пласта), тогда как в противном случае эти углы выполаживались до 85°

Выполаживание углов β для условий Донбасса, Карагандинского и Кизеловского бассейнов подлежит уточнению, так как имеющиеся данные относятся к случаю выемки сближенных пластов, когда полное выполаживание определить не представлялось возможным. Выполаживание углов сдвижения при вторичных подработках зависит не только от характера пород и угла падения их, но в еще большей степени от нарушенности пород, обусловленной мощностью ранее отработанных слоев или пластов.

Расчет предохранительных целиков на участках, ранее подработанных, без учета выполаживания углов сдвижения, может вызвать появление значительных деформаций в пределах охраняемой площадки.

3. Продолжительность процесса сдвижения, величина оседания поверхности, классификация охраняемых объектов

Общая продолжительность деформаций поверхности, опасных для сооружений, зависит главным образом от глубины залегания пластов и в нормальных условиях может быть ориентировочно оценена по табл. 2.

Следует иметь в виду, что в отдельных случаях (наличие в вышележащей толще мощных пластов крепких пород, выемка угля с оста-

влением большого числа целиков) указанная в табл. 2 продолжительность сдвижений может существенно увеличиться.

Таблица 2

Продолжительность опасных деформаций (сдвижений) поверхности, вызванных горными выработками

Глубина выработок, *м*	Продолжительность сдвижения, годы
До 50	
„ 100	
100—200	1—2
200—300	2—3
300 и более	3—5

Величина максимальных оседаний поверхности (в середине мульды сдвижений) при разработке пологопадающих пластов с полным обрушением кровли и при условии полного развития мульды (при достаточно больших площадях выемки по отношению к глубине залегания) может быть ориентировочно оценена по табл. 3, составленной на основании данных фактических наблюдений.

Таблица 3

Величина максимальных оседаний поверхности

Группы месторождений по классификации	Величина оседания в % к вынимаемой мощности пласта
I	До 90
II	55—75
III (сложенные крепкими породами)	45—65
III (сложенные весьма крепкими породами)	До 30

При применении закладки материалом, доставляемым извне, указанные величины оседаний следует относить к вынимаемой мощности пласта минус мощность слоя закладки в уплотненном состоянии.

При наклонном и крутом залегании пластов оседание поверхности, исключая зоны провалов, приблизительно в 1,5—2 раза меньше приведенных значений.

При повторных подработках поверхности величина оседания (по отношению к вынимаемой мощности нижележащего слоя или пласта) увеличивается в 2—3 раза на месторождениях, сложенных весьма крепкими породами, и на 10—20% на прочих месторождениях.

Различные объекты по значению их и характеру последствий, вызываемых деформацией поверхности, разделяются на *I*, *II*, *III* и *IV* категории.

Отнесение подлежащих охране объектов к той или иной категории производится в соответствии с таблицей, принятой в „Правилах

охраны сооружений от вредного влияния горных разработок в Донбассе"

Для объектов, не предусмотренных указанной таблицей, категория охраны устанавливается маркшейдером предприятия с привлечением специалистов-строителей.

На месторождениях с неглубоким (до 60 *м*) и горизонтальным залеганием пластов охраняемые объекты следует разделять на две группы: I и II. При этом в первую группу включаются объекты I и II, а во вторую III и IV категорий.

4. Методы охраны сооружений

Методы охраны сооружений выбираются в зависимости от категории сооружения, его конструктивных особенностей, глубины залегания и мощности разрабатываемых пластов, условий залегания пластов и характера пород покрывающей толщи.

Различают следующие методы охраны:

1) охрана сооружения достаточным предохранительным целиком (когда все другие методы охраны не достигают цели или являются экономически невыгодными);

2) охрана сооружения применением закладки выработок;

3) охрана сооружений путем применения соответствующих способов выемки угля (например, нарезка выемочных участков с расчетом попадания сооружения в середину мульды сдвижения при безостановочном и интенсивном подвигании забоя очистной выработки);

4) временное изменение характера эксплуатации объекта, подвергающегося подработке (например, переселение жильцов из жилых домов на период активной стадии сдвижения);

5) осуществление специальных мер и применение дополнительных устройств в подрабатываемых сооружениях, смягчающих вредные последствия подработки (устройство станков и растяжек для поддержания опор линий связи в отвесном положении; отделение деревянных домов от фундаментов и т. д.);

6) осуществление мер по предупреждению последствий деформаций на основании данных инструментальных наблюдений за поведением подрабатываемого сооружения.

Во избежание излишних потерь угля и осложнения горных работ необходимо:

а) сооружения, требующие оставления предохранительных целиков, по возможности заранее располагать на безугольных участках;

б) все второстепенные и несложные сооружения, а также небольшие жилые постройки (одноэтажные деревянные жилые дома, линии электропередач местного значения и т. д.) переносить в места, не требующие оставления предохранительных целиков, или подрабатывать, соответственно изменяя характер эксплуатации сооружений на период подработки и принимая меры по смягчению последствий подработки;

в) запрещать строительство на площадях залегания угля.

Предохранительные целики оставляются до горизонта безопасной глубины. Под безопасной понимается глубина, ниже которой горные разработки уже не оказывают разрушающего влияния на охраняемые объекты. Безопасная глубина $H_б$ определяется умножением вынимаемой мощности пласта на коэффициент безопасности K и отсчитывается от земной поверхности по вертикали.

При применении закладки материалом, доставляемым извне, безопасная глубина подсчитывается по вынимаемой мощности пласта минус мощность слоя закладки в уплотненном состоянии.

Численные значения коэффициентов безопасности в настоящее время регламентируются в „Правилах охраны сооружений от вредного влияния горных разработок в Донбассе, Карагандинском и Кизеловском бассейнах"

Пользуясь методом аналогий, коэффициенты безопасности, рекомендуемые для отдельных типичных месторождений, можно распространять на все месторождения той или иной группы предложенной классификации.

Так, коэффициенты безопасности, рекомендуемые для Донбасса, можно распространять на месторождения III группы, сложенные крепкими породами, а коэффициенты безопасности, применяемые в Кизеловском бассейне, на месторождения III группы, сложенные весьма крепкими породами. Коэффициенты безопасности, рекомендуемые для Карагандинского бассейна, можно распространять на месторождения II группы и т. д.

Следует отметить, что сами по себе коэффициенты безопасности для указанных выше наиболее изученных типичных месторождений в достаточной мере не дифференцированы и не обоснованы. Так, например, при установлении численных значений этих коэффициентов не делается различия между объектами, по-разному реагирующими на деформации поверхности (например, железные дороги, водоемы, реки и сооружения различных размеров и различной конструкции).

Безопасная глубина связывается с кратностью $\left(\frac{H}{m}\right)$ без учета влияния других факторов (в частности, размеров очистных выработок).

В Правилах для Донбасса бросается в глаза неестественно резкое различие между коэффициентами безопасности для объектов I и II категорий.

Произведенный в 1950 г. Украинским филиалом ВНИМИ сбор материалов по охране сооружений IV и III категорий показал, что в целом ряде случаев (при попадании сооружений на край мульды и при значительных размерах сооружений в плане) рекомендуемые безопасные глубины не гарантируют сооружение от значительных повреждений.

Отмеченные обстоятельства заставляют относиться к рекомендуемым коэффициентам безопасности как к ориентировочным и условным величинам, нуждающимся в дальнейшем уточнении.

В тех случаях, когда глубина залегания близка к безопасной, вопрос о возможности выемки угля без оставления целиков может быть решен с необходимой уверенностью не по рекомендуемым коэффициентам безопасности, а с более полным учетом всех факторов, т. е. в результате предрасчета ожидаемых деформаций поверхности.

Условность рекомендуемых безопасных глубин заставляет принимать ряд мер предосторожности при разработке пластов под сооружениями даже в тех случаях, когда фактическая глубина превышает безопасную.

Так, например, подработку сооружений I и II категорий ниже горизонта безопасной глубины рекомендуется производить по заранее разработанному проекту. При подработке должны быть приняты соответственные меры предосторожности:

1) усиленный надзор за состоянием сооружений и производство (в случаях необходимости) своевременного предупредительного ремонта;

2) систематические инструментальные наблюдения на подрабатываемых площадях;

3) безостановочная выемка угля широким фронтом.

Подработку магистральных железных дорог ниже горизонта безопасной глубины, вычисленной по K для II категории, до горизонта безопасной глубины, вычисленной по K для I категории, необходимо производить при обязательном выполнении следующих условий:

а) проведение систематических инструментальных наблюдений за подрабатываемым участком не реже чем через 15 дней в период активной стадии сдвижения и через 30 дней во время стадии затухания сдвижений;

б) проведение усиленного систематического надзора и ремонта железнодорожных путей;

в) проведение интенсивной и безостановочной очистной выемки угля широким фронтом.

При подработке водных объектов на глубине, превышающей безопасную, необходимо учитывать характер пород и степень их нарушенности, а также состояние водоотливного хозяйства шахты. Если при подработке приток вод в шахту будет по мере прохождения выработок сильно возрастать, предприятие обязано немедленно известить об этом горнотехническую инспекцию, которая, привлекая для консультации специалистов, должна разрешить вопрос о порядке дальнейшей работы. До начала работы под водными объектами необходимо принимать меры предосторожности: 1) усиление водоотливного хозяйства шахты; 2) изменение способа выемки, обеспечивающего более спокойный и равномерный характер сдвижения пород.

При установлении неблагоприятных факторов (трещиноватость пород, геологические нарушения и т. д.) вопрос о подработке объекта и его охране решается с учетом этих факторов инспектором ГГТИ при участии гидрогеологов.

Подработка водных объектов, расположенных на выходах крутопадающих пластов, воспрещается.

Предохранительные целики, оставленные под речками и балками, должны быть по возможности вынуты в период ликвидации шахты с соблюдением мер предосторожности против затопления данной и соседней шахт.

Подработка речек и балок, собирающих значительное количество осадков, разрешается в наиболее благоприятное время года, когда речки и балки пересыхают.

При подработке сухих балок необходимо принимать предупредительные меры (наблюдение, засыпка трещин, устройство лотков и т. п.).

При подработке водопроводов районного значения ниже горизонта безопасной глубины, вычисленной по K для II категории, до горизонта безопасной глубины, вычисленной по K для I категории, в зонах максимальных растяжений и сжатий необходимо заблаговременно устанавливать специальные компенсаторы.

Водопроводы, не имеющие районного значения, а также ответвления их к отдельным потребителям, не подлежат обязательной охране целиками. Однако необходимо не менее чем за 5 месяцев до начала подработки предварительно уведомить организацию, ведающую трубопроводом, о предстоящей подработке. По уведомлению будут приняты необходимые меры, предупреждающие опасные деформации и быстро ликвидирующ. е возможные аварии.

Одноэтажные жилые деревянные и глинобитные дома и другие второстепенные здания, сады и парки не подлежат обязательной охране целиками. Вопрос о подработке садов и парков при значительной деформации поверхности должен быть за 6 месяцев до проведения горных работ согласован с местными органами власти.

Уголь под небольшими или имеющими второстепенное значение зданиями при наличии экономической целесообразности должен быть выработан, для чего в отдельных случаях возможно временное изменение характера эксплуатации сооружений (например, выселение жильцов) или перенесение их в места, не требующие оставления целиков.

Линии телеграфной и телефонной связи, линии электропередач (местного значения) и геодезические знаки не охраняются целиками. При их подработке необходимо принимать меры, обеспечивающие бесперебойную работу линий. В зависимости от назначения линий указанными мерами могут быть: закрепление опор оттяжками с одновременным ослаблением заделки опор в грунте, освобождение проводов от жесткого скрепления с изоляторами, установка дополнительных опор и отвод линий на время прохождения забоя очистной выработки под опорами.

Шоссейные дороги, как правило, не охраняются целиками. Горное предприятие обязано заранее поставить в известность о предстоящей подработке заинтересованные организации и возместить расходы, связанные с временным отводом или ремонтом дорог.

Шахтные железные дороги (подъездные ветки), обслуживающие изолированные шахты, не подлежат обязательной охране целиками. При подработке их на глубине меньшей, чем это требуется для сооружений III категории, необходимо проведение следующих мер предосторожности: уменьшение скорости движения, круглосуточный надзор за состоянием пути и ее своевременный ремонт, а при весьма значительных деформациях поверхности — прекращение движения поездов или устройство запасного пути на период прохождения очистной выработки под полотном железнодорожной ветки.

Особое внимание следует уделять подработке железных дорог на выходах крутопадающих пластов. На выходах крутопадающих пластов тонких и средней мощности обязательно оставление целика не менее 20 *м* по падению. Подработка железнодорожных путей на выходах мощных пластов не допускается.

Шахта обязана предупреждать погрузочно-транспортное управление треста не позже чем за 5 месяцев о начале и месте подработки, представляя выкопировку из плана горных работ с указанием района влияния предстоящих разработок.

5. Правила расчета предохранительных целиков

Границы целиков, оставляемых под охраняемыми объектами, определяются линиями пересечения плоскостей сдвижения с поверхностью лежачего бока пласта. Плоскости сдвижения проводятся над углами β, γ и δ (графа 4, табл. 1а) от бермы, оставляемой вокруг охраняемого контура.

Если пересечение плоскости сдвижения, проведенной под углом γ, с пластом получается ниже горизонта безопасной глубины, то нижней границей целика является линия пересечения поверхности пласта с горизонтом безопасной глубины.

Ширина предохранительной бермы, оставляемой вокруг охраняемого контура, принимается равной: для объектов I категории — 15 *м*, II 10 *м*, III 5 *м*. При расчете целиков под объектами IV категории предохранительная берма не оставляется. В случае разделения охраняемых объектов на две группы (I и II, III и IV категорий) ширина бермы принимается: для объектов I группы 10 *м*, для II — 5 *м*.

Охраняемый контур для объектов ограниченных размеров строится в виде описанного вокруг объекта прямоугольника, две стороны которого параллельны, а две другие перпендикулярны простиранию пласта.

При расчете целиков под группой сооружений или под объектами значительных размеров и сложной конфигурации охраняемую площадь следует разбивать на несколько прямоугольных контуров.

При горизонтальном залегании пласта стороны охраняемого контура строятся в виде линий, параллельных и перпендикулярных штрекам главных направлений (или забоям, оконтуривающим целик очистных выработок).

При наличии резко выраженной трещиноватости пород, оказывающей влияние на характер сдвижения последних, ориентировка границ охраняемого контура должна быть согласована с господствующим направлением трещиноватости.

Если направление очистной выемки в районе запроектированного целика заранее неизвестно, охраняемый контур строится в виде описанного прямоугольника с минимальной площадью.

В случае расположения вытянутого объекта диагонально по отношению к линии простирания пласта охраняемый контур строится также диагонально. В этом случае плоскости сдвижения проводятся через границы предохранительных берм под углом β' в сторону восстания и под углом γ' в сторону падения пласта.

Значения углов β' и γ' вычисляются по формулам:

$$\operatorname{ctg}\beta' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2\beta\cos^2\theta + \operatorname{ctg}^2\delta\sin^2\theta}, \qquad (1)$$

$$\operatorname{ctg}\gamma' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2\gamma\cos^2\theta + \operatorname{ctg}^2\delta\sin^2\theta}, \qquad (1')$$

где β, γ, δ углы наклона плоскостей сдвижения вкрест простирания и по простиранию (табл. 1а, графа 4);

θ — острый угол между линией простирания и границей охраняемого контура.

Если контур целика в результате построения получается с большим числом выступов то, исходя из удобства выемки полезного ископаемого, допускается его спрямление.

6. О методике расчета сдвижений горных пород

Наша отечественная наука достигла значительных успехов в исследовании сдвижений горных пород. Инструментальные наблюдения, развернувшиеся на крупнейших угольных месторождениях, позволили накопить обширные фактические данные и более обоснованно подойти к решению вопросов охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок. Однако предстоит сделать еще очень многое, особенно в области теоретической разработки проблемы и создания практически приемлемых методов предрасчета сдвижений.

Сдвижение горных пород представляет собой сложное и физически неоднородное явление. В различных точках массива, на разных стадиях протекания процесса и в различных горногеологических условиях, определяющих степень разрушения пород, это явление подчиняется различным законам деформирования.

Указанное обстоятельство является существенным препятствием успешному приложению существующих теорий деформирования к изучению количественной стороны процесса сдвижений. Вторым существенным препятствием на этом пути является ограниченность наших знаний о структуре и физико-механических свойствах массива горных пород.

Эта ограниченность вряд ли может быть преодолена и в будущем, поскольку трудно рассчитывать на постановку сверхдетальной разведки массива специально для решения вопросов сдвижения горных пород и ненужной для целей проектирования горных предприятий.

В истории изучения рассматриваемой проблемы известен целый ряд подходов, основанных на представлении о деформирующемся массиве, как упругой, пластической или сыпучей среде. Однако эти подходы не учитывали физической разнородности явления и поэтому исключали возможность всесторонней его характеристики.

Такое положение вынудило отказаться от приложения какой-либо частной теории деформирования и исходить из самых общих свойств сплошной среды [2]:

1) условия непрерывности:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0; \tag{2}$$

2) равенства нулю деформации сдвига по осям главных напряжений:

$$\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} = 0. \tag{3}$$

Перечисленные условия в силу общности не позволяют получить интересующие нас количественные соотношения и поэтому не могут служить надежным фундаментом построения расчетных методов.

Многолетние исследования в этой области пока не увенчались успехом, и предложенные до настоящего времени приемы расчета сдвижений не вытекают непосредственно из теории сплошной среды.

Совершенно очевидно, что в настоящее время нет оснований возлагать большие надежды на возможность чисто теоретического решения вопроса.

Теории деформирования и наблюдения на моделях (в том числе и с эквивалентными материалами) следует использовать главным образом при выявлении качественных связей. Оценку количественных отношений необходимо строить на обширных фактических материалах, накопленных в процессе инструментальных наблюдений, уделяя достаточное внимание и методу аналогий.

Метод аналогий, основанный на классификации месторождений, допускает задание (применительно к средним условиям месторождений того или иного типа) не только углов сдвижения, но также параметров и зависимостей, численно характеризующих элементы деформированной поверхности [6]. Углы сдвижения не могут быть найдены теоретическим путем (по физическим константам массива). Между тем без знания этих углов немыслим расчет деформаций.

Примерно также обстоит дело и со вторым важным параметром — максимальной величиной оседания η_0. В период проектирования шахт нельзя рассчитывать на непосредственное определение η_0. Оценка η_0 в указанных условиях, так же как и углов сдвижения на месторождениях с неизученным характером сдвижения горных пород, возможна только на основе метода аналогий.

На относительно изученных месторождениях мы вынуждены пользоваться средними углами, так как теоретический расчет их применительно к условиям отдельных шахт исключен, а при постановке фундаментальных наблюдений надобность в предрасчете отпадает, поскольку интересующие нас деформации могут быть определены непосредственно.

Наибольшее оседание η_0 является одним из основных параметров, используемых при расчете деформаций.

Величина η_0 зависит от характера пород, формы и размеров выработанного пространства, глубины залегания (H), вынимаемой мощности (m) и угла падения пласта (α).

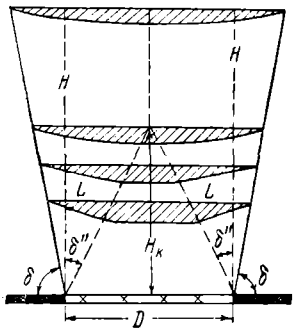


Рис. 2

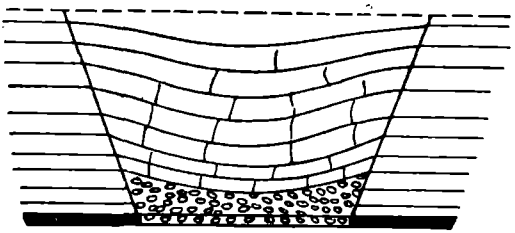


Рис. 3

До настоящего времени мы не имели надежных способов определения η_0. Проф. С. Г Авершин [1], например, рекомендует формулу

$$q = \frac{\eta_0}{m} = \frac{22}{22 + \sqrt{H}}. \qquad (4)$$

Эта формула не учитывает характера пород и размеров выработанного пространства, а также резкого различия оседания непосредственной кровли и слоев, залегающих над зоной беспорядочного обрушения. Недостаточная изученность рассматриваемого вопроса была следствием неправильной обработки и интерпретации фактических наблюдений [7].

Как показывает опыт наблюдений в натуре и на моделях, сдвижение пород может проявляться в двух формах: 1) когда над зоной беспорядочного обрушения наблюдается прогиб слоев в виде тарелкообразной мульды (рис. 2); 2) когда этот прогиб дает чашеобразную мульду (рис. 3).

Проявление той или иной формы прогиба зависит от мощности пласта и крепости пород вышележащей толщи.

В первом случае тарелкообразная форма прогиба по мере увеличения H при некотором $C_k = \frac{H_k}{D}$ (где D — размер выработки) принимает чашеобразную форму

$$C_k = \frac{\operatorname{ctg}\delta''}{2} \qquad (5)$$

Если исходить из постоянства объемов мульд, образующихся в различных слоях толщи (что справедливо при отсутствии зависания пород), то можно сделать следующие выводы.

1. При $\frac{H}{D} < C_k$ (т. е. до тех пор, пока мульда имеет тарелкообразную форму) увеличение площади мульды при возрастании H компенсируется пропорциональным сокращением ее дна, ввиду чего η_0 практически остается постоянным.

2. При $\frac{H}{D} > C_k$ (т. е. когда прогиб слоев приобретает чашеобразную форму) средняя глубина мульды, а следовательно, и η_0 при увеличении H убывает в такой же пропорции, в какой возрастает площадь мульды.

Принимая форму выработанного пространства прямоугольной, обозначим меньший линейный размер этого пространства через D_1, а больший (параллельно или перпендикулярно линии забоя выработки) через D_2. На основании второго вывода будем иметь (рис. 2):

1) при $D_1 C_k < H < D_2 C_k$

$$q_0' = \frac{q_0}{n_1}, \qquad (6)$$

$$n_1 = \frac{1 + pC_1}{d}, \qquad (7)$$

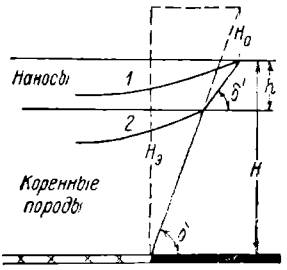


Рис. 4

где q_0 — относительная величина наибольшего оседания $\left(q_0 = \frac{\eta_0}{m}\right)$ при $\frac{H}{D} < C_k$ (т. е. при малых глубинах, когда имеет место образование тарелкообразной мульды);

q_0' — относительная величина наибольшего оседания при глубине H

$$p = 2 \operatorname{ctg} \delta,$$

где δ — угол сдвижения;

$$d = 1 + 2C_k \operatorname{ctg} \delta;$$

$$C_1 = \frac{H}{D_1};$$

2) при $H > D_2 C_k$

$$= q_0' \frac{q_0}{n_2}, \qquad (8)$$

$$n_2 = \frac{(1 + pC_1)(1 + pC_2)}{d^2}, \qquad (9)$$

где $C_2 = \frac{H}{D_2}$

При наличии мощных наносов H принимается равным эквивалентной глубине $H_э$ (рис. 4, *1* — кривая оседаний поверхности, *2* — кривая оседаний на контакте коренных пород с наносами).

$$H_э = H + H_0 = H + h\,(\operatorname{ctg} \delta' - \operatorname{ctg} \delta) \operatorname{tg} \delta, \qquad (10)$$

где h — мощность наносов;

δ' — угол сдвижения в наносах;

δ — угол сдвижения в коренных породах.

Величины p и d могут быть заданы на основе фактических материалов (табл. 4) применительно к отдельным типам месторождений по предложенной классификации.

Таблица 4

Численные значения C_k, p и d

Типы месторождений по классификации	δ	p	C_k	d
I, I-а (Подмосковный, Челябинский бассейны)	65	0,9	0,4	1,4
II, (Карагандинский бассейн)	70	0,7	0,5	1,4
II-а, (Кузбасс, Черемховский бассейн)	75	0,5	0,7	1,4
III, „	80	0,4	0,8	1,3
III-а, (Донбасс)	85	0,2	1	1,2

Как следует из табл. 4, величина d изменяется весьма медленно, поэтому может быть задана ориентировочно.

Величина q_0 может быть определена непосредственно при помощи кратковременных наблюдений, нивелировкой отдельных подработанных точек или задана применительно к отдельным типам месторождений по данным фактических наблюдений (табл. 3).

Величина q_0 должна определяться при условии, когда $H < DC_k$ (где D — наименьший из линейных размеров выработки).

Приведенные выше соотношения позволяют рассчитывать величину оседания при горизонтальном и пологом залеганиях.

Пример. Пусть в условиях Донбасса требуется определить величину оседания q_0' при глубине залегания пласта $H = 500$ *м* по следующим данным: угол падения пласта $\alpha = 8°$, $q_0 = 60\%$ от мощности пласта m; размер выработанного участка: $D_1 = 100$ *м*, $D_2 = 250$ *м*.

Находим: $C_1 = \frac{H}{D_1} = 5$; $C_2 = \frac{H}{D_2} = 2$; $C_k = 1$; $d = 1{,}2$; $p = 0{,}2$ (табл. 4).

В нашем случае $H > D_2 C_k$, поэтому, применяя формулы (8) и (9), вычисляем:

$$n_2 = \frac{(1 + pC_1)(1 + pC_2)}{d^2} = 2,$$

$$q_0' = \frac{0{,}60}{2} = 0{,}30 \ (30\% \text{ от } m).$$

Следует отметить, что предложенный метод расчета величины оседания, не претендуя на строгость, обладает определенным преимуществом перед методом, применяемым в настоящее время.

Приведенные выше формулы позволяют проанализировать изменение q_0' в связи с изменением характера пород, глубины залегания и линейных размеров выработанного пространства.

Так, пользуясь соотношением (9), можно заключить, что оседание q_0' при прочих равных условиях затухает (с увеличением H) более быстро на месторождениях, сложенных слабыми породами. Наряду с этим следует иметь в виду, что само q_0 по численной величине меньше на месторождениях, сложенных крепкими породами.

Формулы (6)—(9) до некоторой степени можно распространить и на пласты, залегающие наклонно. В этом случае, согласно правилу нормалей, прогиб слоев происходит в направлении, близком

к нормали к напластованию, поэтому величину H следует принимать равной расстоянию от точки наибольшего оседания до середины выемочного участка по падению пласта (рис. 5).

По найденной таким образом величине смещения q_0' по линии OK можно определить наибольшее оседание $q_{0(1)}'$:

$$q_{0_{(1)}}' = q_0' \sin \Theta, \tag{11}$$

где Θ — угол наклона линии OK (определяется по имеющимся фактическим данным).

Существенным недостатком современного подхода к разработке расчетных методов является недостаточно полное использование обширных данных наблюдений путем их статистической обработки.

В ряде случаев [4] подвергается сомнению целесообразность применения математической статистики на том основании, что сдвижение горных пород представляет собой физическое явление. Подобное сомнение вытекает из недостаточно правильной оценки существа и возможностей методов статистики, широко применяемых в науке при изучении физических явлений. Правильно применяемый статистический метод предполагает предварительное выяснение физической сущности явления и реально существующих связей. И только после того, как такие связи установлены, их количественное выражение достигается статистической обработкой данных.

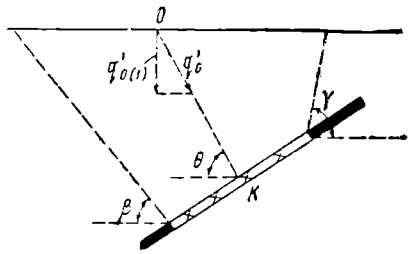


Рис. 5

В настоящее время мы располагаем обширными материалами наблюдений по ряду типичных угольных районов. Недостаточное использование этих данных при выводе расчетных формул делает последние чрезвычайно искусственными, а результаты расчетов в ряде случаев далекими от действительности.

Так, для расчета оседаний при горизонтальном залегании или по простиранию пласта предлагается формула [3]:

$$\eta = \eta_0 \left(1 - \frac{x}{2{,}13l}\right)^{4{,}58} e^{2{,}13\frac{x}{l}}, \tag{12}$$

где x — абсцисса точки перегиба кривой оседаний (начало координат совпадает с точкой наибольшего оседания);

e — основание натуральных логарифмов.

Формула (12) была получена на основании априорных положений [5] в то время, когда еще не было достаточно большого количества инструментальных наблюдений.

Ряд следствий, вытекающих из формулы (12) (в частности, постоянство соотношения $L = 2{,}13l$, где L — абсцисса границы мульды), не подтверждается фактическими данными, полученными на месторождениях различных типов.

Величина η_0, которую рекомендуется определять методом, заимствованным из практики обработки наблюдений за оседанием кровли (частные наблюдения), не во всех случаях получается достаточно уверенно. Здесь имеет значение не только равномерность сдвижений, но и размеры выработки.

Параметры зависимости (12) могут быть определены более надежно путем статистической обработки обширных данных инструментальных наблюдений.

Имея фактические кривые оседаний, можно привести их к условиям одной и той же кривой, имеющей наибольшее оседание $\eta_{0(t)}$ с абсциссой L_t. Такое приведение достигается делением абсцисс и ординат кривых соответственно на горизонтальный (M_i) и вертикальный (M_i') масштабы трансформации.

Последние находятся из соотношений:

$$M_i = \frac{L_i}{L_t}, \tag{13}$$

$$M_i' = \frac{\eta_{0(i)}}{\eta_{0(t)}} \tag{14}$$

Для сечений с тарелкообразной формой мульды

$$M_i = \frac{H_i}{H_t}, \tag{15}$$

где H_i — глубина залегания, соответствующая той или иной трансформируемой кривой;

H_t — глубина залегания, соответствующая исходной кривой.

При наличии наносов H_i и H_t в соотношении (15) заменяются эквивалентными глубинами $H_э$ [выражение (10)]. Трансформированные кривые можно осреднить и получить (применительно к отдельным типам месторождений) типовые кривые оседаний и их уравнения.

Для характеристики оседаний при $L \neq L_t$ (или $H \neq H_t$), $\eta_0 \neq \eta_{0(t)}$ переход от типовой кривой к кривой в данных условиях производится по коэффициентам трансформации M_i и M_i'

При этом величина L_i определяется графически (рис. 2) или находится из соотношения:

$$L_i = \frac{D}{2} + H_i \operatorname{ctg} \delta, \tag{16}$$

где D — линейный размер очистной выработки на разрезе;

H_i — глубина залегания пласта;

δ — угол сдвижения.

Аналогично (но при иных масштабах трансформирования) могут быть получены типовые кривые горизонтальных деформаций. Этим подходом можно воспользоваться и при численной характеристике других интересующих нас деформаций, в частности уклонов и кривизны краев мульды при пологом залегании пластов.

С. Г Авершин указанные деформации получает как производные от соотношения (12).

В настоящее время представляется возможным найти эти зависимости путем статистической обработки фактических данных.

Применительно к средней характеристике пород месторождений того или иного типа интересующие нас деформации мы можем связывать с величинами, характеризующими условия залегания и линейные размеры выработок, а затем, пользуясь теорией корреляции, по фактическим данным определить вид этих связей.

При этом интересующие нас деформации $i_{ср}$, $i_{макс}$ (средний и максимальный наклоны) следует рассматривать как функции величины $\frac{\eta_0}{L}$ или $t=\frac{q}{k}=\frac{\eta_0}{H}$ (для тарелкообразных мульд).

Деформации $r_{макс}$, $\varepsilon'_{макс}$, $\varepsilon_{макс}$ (максимальные значения кривизны, сжатия и растяжения) следует рассматривать как функции величины $\frac{\eta_0}{L^2}$ или $\frac{t}{H}$ (для тарелкообразных мульд).

Величина L (размер края мульды) при выводе соотношений определяется непосредственно по графикам оседаний, а при предрасчете деформаций находится из соотношения (16).

При наличии мощных наносов величину H следует подсчитывать по соотношению (10).

В 1950 г. [6] указанным способом нами была произведена частичная обработка результатов инструментальных наблюдений над пологопадающими пластами в Донбассе. При этом было получено:

$$i_{макс}=1300t+2{,}8 \ мм/м, \tag{17}$$

где $i_{макс}$ — максимальный наклон;

$$t=\frac{q}{k} \quad \left(\text{где } q=\frac{\eta_0}{m}, \ k=\frac{H}{m}, \ m \text{ — мощность пласта}\right).$$

Для среднего уклона ($i_{ср}$) можно принять:

$$i_{ср}=0{,}5 \ i_{макс}. \tag{18}$$

Аналогичные выражения для максимальной кривизны ($r_{макс}$), максимальных сжатий ($\varepsilon'_{макс}$) и растяжений ($\varepsilon_{макс}$) получаются в виде:

$$r_{макс}=f'\left(\frac{t}{H}\right)=\frac{2i^2_{макс}}{\eta_0}, \tag{19}$$

$$\varepsilon'_{макс}=f''\left(\frac{t}{H}\right)=60\frac{i_{макс}}{H}, \tag{20}$$

$$\varepsilon_{макс}=f'''\left(\frac{t}{H}\right)=40\frac{i_{макс}}{H} \tag{21}$$

Необходимо отметить, что в отличие от $i_{макс}$ и $i_{ср}$ предрассчитанные величины горизонтальных деформаций дают существенные отклонения от фактических данных. Это относится как к приведенным формулам, так и к формулам, рекомендуемым С. Г Авершиным [3], проверка которых, выполненная Уральским филиалом ВНИМИ в 1949 г., показала значительные расхождения с наблюдаемыми величинами деформаций.

В отличие от горизонтального и пологого залегания расчет деформаций при наклонном и крутом залегании пластов в настоящее время является почти совершенно не исследованной задачей.

Задача становится еще более трудной при наличии мощных наносов, сдвижение которых в рассматриваемом случае резко отлично от сдвижения коренных пород.

В работах проф. С. Г Авершина мы находим первую попытку решения этого сложного вопроса [2]. Однако предложенное решение пока не может быть использовано в практических целях, так как

содержит ряд невыясненных и спорных положений. В частности, здесь принимается чашеобразная форма прогиба характеристического слоя. Такая форма прогиба ввиду близости характеристического слоя к зоне беспорядочного обрушения мало вероятна. В работе не дается также надежного способа определения величины прогиба характеристического слоя и затухания этой величины по мере удаления от пласта. Предлагаемая для этой цели формула (4), как уже указывалось выше, не может быть признана пригодной.

Вопросу предрасчета сдвижений при крутом и наклонном залегании в ближайшем будущем следует уделить особое внимание.

Поступило 20. V. 1951 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авершин С. Г., Расчет сдвижения горных пород, Металлургиздат, 1950.
2. Авершин С. Г., О теоретических исследованиях сдвижения горных пород, Труды ВНИМИ, вып. XXII, 1950.
3. Авершин С. Г., Кузнецов М. А., Расчет элементов сдвижения поверхности в условиях разработки пологопадающих пластов, Труды ВНИМИ, вып. XV, 1948.
4. Авершин С. Г., Роль русских ученых в изучении сдвижения и давления горных пород, Горный журнал, № 5, 1950.
5. Звонарев К. А., Сессия научного совета Центрального научно-исследовательского маркшейдерского бюро, Труды ЦНИМБ, № 10, 1940.
6. Казаковский Д. А., Метод аналогии в вопросах сдвижения горных пород, Труды ВНИМИ, вып. XXII, 1950.
7. Поляков В. М., О построении околоствольных целиков, Уголь, № 6, 1948.