



УДК 622.272

ЗАВИСИМОСТИ И ОСОБЕННОСТИ СМЕЩЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН РАЗРУШЕНИЯ КРОВЛИ И КРАЕВОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗОЙ БЕСЦЕЛИКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Игнатов Е.В.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

В статье рассмотрены результаты натурных исследований пространственно-временных процессов взаимодействия элементной базы крепи с массивом горных пород, а также с геомеханической точки зрения проанализированы её возможности и недостатки.

Шахтные исследования смещений и разрушений массива пород, пласта угля и крепи подготовительных выработок были проведены более чем на 30 шахтопластах Северного и Центрального Кузбасса. Суммарная длительность этих наблюдений составила более 5 лет, за это время было произведено более 20 000 единичных замеров.

Все натурные наблюдения проводились в соответствии с Все натурные наблюдения проводились в соответствии с утвержденными методиками и действующими правилами техники безопасности.

Для достижения цели, поставленной в работе, были проведены наблюдения за смещениями и разрушениями пород кровли в окрестности подготовительных выработок для выявления пространственно-временных связей, их параметров, основных влияющих факторов в системе «массив – выработка – обрушенные породы»; за изменениями состояния пласта угля для изучения процесса разрушения краевой части угольного массива; за взаимодействием штрековой и охраняющей крепей, находящихся на границе «массив – обрушенные породы», с боковыми породами для выявления особенностей влияния различных факторов.

Информация о статье

Принята 18 ноября 2020 г.

Ключевые слова:

смещение пород кровли,
разрушение пород, крепь,
кровля пласта

DEPENDENCES AND FEATURES OF DISPLACEMENTS AND FORMATION OF FRACTURE ZONES OF THE ROOF AND THE EDGE OF THE COAL SEAM IN INTERACTION WITH THE ELEMENTAL BASE OF SUPPORT AT PILLARLESS TECHNOLOGY

Evgeny Ignatov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Abstract.

The article reviews the results of field studies of spatial and temporal processes of interaction of the element base of the support with the rock massif, as well as analyzes its capabilities and disadvantages from the geomechanical point of view.

Mine studies of displacement and destruction of the rock massif, the coal seam and support of development workings were conducted at more than 30 mines in the North and Central Kuzbass. The total duration of these observations was more than 5 years, during this time there were made more than 20 000 single measurements.

Article info

Received November 18, 2020

Keywords: roof displacement,
rock disintegration, cut-off
support, shaft lining



All full-scale observations were carried out in accordance with approved methods and current safety rules.

To achieve the goal set in this work, we conducted observations of displacement and destruction of the roof rocks in the vicinity of development workings to identify spatial and temporal relationships, their parameters, the main influencing factors in the system "rock array – workings – broken rocks"; the changes in the coal seam to study the destruction of the edge of the coal massive; the interaction of shaft lining and cutting-off support, located on the border of "rock array – broken rocks" with lateral rocks to identify the features in the influence of various factors.

Введение

Многообразие горно-геологических условий и их изменение в ходе эксплуатации предполагает различные формы разрушений и характер смещений пород кровли.

Анализ и обобщение результатов шахтных исследований в подготовительных выработках на шахтах п.о. «Ленинскуголь», п.о. «Северокузбассуголь» при различных схемах подготовки выемочных столбов и в различных горно-геологических условиях позволили выделить две основные формы разрушения и смещений пород кровли, деформирования крепи на границе «массив – обрушенные породы» (табл. 1).

Первая – характеризуется зависанием консоли кровли над подготовительной выработкой, которая не разрушается со временем, причем длина консоли превышает ширину выработки. Типичное для этого случая разрушение элементов крепи (стоек и верхняков) со стороны выработанного пространства.

График скорости смещений кровли, обычно, представляет собой сложную ломаную линию с пикообразными всплесками, нарастающей амплитуды по мере приближения к забою лавы, вершины этих импульсов синхронизированы с изменениями качественного состояния массива пород и краевой части пласта в окрестности выработки.

К этой группе можно отнести смещения и разрушение пород над подготовительными выработками по пластам Байкаимскому, Надбайкаимскому, Коксовому и др. несмотря на то, что в каждом случае проявляются индивидуальные особенности этого процесса, зависящие от конкретных горно-геологических условий. Причем картина разрушения кровли может несколько меняться и на одном пласте. Так, например, на пласте Толмачевском шахты «Комсомолец» (схема подготовки выемочного столба – проведение выработки «вприсечку») в вентиляционном штреке лавы 181 отмечалось изменение длины консоли кровли от 3÷4 м до 8÷12 м. При зависании кровли на 8÷12 м наблюдалась значительная деформация крепи штрека со стороны выработанного пространства, отжим угля.

Влияние формы разрушения и смещений пород кровли на характер деформирования крепи выработки

Рассмотрим результаты натуральных наблюдений (характерных для данной формы разрушения) в вентиляционных штреках пласта Байкаимского шахты «Полысаевская» при двух различных схемах бесцеликовой подготовки (с различными способами охраны выработок).

Горно-геологическая характеристика пласта следующая: мощность пласта 2,5÷3,1 м, угол падения 15÷16 град., непосредственная кровля изменяется от 0 до 3 м, основная представлена крепким песчаником мощностью 50÷60 м, глубина горных работ около 160 м.

На рис. 1 приведен график смещения пород кровли и поломки элементов крепи в вентиляционном штреке лавы 113, закрепленным деревянной рамной крепью (схема подготовки проведения выработки «вприсечку»). Вершины импульсов графика скорости опускания соответствуют шагу блокообразования основной кровли впереди очистного забоя, о чем свидетельствуют различные ускорения сдвижения кровли на смежных станциях наблюдения и

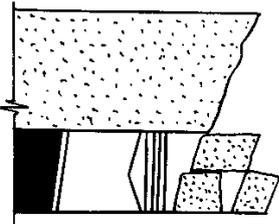
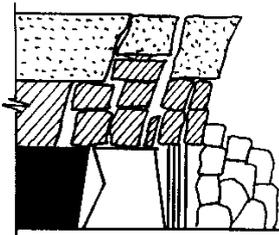


изменения знака градиента смещений на станциях 1 и 2 в 27 метрах от очистного забоя (рис. 1, а).

На графике (рис. 2, а) приведена разность смещений кровли в сечении выработки на станции, установленной со стороны обрушенных пород относительно станции у массива. Анализ приращений смещений кровли в сечении выработки показывает, что в зоне опорного давления (в 60÷70 м от очистного забоя) начинается активизация сдвижений консолей пород, нависающих над штреком со стороны выработанного пространства, а в 25÷40 м смещения в сечении становятся равномерными.

Аналогичные явления отмечались на пластах: Надбайкаимском (рис. 2, б), Толмачевском и др., с подобной формой разрушения кровли.

Таблица 1. Объем шахтных наблюдений

Форма разрушения	Шахта, пласт	Параметры пласта (в числителе – мощность, м; в знаменателе – угол падения, градус)	Способ охраны	Тип охраняющего устройства	Длительность наблюдений, сут.
1. 	Сибирская, пл. Коксовый, лава 43	2,0 / 10	вприсечку	Орг. ряд	99
	Судженская, пл. Тонкий, лава 12	1,2-1,6 / 18-20	вприсечку	Орг. ряд	253
	Октябрьская, пл. Надбайкаимский, лава 4	2,7 / 5	вприсечку	Рамы сплошную	25
	Полысаевская, пл. Байкаимский, лава 113	2,8 / 15-17	вприсечку	Рамы сплошную	50
	Комсомолец, пл. Толмачевский	2,7 / 6	вприсечку вприсечку	Рамы через 0,5 м	25 14
2. 	им. Ярославского, пл. Журинский, лава 3	2,15 / 5-10	вприсечку		30
	Кольчугинская, пл. Журинский, лава 109, 107, 111. Пл. 5 Поджуриинский	2,15 / 3-8 2,9-3,0 / 3-6	сохранение сохранение	Органка 2 ряда Орг. ряд, костры	87 18
	Пионерка, пл. 10	1,9-2,2 / 5-8	сохранение	Органка 2 ряда	170
	Октябрьская, пл. Инской III	1,4 / 8	сохранение	3 ряда подхватов	32

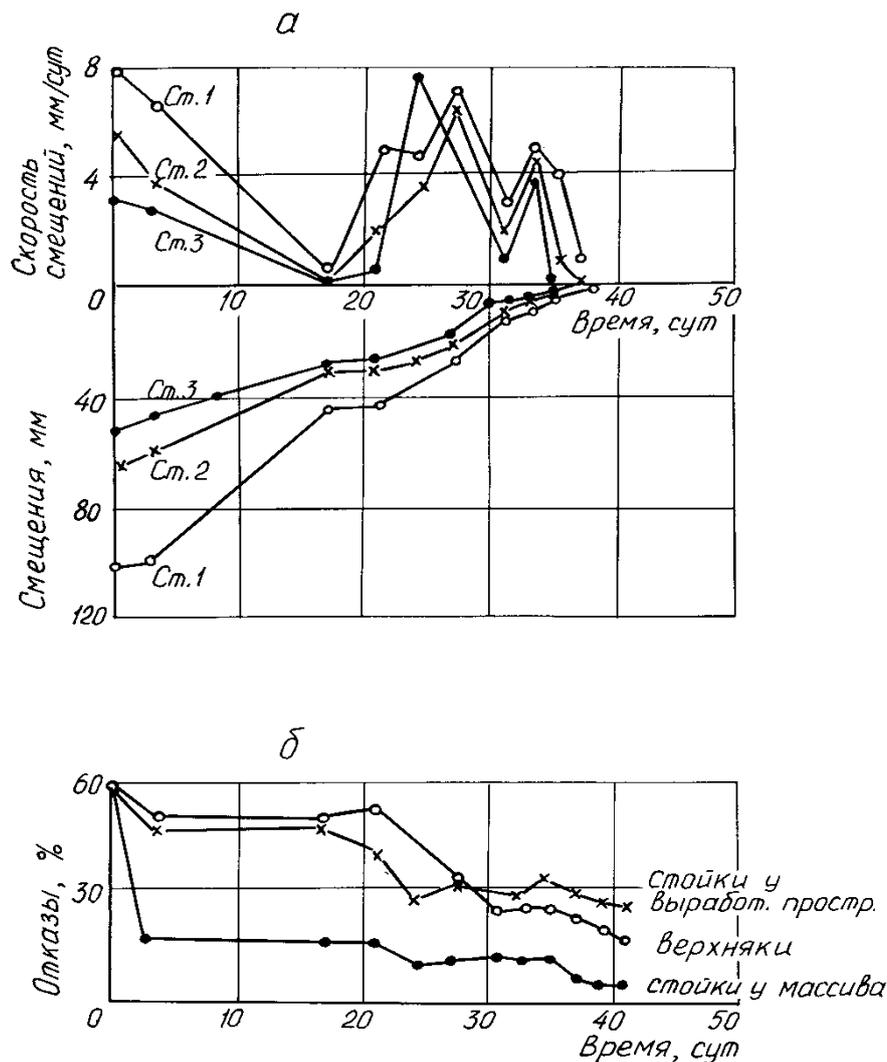


Рис. 1. Графики смещений и скоростей смещений пород кровли (а) и поломок крепи (б) в вентиляционном штреке № 113 пл. Байкаимского шахты «Полысаевская»

Таким образом, при данной форме разрушения пород кровли, в зоне опорного давления максимум смещений в сечении расположен со стороны обрушенных пород. Неравномерность смещений в сечении выработки составляет от 30% до 40% от минимальных. В соответствии с этим были зафиксированы поломки элементов крепи – верхняков и стоек от 25% до 50% (рис. 1, б).

Сложность поддержания этого участка состоит в том, что значительная часть податливости деревянной крепи (до 80%), исчерпывается в предыдущие периоды существования выработки – это положение иллюстрируется в следующем параграфе.

На пласте Байкаимском (шахта «Полысаевская») была испытана бесцеликовая схема отработки с проведением вентиляционного штрека с оставлением подэтажного целика (8 м) и последующим его извлечением одновременно с лавой единым оборудованием. На рис. 3 приведен график смещений пород в вентиляционном штреке 6б, закрепленном рамной деревянной крепью через 0,8 м, из которого видно, что зона опорного давления уменьшилась на 15 ± 20 м по сравнению со схемой «вприсечку», но несколько возросла интенсивность смещений. Однако состояние крепи штрека было нормальным и деформаций рам не отмечалось, опускание кровли составило от 40 до 80 мм.



Таким образом, при охране выработок целиком небольшого размера негативные явления при этой форме разрушения полностью исчезли: уменьшились смещения, в 1,5 раза сократилась зона опорного давления, поломки крепи отсутствовали.

Вторая форма разрушения пород – консоль кровли, нависающая над сохраняемой подготовительной выработкой, постепенно разрушается до массива угля или дальше после прохода первого очистного забоя, т.е. длина консоли пород меньше ширины выработки, над выработкой находятся разрушенные породы. В этом случае крепь разрушается со стороны массива угля (рис. 4, 5).

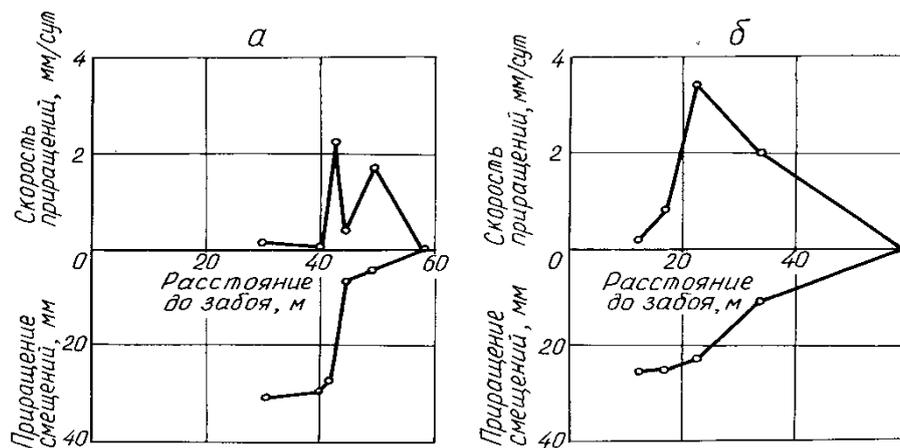


Рис. 2. Приращения смещений пород кровли в сечении вентиляционных штреков: а – №113 пл. Байкаимского ш. «Полысаевская»; б – пл. Надбайкаимского ш. «Октябрьская»

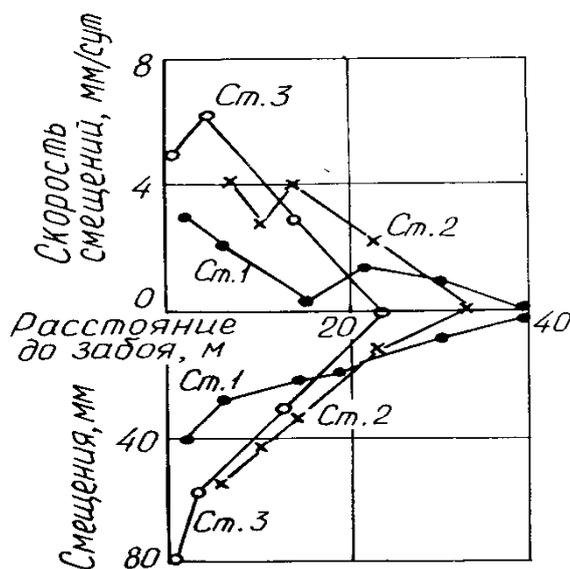


Рис. 3. График смещений пород кровли вентиляционном штреке № 66 пл. Байкаимского ш. «Полысаевская»

При данной схеме разрушения график скоростей смещений представлен менее динамичной ломаной линией, пики которой хотя и приурочены к определенным процессам, расположены хаотично, их амплитуда может различаться очень значительно.

К данной группе относятся пласты, у которых кровля хорошо разрушается и достаточно большой мощности. Рассмотрим примеры.

В шахтоуправлении «Кольчугинское» на пласте Журинском (лава 111) была применена бесцеликовая схема подготовки выемочных столбов с сохранением выработки на границе с



выработанным пространством. Конвейерный штрек закреплен деревянной рамной крепью, его охрана производилась двухрядной органной крепью.

Исследования в этой выработке показали, что впереди забоя лавы (способ охраны «массив – массив») смещения кровли весьма незначительные – 15÷40 мм (рис. 4). После прохода очистного забоя (участок «массив – обрушенные породы») отчетливо наблюдалось неравномерность сдвижений пород кровли по длине и в сечении сохраняемой выработки. Зона активного сдвижения пород составила от 40 до 80 м, при этом на смежных станциях наблюдения разница в смещениях достигала 140 мм (до 400%), а в сечении 80÷100 мм (до 80%). В 70 м за забоем высота зоны разрушения пород кровли достигает 5 метров (зафиксировано прибором расслоения кровли), при скорости смещений 0,1÷0,5 мм/сут. (зона стабилизации горного давления). С приближением забоя второй лавы активность сдвижения и разрушения пород кровли и пласта вновь возрастает, при этом зона опорного давления увеличилась в 1,5÷2 раза, а величины максимальных смещений в 4÷6 раз по сравнению со способом охраны «массив – массив».

Распределение отказов элементов крепи по всей длине выработки приведено на рис. 5. Как видно, наиболее сложным участком поддержания является зона влияния второй лавы.

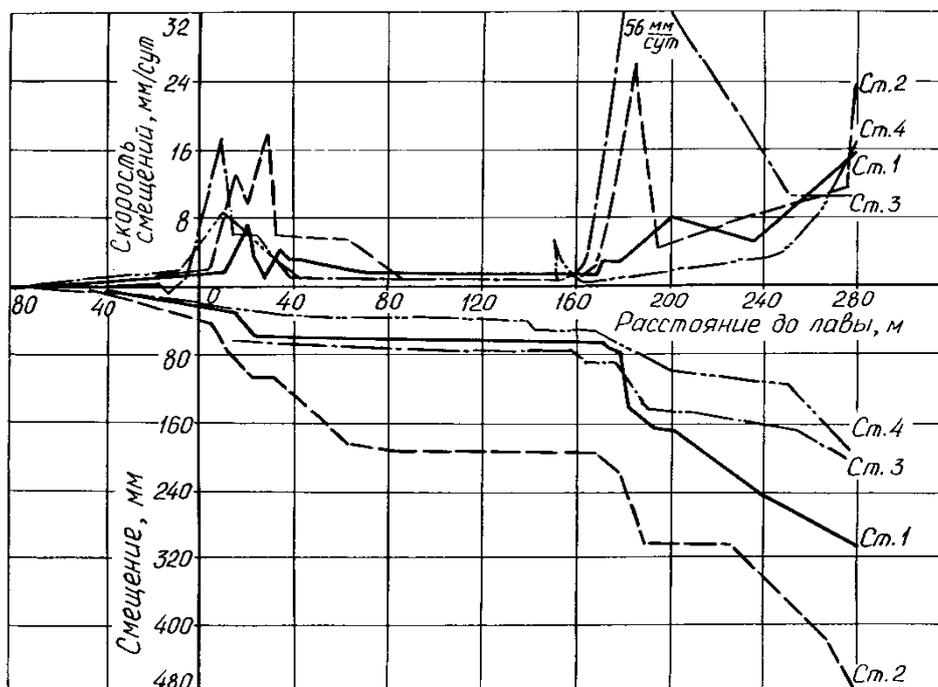


Рис. 4. Графики смещений и скоростей смещений пород кровли в конвейерном штреке № 111 пласта Журинского ш.у. «Кольчугинское»

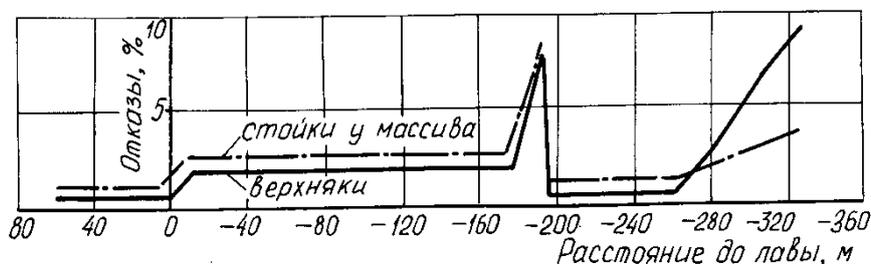


Рис. 5. Распределение поломок элементов крепи в вентиляционном штреке № 111 пласта Журинского ш.у. «Кольчугинское»

Весьма негативную реакцию массива пород кровли на вмешательство в равновесное состояние можно наблюдать на участке сохраняемого штрека в 180 м за забоем первой лавы –



резкое возрастание смещений и скоростей (до 56 мм/сут.), отказы крепи. Здесь производили расширение штрека на БВР.

Таким образом, при данной форме разрушения пород кровли смещения еще более неравномерны по длине выработки и в сечении, при этом максимум смещений зафиксирован у массива угля.

Как видно из графика (рис. 4), различие величин смещений на станциях наблюдений (т.е. по длине выработки) резко возрастает сразу после прохода первого очистного забоя, что объясняется местоположением станций под консолью основной кровли, о чем свидетельствуют разброс максимумов скоростей смещений.

С целью выяснения причин столь значительного разброса величин смещений по длине выработки в зоне влияния смежного забоя, нами были проведены дополнительные шахтные исследования в нижележащем выемочном столбе. Методика наблюдений была разработана следующая: впереди очистного забоя на четырех участках длиной по 10 м фиксировались отказы крепи в течение пяти месяцев. Установлено следующее: отказов крепи со стороны обрушенных пород не отмечалось; количество отказов крепи со стороны массива изменялось от 0 до 80% с периодичностью 115÷125 м подвигания очистного забоя.

Физико-механические параметры кровли пласта «Журинского» на данном участке: непосредственная кровля представлена алевролитом ($m = 7\div 8$ м, $\sigma = 620\div 650$ кг/см²); основная – песчаник ($m = 18\div 20$ м, $\sigma = 850\div 1000$ кг/см²).

Как видим, влияние основной кровли проявляется в данном случае при достаточно большой непосредственной кровле, что и является одной из причин разброса смещений кровли по длине выработки.

Итак, можно заключить, что форма разрушения пород кровли определяет кинематику сдвижения в сечении выработки. При зависании консоли пород максимум находится со стороны обрушенных пород (первая форма), а при разрушении пород над выработкой – у массива угля (вторая).

Проведенные шахтные наблюдения позволяют сформулировать основные эксплуатационные требования к элементной базе бесцеликсовой технологии:

- возможность изменения несущей способности крепи и сопротивления крепи без снятия распора, в ходе изменения режима эксплуатации;
- способность эффективно воспринимать неравномерное сдвижение пород в сечении и по длине выработки;
- способность воспринимать давление со стороны обрушенных пород и препятствовать разрушению краевой части угольного пласта;
- разграничить два подхода к охране выработки в зависимости от формы разрушения кровли:
 - при зависании консолей кровли применять охрану выработки целиком угля с последующей их выемкой одновременно с лавой;
 - при разрушении пород над выработкой применять способы охраны и охраняющие устройства, позволяющие удерживать разрушенные породы.

Оценка влияния топологии и параметров схем подготовки на смещения кровли выработки

Наиболее распространенной формой разрушения пород (по горно-геологическим условиям) в Кузбассе является вторая форма (около 60% шахтопластов), т.е. над выработкой находятся разрушенные породы. Поэтому поиск направлений воздействия на смещения пород через элементную базу был продолжен в этом направлении.

С целью изучения влияния схемы подготовки на смещения кровли подготовительных выработок, расположенных на границе «массив – обрушенные породы», были проведены натурные наблюдения на шахтах Ленинск-Кузнецкого и Анжеро-Судженского угольных районов. Исследования проводились в несколько этапов. Для получения достоверных



материалов горно-геологические и горнотехнические условия в сравниваемых вариантах подбирались одинаковые.

На первом этапе наблюдения проводились на пласте Журинском п.о. «Ленинскуголь» при схемах подготовки выемочных столбов: с сохранением и повторным использованием выработки (ш.у. «Кольчугинское», лава 109) и с проведением выработки «вприсечку» (ш. им. Ярославского, лава 3).

На рис. 6 приведены схемы ограждения выработок от обрушенных пород и графики смещений кровли выработок в сравниваемых вариантах. В обоих случаях выработки за лавой погашаются. Смещения пород на контуре выработки на уровне забоя лавы составили: при схеме «вприсечку» около 120 мм, а «с сохранением» – 130 мм, и соответственно скорости смещений пород: $16 \div 18$ мм/сут. и $12 \div 16$ мм/сут.

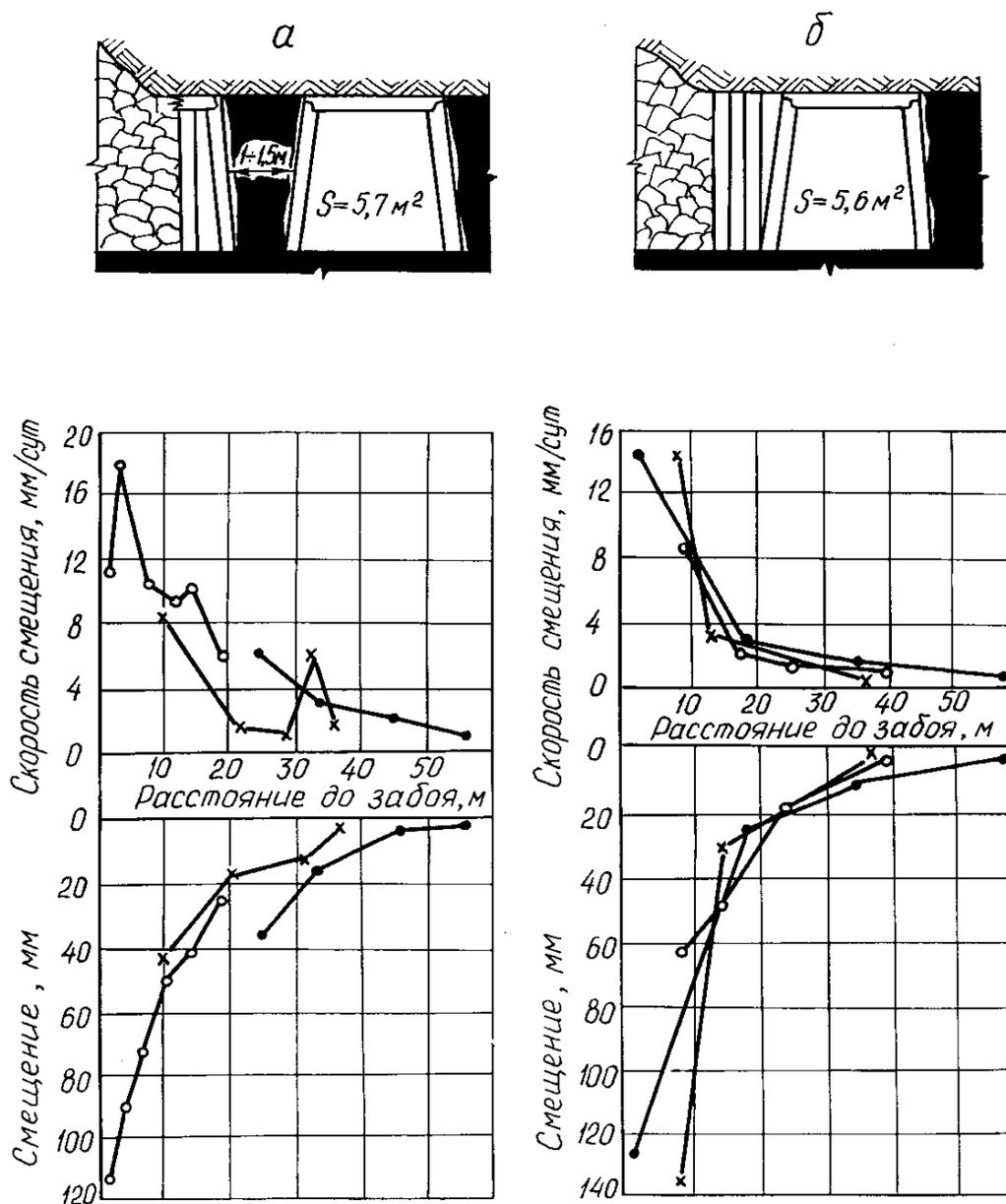


Рис. 6. Графики смещений «кровля – почва» в выработках пл. Журинского: а – при схеме «вприсечку» (ш. им. Ярославского, лава 3); б – с сохранением и повторным использованием выработки (ш.у. «Кольчугинское», лава 109)



Пикообразные всплески скоростей смещений на левом графике отражает процесс разрушения угольного целика, который сопровождается деформацией стоек со стороны выработанного пространства на участке выработки от 0 до 10 м от забоя лавы.

Таким образом, эксперимент показал, что в последний период существования выработки смещения на контуре (т.е. при отработке нижней лавы) при разных схемах подготовки (при прочих равных условиях) практически одинаковы, следовательно, можно сделать вывод: схема подготовки не оказывает существенного влияния на конечный результат смещений кровли выработки на границе «массив – обрушенные породы».

Однако возможность случайного совпадения результатов наблюдений потребовала дополнительных исследований этого вопроса. С этой целью были проведены повторные наблюдения в подготовительных выработках данного пласта. При бесцеликовых схемах подготовки выемочных столбов выделяют несколько характерных периодов существования подготовительных выработок [1, 2].

Для обоснования изложенного ввода была поставлена задача оценки значимости смещений каждого из этих периодов в полном смещении «почвы – кровли» выработки и вероятностно-статистическая оценка характера смещений пород в сравниваемых вариантах.

На рис. 4 представлены графики смещений кровли сохраняемой выработки лавы 111 пл. Журинского ш.у. «Кольчугинское». В данном случае принимались во внимание три периода, характеризующие основные изменения состояния выработки в ходе отработки пласта:

– в первый период выработка находится в массиве угля, и смещения начинаются в зоне влияния опорного давления впереди первой лавы, на уровне забоя смещения имели рассеяние от 15 до 50 мм при среднем отклонении 11,8 мм и дисперсии 263;

– второй период выработка находится в зоне активного сдвижения пород на границе «массив – выработанное пространство» за первой лавой, среднее отклонение смещений на этом участке составило 37,1 мм, а дисперсия 2638;

– третий период – смещения в зоне влияния опорного давления впереди второй лавы (100÷150 мм), они имели среднее отклонение 12,2 мм, а дисперсию 302.

Для данного исследования получен важный вывод: смещения кровли выработки, сохраняемой на границе «массив – обрушенные породы», в зоне влияния второй лавы достаточно стабильны и по параметрам d и σ^2 близки к первому периоду, что подтверждает достоверность основного вывода [8–10].

Доля каждого из названных периодов в полном смещении кровли выработки:

- первый от 5 до 10%;
- второй от 30% до 55%;
- третий от 40% до 60%.

Отметим, что третий период наиболее значительный по доле участия в полном смещении.

Изучение значимости отдельных периодов существования выработки при схеме с проведением штреков «вприсечку» к выработанному пространству, проводилось также в несколько этапов.

Во-первых, было проведена сравнительная оценка смещений кровли-почвы выработки в период её проведения: «вприсечку» и в массиве угля. На рис. 7 приведен эти графики смещений и их скоростей вентиляционного штрека 015 пласта Андреевского ш. «Судженская», из которых видно, что период затухания смещений пород при проведении выработки «вприсечку» в три раза больше, чем в массиве угля, причем в первом случае смещения полностью не прекращаются. Скорость смещений остается на уровне $0,1 \div 0,4$ мм/сут.

Дополнительные наблюдения, проведенные на этом же пласте (рис. 8), подтвердили факт не прекращающегося, медленного смещения пород в выработке, находящейся на границе с выработанным пространством вне зон влияния очистных и других работ.

Оценивая долю каждого из трех периодов в полных смещениях, получим:

- 1 – затухание смещений после проведения – $18 \div 34\%$;
- 2 – зона стабилизации смещений – $21 \div 28\%$;



3 – зона опорного давления лавы – 45÷54%,

причем в этом эксперименте смещения в зоне влияния опорного давления второй лавы имели средние отклонения и дисперсию близкие к нулю. Это еще одно подтверждение вывода о стабильности смещений в зоне влияния второй лавы и при схеме проведения выработки «вприсечку».

Кроме того, дополнительные наблюдения на пласте Журинском шахты им. Ярославского в зоне влияния очистного забоя при схеме подготовки «вприсечку», дали смещения 120-140 мм, т.е. такие же, как и в первом эксперименте.

Таким образом, и при повторных исследованиях схем подготовки в сравниваемых вариантах получены примерно равные смещения в зоне влияния второй лавы. Также установлено, что смещения кровли в этой зоне достаточно стабильны и составляют от 40 до 60% от полных. Следовательно, вывод о том, что тип схемы подготовки с проведением выработки: «вприсечку» или «с сохранением», не оказывает существенного влияния на конечный результат смещений пород кровли, подтверждается [11].

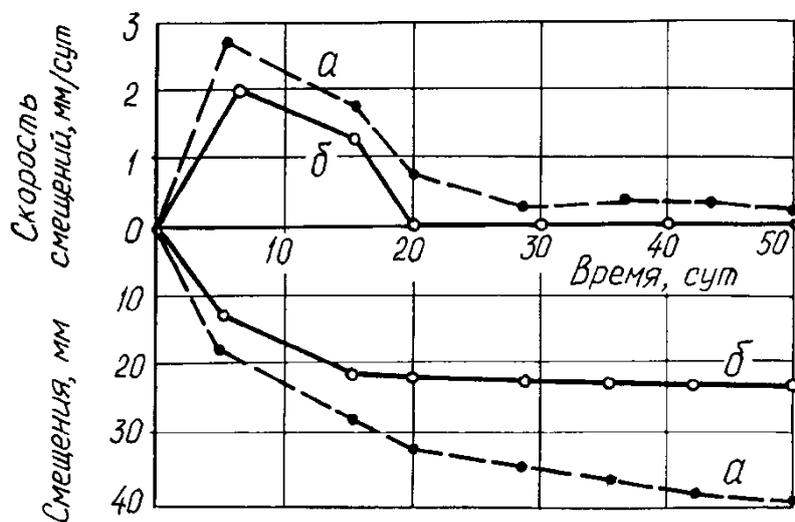


Рис. 7. Графики смещений и их скоростей кровли вентиляционного штрека 015 пл. Андреевского ш. «Судженская»: а – при схеме «вприсечку», б – в массиве угля

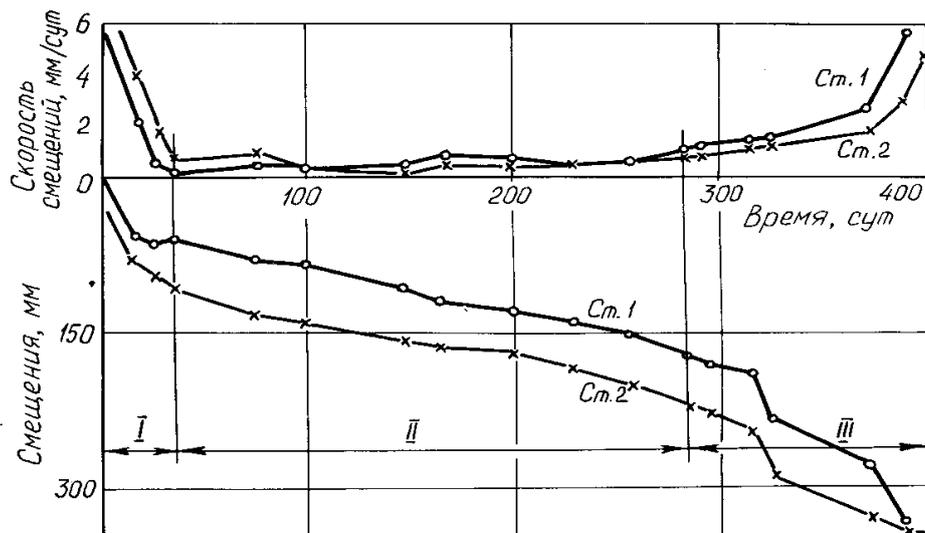


Рис. 8. Графики смещений и их скоростей кровли вентиляционного штрека 07 пл. Андреевского ш. «Физкультурник» при схеме «вприсечку»: I – затухание смещений после проведения, II – зона стабилизации смещений, III – зона опорного давления лавы



Схема подготовки с проведением выработки «вприсечку» имеет некоторые геомеханические преимущества – проведение выработки и возведение крепи происходит за зоной активного сдвижения пород, как минимум, в 70÷120 метрах от забоя лавы вышележащего выемочного столба. Эта традиционная трактовка, однако, не учитывает важный момент – доли участия в полных смещениях периода проведения выработки на границе «массив – обрушенные породы», который вносит до 34%, а доля зоны активного сдвижения пород кровли при схеме «с сохранением» составила 30÷55%, т.е. выигрыш не значительный и составляет от 15% до 20%.

Однако в равных условиях принято применять схему подготовки с сохранением и повторным использованием выработки [12, 13], т.к. это позволит снизить объём проведения подготовительных выработок и ускорить ввод в эксплуатацию очередного выемочного столба.

Проблема сохранения выработки на границе «массив – обрушенные породы» связана с вопросами выбора типа охраняющей крепи и разрушения краевой части массива пород.

Оценка влияния параметров охраняющего устройства на процесс разрушения и смещений кровли выработки

Для решения этого вопроса были проведены комплексные натурные исследования смещений массива горных пород в окрестности вентиляционного штрека 1038 пласта 10 шахты «Пионерка» п.о. «Ленинскуголь». Экспериментальный участок сохраняемой выработки разделялся по типу охраняющего устройства на три части:

1. костры в сплошную с несущей способностью $R = 15,6$ МПа и площадью контакта $S = 2$ м² на одном погонном метре;
2. двухрядная органная крепь с плотностью установки 8 стоек на 1 метр выработки ($R = 400$ МПа, $S = 0,4$ м²);
3. подхваты – 3 стойки под «однорезку» длиной 2 метра, ширина поддерживаемой площади кровли 6 метров от массива угля, расстояние между рядами подхватов 0,8 метра ($R = 133$ МПа, $S = 6$ м²).

Горно-геологическая характеристика пласта следующая: глубина ведения горных работ 300÷350 м; мощность пласта 1,95–2,2 м; угол падения

8 – 10°; в 40 м выше отработан пласт 9; непосредственная кровля представлена сильно трещиноватым, темно-серым, неустойчивым аргиллитом

$\sigma = 460$ кг/см², переслаивающимся алевролитом $\sigma = 680$ кг/см²; основная кровля расположена в 5 – 6 м от пласта и представлена мелкозернистым алевролитом мощностью до 10 м $\sigma = 700$ –850 кг/см².

Шахтные наблюдения проводились глубинными (приборы расслоения кровли проволочные и анкерные) и контурными реперами, установленными в кровлю, почву и борта конвейерного и дегазационного штреков, а также в сбойках (рис. 9).

Визуальные и инструментальные наблюдения за смещениями и характером разрушения краевой части массива в сравниваемых вариантах показали следующее.

Опускание кровли на участке, охраняемом кострами, шло равномерно. Консоль пород длиной 6–7 метров, медленно разрушаясь, ложилась на почву пласта по мере оседания завальной части костров. Перегиб кровли был расположен в одном метре от целика угля по линии костров.

На участке выработки, охраняемой двухрядной органной крепью, разрушение кровли происходило небольшими блоками, резких осадок не отмечалось. Высота обрушения пород через сутки составила 2–2,5 м, а длина зависающей над выработкой консоли 3–3,5 м (рис. 10).

В дальнейшем шло постепенное увеличение высоты свода и уменьшение длины консоли пород, разрушение кромки пласта, смятие верхняков крепи. Через 10 суток анкера, установленные в кровлю со стороны обрушенных пород, выпали из верхняков на 5÷10 см (рис. 11), что соответствовало смещению кровли 60 мм. При этом высота свода обрушения достигла 6 м, а длина консоли уменьшилась до 1 м, т.е. стала меньше ширины выработки и органная крепь осталась под обрушенными породами.



Обработка результатов эксперимента методами математической статистики позволила получить следующие зависимости, характеризующие процесс сводообразования в выработанном пространстве:

$$\begin{aligned} l &= 8,3 - 4,38 \cdot \ln t, r = 0,98; \\ h &= 4,2 + 0,52 \cdot \ln t, r = 0,86, \end{aligned} \quad (1)$$

где l – длина консоли пород кровли, м; t – время, сут.; h – высота свода, м, т.е. это «следы» поверхности обрушения «60 мм» в плоскости пласта и вертикальной плоскости.

На участке выработки с охраной подхватами заметных разрушений кровли и крепи (на поддерживаемой части) не отмечалось. Обрушение происходило по крайнему ряду сдвоенных подхватов. На этом участке детальную картину сводообразования получить не удалось.

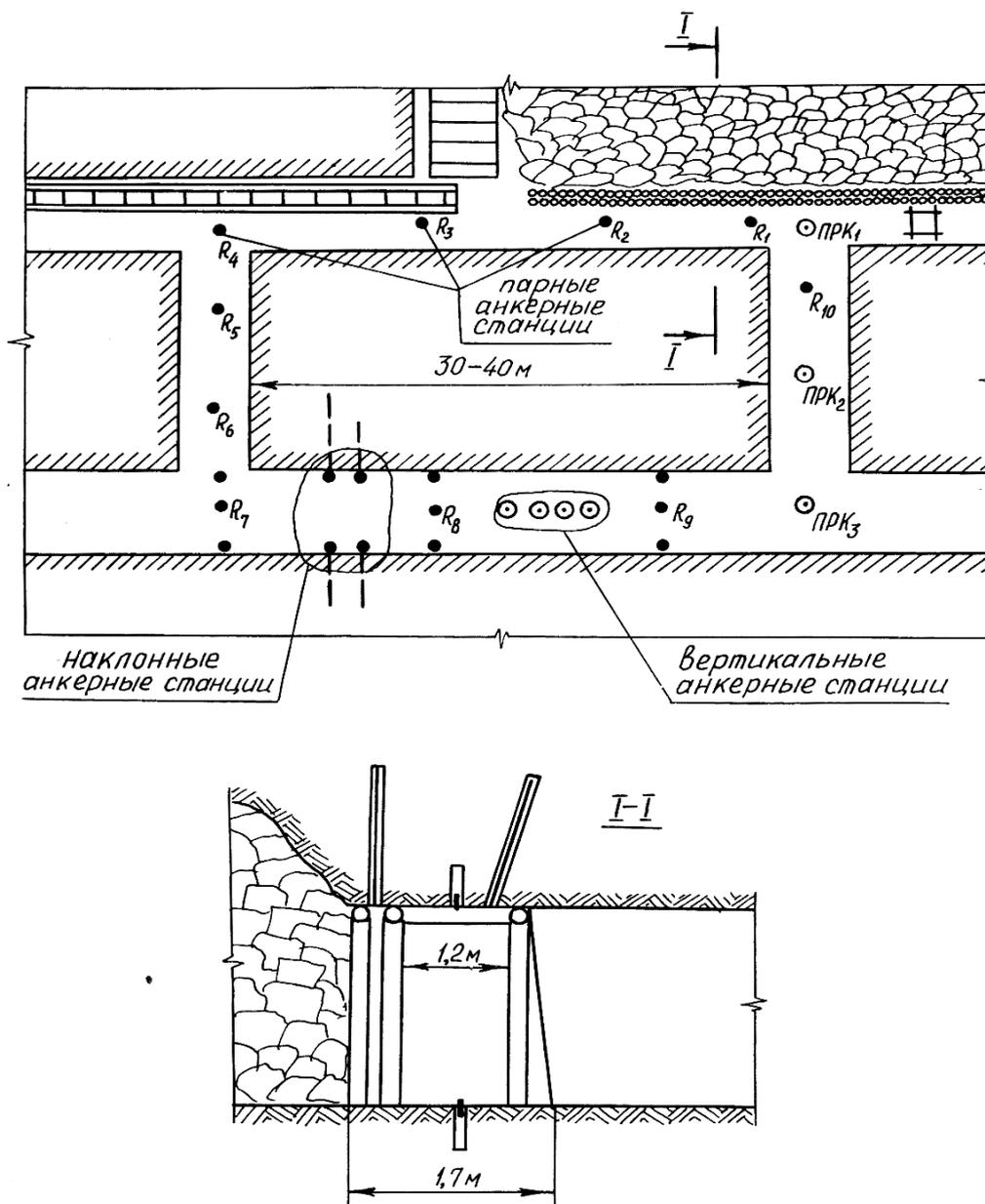


Рис. 9. Схема монтажа станций наблюдений

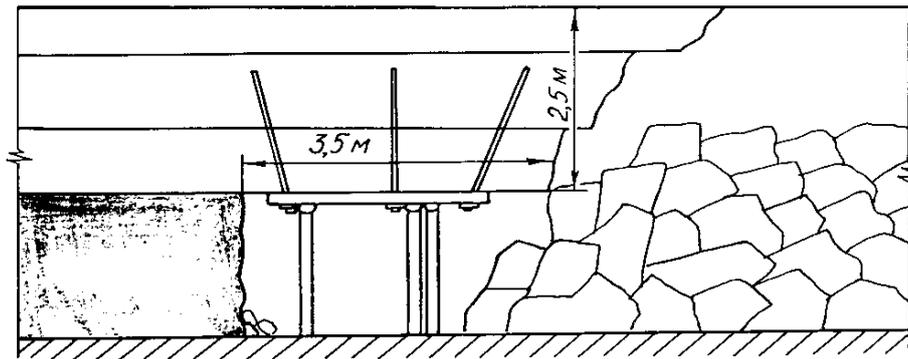


Рис. 10. Разрушение кровли над сохраняемой выработкой после прохода лавы

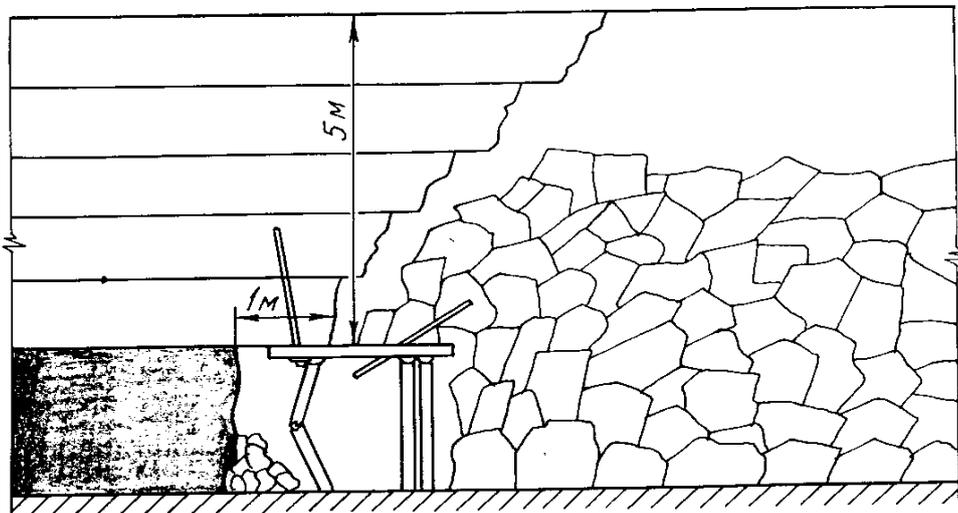


Рис. 11. Разрушение пород кровли над сохраняемой выработкой через 10 суток

О характере смещений кровли на всех трех участках и влиянии способа охраны можно судить по графикам конвергенции (рис. 12). Анализируя характер работы костровой крепи, обладающей значительной податливостью и не высокой несущей способностью, можно сказать, что костры из круглого леса (сосна, пихта, ель) не могут быть отдельным охраняющим устройством, обеспечивающим безремонтное поддержание сохраняемых выработок. Вместе с тем, необходимо отметить, именно данное сочетание параметров костров обеспечило плавное опускание кровли.

Высокая несущая способность органной крепи 400 МПа, сконцентрированная на небольшой площади $0,4 \text{ м}^2$, также не позволила эффективно воздействовать на процесс разрушения и смещений пород кровли выработки. Через 10 суток крепь оказалась в обрушенных породах (рис. 11), т.е. органная крепь при второй форме разрушения кровли (см. табл. 1), в основном, выполняет функцию ограждения от обрушенных пород.

Для изучения механизма воздействия органной крепи на породы кровли первой формы разрушения кровли, на сохраняемом участке конвейерного штрека 53 пласта «Тонкого» шахты «Анжерская», над органным рядом была вскрыта кровля выработки на высоту 2 метра (рис. 13).

Непосредственная кровля пласта представлена крепким песчаником 100–120 МПа, мощностью до 5 м, склонным к плавному опусканию. Как видно из зарисовки, органная крепь внедряется в породы кровли, образуя в ней конус мелко дробленых пород, при этом кровля по



обе стороны органного ряда продолжает опускаться. Аналогичное явление наблюдалось на пласте Кумпановском шахты «Бутовская» – металлические стойки трения «проваливались» в кровли на 100÷200 мм.

Очевидно, что в данном случае, вследствие небольшой поддерживаемой площади ОУ контактные напряжения превышают предел прочности пород кровли.

Таким образом, при применении костровой и органной крепи сдвигающиеся породы основной кровли не находят надежной опоры. Увеличение поддерживаемой площади непосредственной кровли (при охране подхватами) позволило перенести линию обрушения кровли и уменьшить смещения.

Вывод очевиден – управление смещением достигается оптимальным сочетанием несущей способности ОУ и площади кровли, на которой она распределена.

Аналогичный результат получен в «Ростовугле» К. И. Рутьковым, где расстановка двух рядов тумб из деревянно-бетонных блоков с промежутками 0,8м позволила снизить смещения кровли в 2-3 раза, по сравнению со сплошной полосой из 2-х рядов тех же тумб.

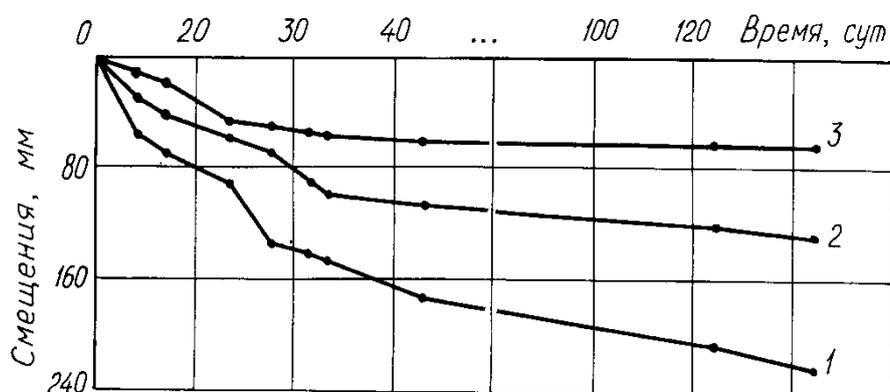


Рис. 12. Конвергенция пород сохраняемой выработки при охране:
1 – кострами, 2 – органным рядом, 3 – подхватами

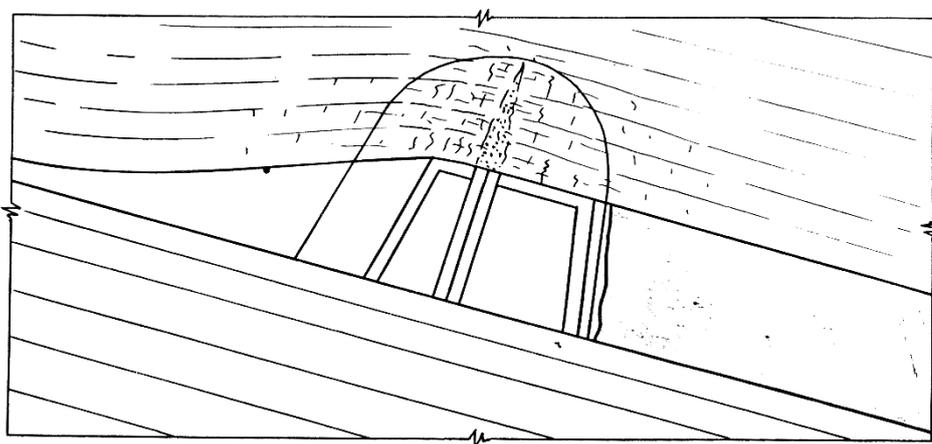


Рис. 13. Характер разрушения кровли над органным рядом

Для изменения же режима посадки кровли (обрушение или плавное опускание) необходимо включать в оптимизационные расчеты еще одну характеристику крепи – податливость устройства.

Для количественной оценки применимости типа ОУ и степени его влияния на смещения предложен критерий:

$$K_{и} = R_{оу} / S_{пк}; \quad (2)$$



Предложенный показатель включает в себя, с одной стороны несущую способность ОУ (R_{oy}) – это основная характеристика способа охраны, а с другой площадь кровли ($S_{пк}$), поддерживаемой этим устройством, т.е. интегральную характеристику, отражающую свойства кровли: прочность, устойчивость, трещиноватость и т.д.

Данный критерий, по физической сущности, представляет собой *интенсивность распределения несущей способности охраняющего устройства* (ИРНСОУ).

Обработка данных эксперимента позволила получить зависимость:

$$U = 130,2 - 0,22R_{oy} - 12,8S_{пк} + 0,7t; F = 58,7; r = 0,93, \quad (3)$$

где U – смещения кровли;

R_{oy} – несущая способность ОУ;

$S_{пк}$ – площадь кровли, поддерживаемая ОУ;

t – время.

По данным эксперимента данный параметр имеет следующие значения при охране:

– кострами $K_{1и} = 7,8$;

– подхватами $K_{2и} = 22,2$;

– органкой $K_{3и} = 1000$.

Следовательно, можно записать:

$$K_{1и} < K_{2и} < K_{3и} \quad (4)$$

$$7,8 < 22,2 < 1000.$$

Таким образом, если построить координатную плоскость « R_{oy} – $S_{пк}$ », то при значениях $K_{2и} = 22$ и его окрестности имеет место эффективное управление сдвижением пород кровли.

На основании этого можно сделать прогноз: повышение несущей способности ОУ в данных ГГУ, например, путем возведения узкой бетонной стенки, не даст положительных результатов.

Исследование процесса формирования зон разрушений и смещений пород кровли и краевой части пласта

Как правило, в композиционной структуре массива пород, пласт угля является наиболее слабым звеном, имеющим невысокие физико-механические характеристики [15–17].

Под воздействием опорного давления в выработке появляется отжим угля. При применении бесцеликовых схем подготовки выемочных столбов негативное влияние этого фактора значительно возросло, вследствие расположения верхнего сопряжения лавы на контакте с обрушенными породами. Это связано, в первую очередь, с разрушением краевой части пласта угля. С этим же явлением непосредственно связано состояние выработки, расположенной на границе «массив – выработанное пространство».

Изучение характеристик процесса формирования смещений и зон разрушений пород кровли и краевой части пласта, и понимание динамики его протекания позволяет принимать оптимальные технические решения по креплению и охране выработок.

Шахтные исследования процесса смещений и разрушения массива пород и пласта проводились в зоне активного сдвижения горных пород в сохраняемом вентиляционном и дегазационном штреках лавы 1038 пласта 10 шахты «Пионерка» п.о. «Ленинскуголь». Схема монтажа станций наблюдения приведена на рис. 9.

Зона исследуемого массива: от кромки пласта до 18 м по восстанию; высота от кровли пласта 10 м; длительность наблюдений 170 суток.

Для адекватного понимания с читателем, кратко, о методике анализа результатов экспериментов и конкретном содержании терминологии на конкретных примерах: на рис. 14 представлены графики смещений (и скоростей смещений) кровли пласта в сбойке между вентиляционным и дегазационным штреками. Построение выполнено по дням снятия отсчета с контурных реперов (каждая линия – это одновременные замеры в один день), т.е. отражена динамика процесса, протекающего в пласте угля и кровле пласта от выработанного пространства до 18 м по восстанию.

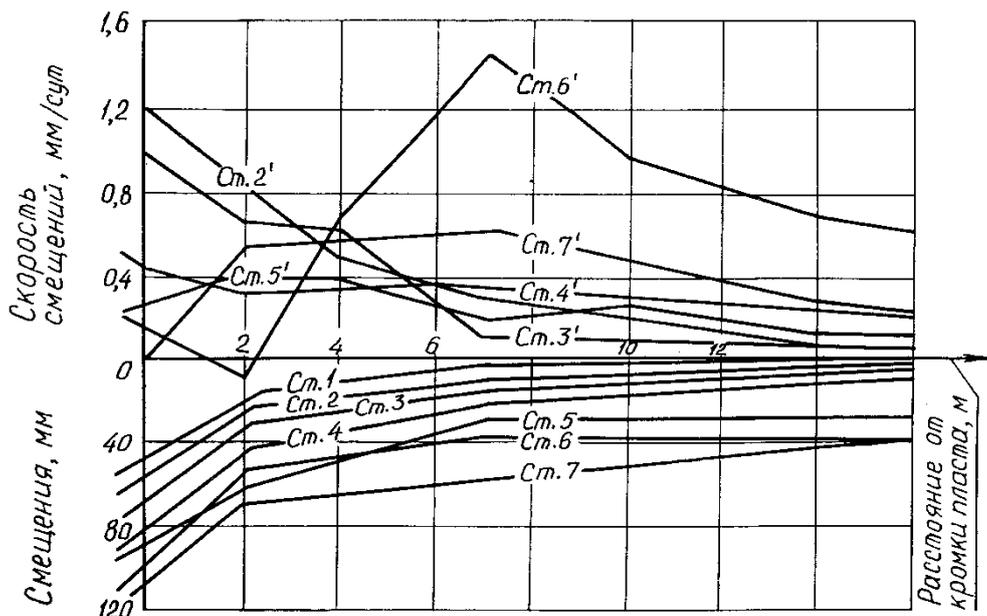


Рис. 14. Смещения пород кровли краевой части пласта 10 лавы 1038 шахты «Пионерка»

– *градиент смещений* (относительное удельное изменение смещений по зоне) по ширине первой зоны (0÷2м) в конкретный отрезок времени (0÷66 сут, рис. 14). Их величины получены следующим образом: рассматриваем линию смещений 1 (10 суток) – величины смещений на левой и правой границах 44 и 14 мм, разность смещений (по длине зоны) равна 30 мм, длина зоны 2 м, следовательно, относительное удельное изменение смещений по зоне равно 15 мм/м;

– *разность величин приращений смещений* – получена путем вычитания приращений смещений на правой границе из них же на левой (за равный промежуток времени), например: на левой границе первой зоны за 5 суток (линии 1-2) приращение смещений составило 6 мм, а на правой 4 мм, искомая величина 2 мм;

– *ускорения смещений* ($0,4 \div 0,17 \text{ мм/сут}^2$) по зоне – характеристика активности зоны на конкретном отрезке времени.

Исследование процесса формирования зон разрушений и смещений краевой части пласта

Анализ смещений и их производных показывает, что за время эксперимента исследуемый массив претерпел три характерных стадии изменения:

1. от 0 до 66 суток (после прохода лавы) – активные, затухающие смещения, захватывающие массив до 7 м в крест простирания от выработанного пространства;
2. от 66 до 123 суток – стадия стабилизации скоростей смещения по всей зоне наблюдений;
3. от 123 до 158 суток – стадия вторичной активизации смещений по всей ширине зоны наблюдения.

Правомерность данного деления этого явления хорошо просматривается на графике рис. 15, где в координатных осях «Время – Скорость смещения» нанесены скорости смещения на каждой реперной станциях, установленным в сбойке.

Первые две стадии процесса достаточно известны и отмечаются у многих исследователей. Полная картина динамики их развития в крест простирания пласта, при проведении аналитического обзора не встречалась. Третья же стадия в шахтном эксперименте зафиксирована впервые и отражает процесс перераспределения напряжений в краевой части массива пород и пласта. Роль этой стадии в вопросе сохранения выработки на границе «массив – обрушенные породы» достаточно значительна, на неё приходится до 30% от полных смещений. Анализ



процессов происходящих на этой стадии, объясняет физическую сущность утверждения «о не прекращающихся смещениях кровли в выработках, расположенных на границе «массив – обрушенные породы» (см. п. 2). Другой отличительной особенностью этой стадии является – её масштабность. На первом отрезке времени заметными смещениями охвачена зона пласта шириной от 0 до 7 метров – третья же стадия охватывает от 0 до 18 м и, видимо, более метров, при этом величины смещений и их скорости адекватны первой, параметры которой определяются активным сдвижением пород кровли после прохода лавы. Рассмотрим более подробно полученную картину.

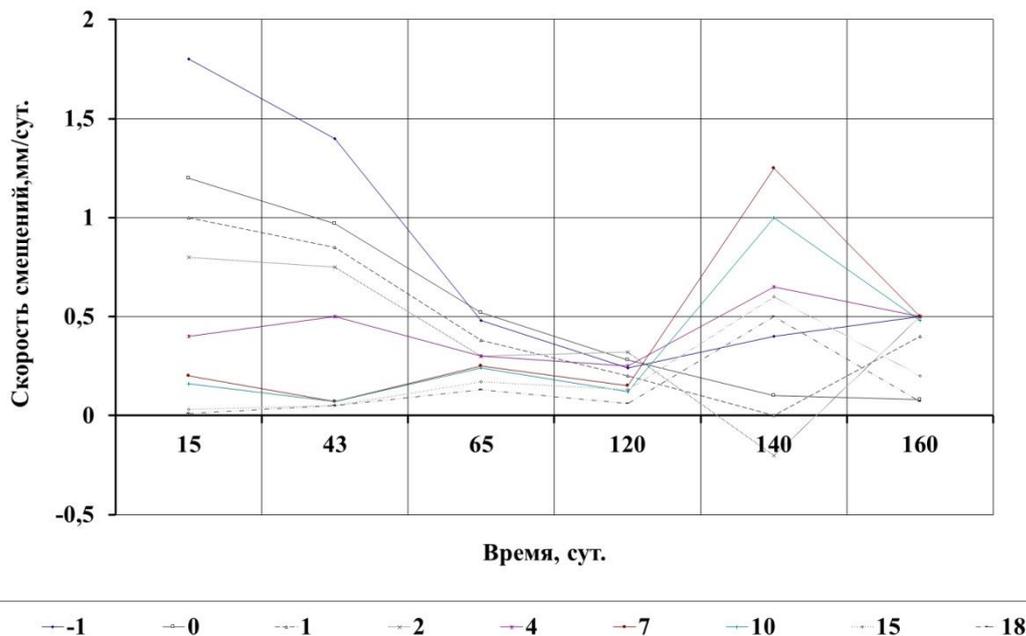


Рис. 15. Изменения скоростей смещения кровли пласта на реперных станциях: «-1»; «0»; «2»; «4»; «7»; «10»; «15»; «18» в сбойке между сохраняемой выработкой и дегазационным штреком.

Первая стадия

Анализ смещений и их скоростей показывает, что после прохода лавы и до 66 суток, линии смещений кровли 1,2,3,4 на графике (рис. 14) не меняют характера, за некоторым исключением.

В этот период можно выделить *три зоны* (от выработанного пространства вглубь массива угля по восстанию) по характеру изменений смещений и минимальной величине градиента смещений по зоне:

1. от 0 до 2 м – зона, характеризующаяся снижением скоростей смещений и градиентом смещений по зоне 16 мм/м.
2. от 2 до 7 м – интенсивные смещения с переменной величиной скоростей смещений: на границе с первой зоной сохраняются её тенденции к снижению скоростей, в районе 4 метров скорости смещения то снижаются, то возрастают, а на границе с третьей зоной – скорости только нарастают, градиент смещений в этой зоне на порядок меньше (1,6 мм/м), чем в первой зоне.
3. от 7 до 18 м – зона стабильных смещений – по всей её ширине нарастание смещений равномерно, при этом градиент смещений также значительно меньше, чем в предыдущей зоне (0,27 мм/м).

Первую и вторую зоны разделяет резкий излом линий смещений, расположенный в 2-х метрах от краевой части пласта, здесь расположен минимальный радиус изгиба кровли. Третьей зоне характерно выполаживание линии смещений, почти параллельно координатной оси «Расстояние от кромки пласта».

Интерпретация процесса изменения физического состояния массива на этом отрезке времени может быть следующей.



В первой зоне происходит равномерное, нарастающее, по всей её ширине, но снижающееся по интенсивности во времени, сжатие пласта, характеризующееся не меняющим знака, увеличивающимся во времени градиентом смещений в границах зоны (от 16 до 20 мм/м). Линия смещения мало меняет угол наклона к координатным осям, небольшая ($2 \div 5$ мм) разность величин приращений смещений и уменьшающиеся изменения ускорений смещений ($0,4 \div 0,17$ мм/сут²) на границах зоны, свидетельствуют о равномерном возрастании несущей способности угля от выработанного пространства к внутренней границе этой зоны, к которой приурочен минимальный радиус изгиба.

Данным характеристикам соответствует состояние разрушенного пласта угля [18]. Можно заключить: первая зона от 0 до 2 м зона полностью разрушенного угля с признаками сыпучей среды. Это заключение соответствует и визуальным наблюдениям: отжим в сохраняемой выработке, в виде полного отделения угля от кровли, составил около 1,0 м от места кромки пласта.

Вторая зона ($2 \div 7$ м) также охвачена сжатием пласта, но с другими характеристиками:

– градиент смещений по длине зоны до 43 суток (линии 1,2,3) нарастает от 1,6 до 5 мм/м, а затем снижается до 4,6 мм/м (линия 4);

– линия смещений с течением времени меняет угол наклона к оси абсцисс: до 43 суток (острый угол) увеличивается (за счет увеличения приращений смещений от 0,4 до 0,54 мм), это вызвано большей величиной ускорений смещений на левой границе зоны $0,8 \div 0,64$ мм/сут² (1–2 и 2–3 линии), а на правой от 0,4 до 0,1 мм/сут², заметим, что это происходит на фоне снижения величин данного параметра, т.е. нарастает сопротивление пласта углю сдвигению кровли, особенно, на правой границе. В следующий отрезок времени (линия 4) происходит возрастание ускорений смещений на правой границе зоны до $0,35$ мм/сут² при падении её на левой до $0,26$ мм/сут², что ведет к выполаживанию линии смещений 4 и выравниванию степени сжатия пласта по всей зоне. Просматривается тенденция массива к перемещению минимального радиуса кривизны с левой границы зоны на правую – разрушающийся массив пород кровли «ищет» опору [19, 20].

Очевидно, что вторая зона является активным демпферным участком пласта, между разрушенной (1 зона) частью пласта и нетронутой (3 зона), с сохранившей, в данный отрезок времени, несущую способность, на которой реализуется энергия разрушающегося массива пород кровли.

Заметим, что внутренняя граница этой зоны совпадает с шириной поддерживаемого участка выработки, охраняемого подхватами, следствием чего и явилось минимальное смещение кровли сохраняемой выработки.

Таким образом, краевая часть пласта и, в частности, активная демпферная зона является естественным показателем необходимых параметров охраняющего устройства, подробнее на этом остановимся ниже.

Третья зона характеризуется на данном отрезке времени небольшими по величине смещениями по всей ширине зоны, с отражением на левой границе процессов второй зоны. Линии смещений 1, 2, 3, 4 в этой зоне, практически параллельны оси абсцисс. Интересным моментом здесь явился факт увеличения скорости смещений на отрезке времени от 15 до 43 суток: (линии 2–3) – на правой границе $0,18$ мм/сут при величине этого параметра на левой – $0,1$ мм/сут.

Объяснение этому может быть в проявлении волновых свойств горного давления.

В эксперименте зафиксирована часть волны, предположительно, около одной четверти и её длина 11 метров, следовательно, полная волна имеет длину около 44 м.

Таким образом, в этой зоне пласт находится в равномерно сжатом состоянии (смещения на левой границе 19 мм и на правой 11 мм). Очевидно, что уголь пласта в зоне на данном отрезке времени неразрушен.

Для анализа результатов эксперимента удобно сохранить предложенную градацию кромки пласта на три зоны и на остальные временные периоды (стадии).

Вторая стадия от 66 до 123 суток (линии 4–5) – условно обозначена «стадией стабилизации смещений». Его отличительной особенностью, по сравнению с другими стадиями, являются:



небольшие по величине скорости смещений и их выравнивание по всей ширине зоны наблюдения от выработанного пространства (0,4 мм/сут) до дегазационного штрека (0,22 мм/сут); перемещение минимального радиуса линии смещений на отметку 7 метров от кромки пласта.

Рассмотрим ситуацию в *первой зоне*:

– линия смещений 5 выполаживается за счет большей скорости приращений смещений на правой границе зоны (0,16–0,36 мм/сут), угол наклона минимальный за все время наблюдений;

– смещения на правой границе зоны достигли 60 мм – это, согласно наблюдениям в сохраняемой выработке та ориентировочная величина смещений при которой формируется и движется свободная поверхность обрушения пород кровли – свод;

– градиент смещений в зоне снизился с 20,5 мм/м до 16 мм/м, это подтверждает правильность вывода того, что и над правой границей зоны находятся разрушенные породы.

Следовательно, возрастание смещений на правой границе зоны происходило за счет увеличения объема пород кровли при его разрушении.

Вторая зона второй стадии характеризуется следующими параметрами:

– линия смещений увеличивает угол наклона за счет большей скорости приращений (ускорения) смещений на левой границе зоны (0,16 мм/сут²), чем на правой (0,09 мм/сут²), угол наклона максимальный за все время наблюдений;

– величины смещений на левой границе 60 мм, на правой 24 мм, градиент смещений в зоне возрос от 4,6 мм/м до 7,2 мм/м и минимальный радиус изгиба линии смещений кровли переместился на отметку 7 м.

Т.е., в зоне продолжалось сжатие пласта угля, но пласт на правой границе не потерял несущую способность – она возросла, т.к. скорость приращений смещений на правой границе зоны уменьшилась с 0,35 до 0,09 мм/сут², по сравнению предыдущем периодом. Как отмечалось выше, разрушение пород кровли достигло левой границы зоны – 2 м от кромки пласта, уголь же здесь также разрушен.

Сейчас можно сделать вывод: в данных ГГУ при росте градиента смещений, от кромки в глубь массива, в диапазоне от 5 мм/м до 7,2 мм/м происходит движение линии разрушения пород кровли.

Третью зону второй стадии разделим на два участка:

Первый от 7 до 15 м и второй от 15 до 18 м, т.к. характеристики последнего отличаются по своим параметрам.

На первом участке происходит выполаживание линии смещений за счет увеличения приращений смещений на его правой границе 10 мм (на левой 7 мм) т.е. возросла скорость приращений смещений с 0,13 мм/сут (линия 4) до 0,18 мм/сут, а на левой границе снизилась с 0,35 до 0,09 мм/сут. Градиент смещений по длине зоны снизился с 0,73 до 0,25 мм/м. Произошло выравнивание степени сжатия пласта по длине всего участка – полные смещения на границах: 24 мм и 22 мм.

Обратим внимание на отметку «7 м» от кромки пласта – границу второй и третьей зон и величину смещений в ней – 24 мм: слева и справа от неё происходит увеличение ускорений смещений, а на этой отметке – снижается. Очевидно, в области этой точки достигнут определенный предел напряженного состояния пласта угля, который можно охарактеризовать величиной смещений кровли «24 мм» или относительной деформацией 0,012% от мощности пласта. На левой границе второй зоны смещения нарастают вследствие увеличения объема разрушенных пород кровли над разрушенным углем, а на правой границе первого участка третьей зоны потому, что не достигнуто предельное состояние сжатия пласта – пласт не разрушен.

Второй участок третьей зоны отличается от предыдущего увеличением угла наклона линии смещений за счет в два раза меньшей ускорений смещений на правой границе 0,09 мм/сут за равные промежутки времени, при этом градиент смещений по зоне резко возрос от 0,33 до 2 мм/м. Т.о. величина относительного удельного изменения смещений по зоне оказалась в пределах варьирования этого параметра второй зоны первого периода – «демпферного» участка



пласта. Следовательно, правая граница «демпферного» участка переместилась на длину 3 зоны – 11 м, т. е. на предполагаемую «четверть» волны горного давления.

Третья стадия

Проанализируем поведение массива на последнем временном отрезке эксперимента 123÷158 суток (линии 5, 6, 7) в тех же трех зонах.

Итак, состояние *первой зоны* на начало *третьей стадии*:

- пласт угля разрушен в первой и второй зонах и адекватен сыпучей среде;
- непосредственная кровля также разрушена, и ее физическое состояние может также оцениваться как сыпучая среда.

Видимо, только этим можно объяснить изменения произошедшие в поведении кромки пласта и кровли на следующем отрезке времени (123–143 суток): линия смещений 6 (первая зона 0–7м) резко увеличила угол наклона к оси абсцисс, повернувшись против часовой стрелки. На левой границе приращение смещений составило 5 мм, а на правой 5 мм – уменьшилось на столько же, т.е. произошло поднятие кровли и увеличение мощности пласта на правой границе зоны.

Это могло произойти трех в случаях:

- если кровля пласта разрушена (т.е. есть возможность перемещаться вверх) и блок кровли над зоной развернут силой, действующей со стороны разрушенного пласта. Возможность такого развития событий отмечается в расчетах Стажевского С.Б.[3];
- развернут силой действующей со стороны кровли – этот аспект подробнее будет рассмотрен ниже при синхронном анализе процессов происходящих над пластом;
- самый реальный вариант интерпретации этого явления – это интегральный результат воздействия обоих факторов.

После разрушения пласта кровля находится в состоянии растяжения – т.е. разрушается с расширением и перемещением пород также в сторону выработанного пространства.

Причину, вызвавшую поднятие кровли, попытаемся установить ниже при совместном анализе процесса смещений в зонах пласта и кровли.

Минимальный радиус изгиба линии смещений вновь переместился на отметку 2 м. Градиент смещений по ширине зоны возрос с 16,5 мм/м до 21,5 мм/м.

Затем (линия 7, промежуток 143÷158 сут.) на левой границе скорость приращений смещений замедляется с 0,5 мм/сут до 0,13 мм/сут., а на правой возрастает с 0,5 мм/сут. до 0,532 мм/сут. и линия смещений обретает прежний угол наклона, продолжается опускание кровли и сжатие разрушенного угля. Градиент смещений по ширине зоны снизился до 18,5 мм/м.

Исходное состояние *второй зоны*:

- линия смещений 5 имеет максимальные: угол наклона к оси абсцисс; градиент смещений по длине зоны 7,2 мм/м; разность приращений смещений на границах 36 мм. Минимальный радиус изгиба линии смещений кровли на правой границе зоны;
- на левой границе пласт угля и кровля в разрушенном состоянии, на правой – пласт оказывает нарастающее сопротивление сжатию. Здесь отмечается резкое снижение скорости приращения смещения до 0,09 мм/сут. (минимальная величина за время наблюдений), смещения на границе, соответствующие критическому состоянию 24 мм. В смежной с правой границей, третьей зоне, нет изломов линии смещения, не наблюдается всплесков скоростей смещений – данным характеристикам может соответствовать только пласт в не разрушенном состоянии.

В зоне, на исследуемом отрезке времени, видна тенденция массива к выполаживанию линии смещения (выравнивание несущей способности пласта): величина относительного удельного изменения смещений по зоне в начале снижается почти в два раза 3,4 мм/м (линия 6), а затем до 1 мм/м (линия 7). Заметим, что смещения «60 мм» (смещения разрушения) находятся в окрестности отметки 5 м от кромки пласта (линия 7).

Одновременно с поднятием кровли на левой границе, на правой скорость смещений резко возрастает до максимальных значений (линия 6') на всей ширине наблюдаемого массива. Линия 6' принимает очертания близкие к виду известной кривой распределения опорного давления в краевой части пласта. Приращения смещений на правой границе составляют 14 мм (линия 6) и 20 мм (линия 7) – также максимальные.



Произошло резкое оседание кровли над местом минимального радиуса изгиба линии смещений и максимального сопротивления оседанию кровли. Это может произойти в случаях: резкого изменения несущей способности пласта – его разрушения; или превышения предела текучести непосредственной почвы пласта или при участии обоих факторов.

Следовательно, величина смещения «24 мм» характеризует предел несущей способности пласта угля или предел текучести непосредственной почвы пласта.

Исходное состояние массива кровли и пласта в *третьей зоне* то же, что и на правой границе второй зоны.

Изменения в поведении массива в третьей зоне произошедшие за 10 суток (линии 5–6) также те же, что на ее левой границе (она же правая для второй зоны). По всей ширине зоны произошло оседание массива кровли на 14÷12 мм, сохранив величину относительного удельного изменения смещений по зоне 2 мм/м и превысив величину смещений «24 мм». Т.е. пласт угля разрушен по всей ширине 3 зоны.

Теперь становится понятным явление поднятия кровли на правой границе 1 зоны – разрушение пласта угля на 15 м вызвало перемещение его в сторону выработанного пространства, т.к. усилие возникающее при выдавливании почвы пласта не могло поднять кровлю через двухметровый слой разрушенного угля – энергия будет в этом случае диссипироваться.

На следующем временном отрезке (линии 6–7) третью зону вновь будем рассматривать по участкам.

На первом участке третьей зоны (7–11 м) линия смещений увеличивает угол наклона за счет значительной скорости смещения на левой границы 1,3 мм/сут., сохранившейся с предыдущего периода, и резкого снижения ее на правой с 1,2 мм/сут до 0,27 мм/сут.

Т.е. это произошло вследствие снижения несущей способности разрушенного угля в этой области из-за перемещения его во вторую зону – на участок с более низкой несущей способностью, где произошло ее повышение.

Величина относительного удельного изменения смещений по участку возросла с 0,5 мм/м до 2,5 мм/м и, заметим, что по величине уже попадает в диапазон «демпферного» участка.

Рассмотрим второй участок этой зоны:

– линия смещений вновь увеличила угол наклона к оси абсцисс за счет снижения приращений смещений с 12 мм (линия 6) до 2 мм (линия 7) и скорости смещений на правой границе с 1,2 мм/сут до 0,13 мм/сут., при нескольких больших величинах этих же параметров на левой;

– величина относительного удельного изменения смещений по участку увеличилась и составила 2,7 мм/м, т.е. по величине этот участок так же находится в новой «демпферной» зоне.

Таким образом, на правой границе вновь нарастает несущая способность пласта угля.

На основании данного анализа сейчас можно утверждать, что если пласт в зоне находится в однородном состоянии (разрушенном или «упругом»), то линии смещения незначительно меняют угол наклона – идут параллельно и наоборот, если происходят резкие изменения: ускорения смещений кровли в пределах зоны меняют знак – участок пласта находится в переходном состоянии. При чем массив стремится выровнять линию смещения – сопротивление сжатию пласта по зоне, это соответствует выводам лабораторных исследований образцов угля на трехосное сжатие, проведенных Я. Фармером [4].

При этом в каждой зоне величина относительного удельного изменения смещений по зоне изменяется в пределах определенного интервала, которая может служить критерием оценки состояния пласта и кровли.

По данным эксперимента краевая часть пласта угля (от 0 до 18 м) имеет три характерных зоны по минимальной величине относительного удельного изменения смещений:

– от 15 до 21,5 мм/м – зона разрушенного пласта угля и кровли;
– от 1,6 до 7,2 мм/м – зона переходного состояния пласта и кровли от «упругого» к разрушенному, второй характеристикой этого участка является смена знака ускорения смещений кровли, третий признак – минимальный радиус изгиба кровли и его перемещение по зоне в результате демпферного процесса в массиве угольного пласта;



- от 0,27 до 0,88 мм/м – зона «упругого» деформирования пласта.

Исследование процесса формирования зон разрушений и смещений кровли пласта

Наблюдения за сдвижением и разрушением пород кровли производились приборами расслоения кровли (ПРК) с реперами, установленными на глубины (от кровли пласта): 2, 6, 8 м. В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие зависимости, отражающие исследуемый процесс:

- смещения глубинных реперов и их скорости (рис. 16, а, б);
- среднесуточные приращения смещений (рис. 17, а, б);
- относительные деформации слоёв кровли в процентах к мощности слоя (рис. 18);
- аппроксимированные поверхности равных смещений «60» и «24» (рис. 19);
- линии равных смещений точек массива на высотах от пласта 0-2-6-8м (рис. 20, а, б, в, г).

Данные материалы, а также ряд других, не приведенных в работе, анализировались в разных масштабах и координатах.

В общем виде сдвижения и разрушения пород кровли представляют волновой процесс, распространяющийся от границ выработанного пространства в массив. Это явление иллюстрируется на рис. 18, 19 чередованием волн сжатия-растяжения, а также на графиках 17, а, б.

Причем на одном временном отрезке, по мере удаления от пласта, амплитуда уменьшается при той же длине волны, которая, в свою очередь, связана с активностью геомеханических процессов этого периода.

Для детального изучения процесса формирования зон разрушения и полей смещений, по данным эксперимента были построены изолинии равных смещений массива кровли на высоте от кровли пласта 2 м, 4 м, 6 м.

Соединяя точки массива с равными величинами смещений и аппроксимируя эти данные уравнением вида:

$$f(x,y) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N a_{ij} x_i y_j \quad (5)$$

получены поверхности равных смещений (ПРС) (рис. 19),

где z – координата, перпендикулярная плоскости пласта; x – координата, направленная по простиранию; y – координата по восстанию; начало координат соответствует положению очистного забоя.

Как было отмечено выше, при смещениях 60 мм в массиве пород происходит разрушение, т.е. поверхность «60 мм» можно рассматривать как поверхность разрушения пород кровли (поверхность свода) [22].

На кромке пласта (рис. 15) критическая отметка «60мм» перемещается от пласта к поверхности со следующими параметрами: на высоте от пласта 0÷2 м – 8,7 см/сут; 2÷6 м – 14,8 см /сут; 6÷8 м – 1,5 см/сут.

Петрографический состав кровли пласта: от 0 до 5 м – аргиллит; от 5 до 8 м – алевролит с тонкими прослойками аргиллита.

Анализ результатов смещений глубинных реперов и их приращений позволил выделить три стадии развития процесса смещений и связанных с ними зон разрушения:

1. Первая – *обратимые смещения* (деформации) – соответствуют переменным по величине приращениям смещений в диапазоне $\pm 0,011\%$ от мощности пласта, эта ситуация отмечена в кровле на высоте трех мощностей пласта и выше, 18 метров от выработанного пространства и до 40 м от линии очистного забоя (38 суток).

2. Вторая – *необратимые смещения* характеризуются положительными градиентами смещений, нарастающими до величины 0,03% от мощности пласта, при которой сформировалась зона разрушенных пород от 38 суток и далее.



3. Третья – *смещения разрушенных пород*, которые характеризуются перемещениями разрушенных пород по нормали и падению пласта в сторону выработанного пространства. В пространстве массива эти смещения отделены поверхностью «б0».

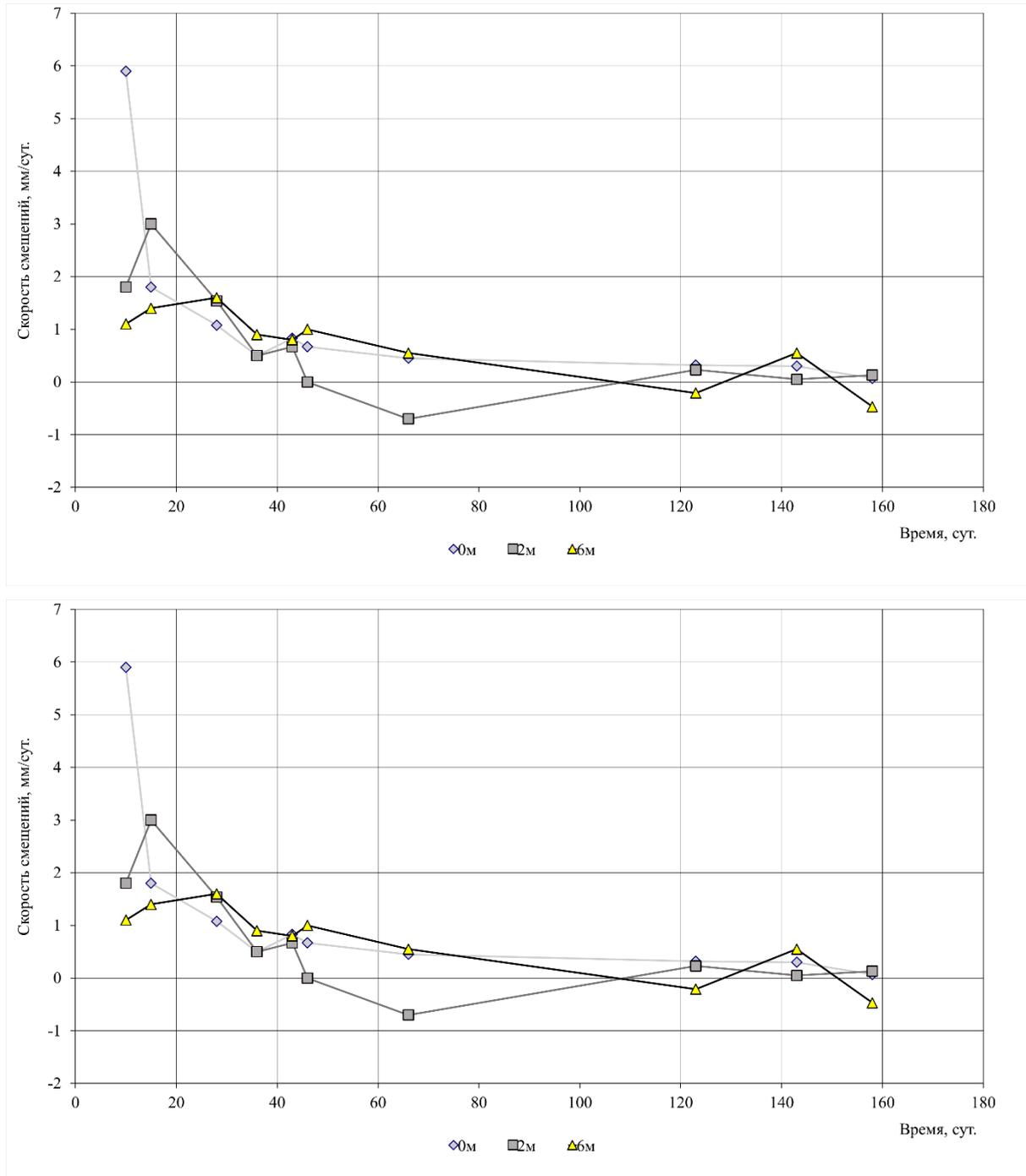


Рис. 16 а. Смещения и скорости смещения слоев кровли над краевой частью пласта

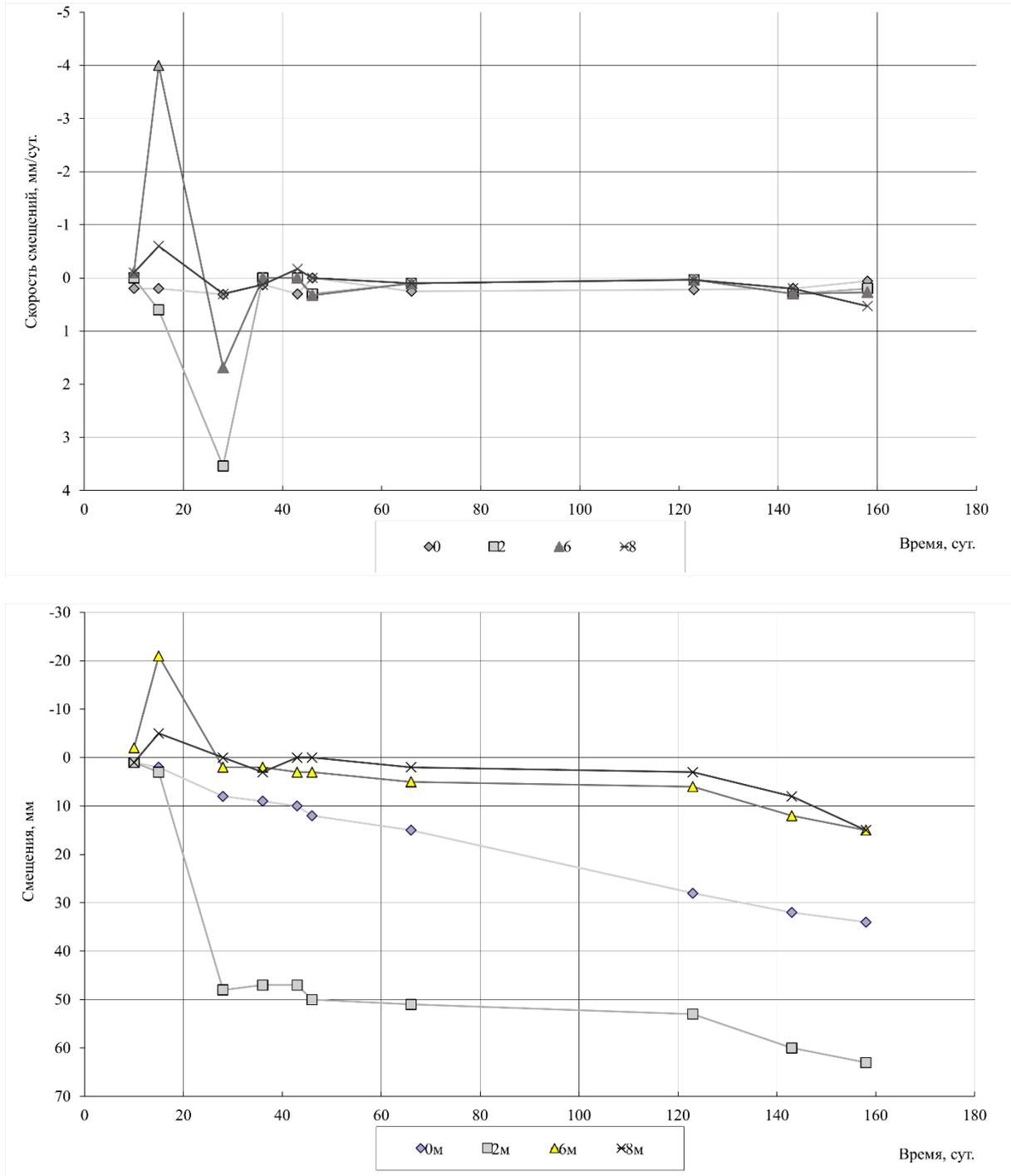


Рис. 16 б. Смещения слоев кровли над дегазационным штреком, в 18 м от кромки пласта

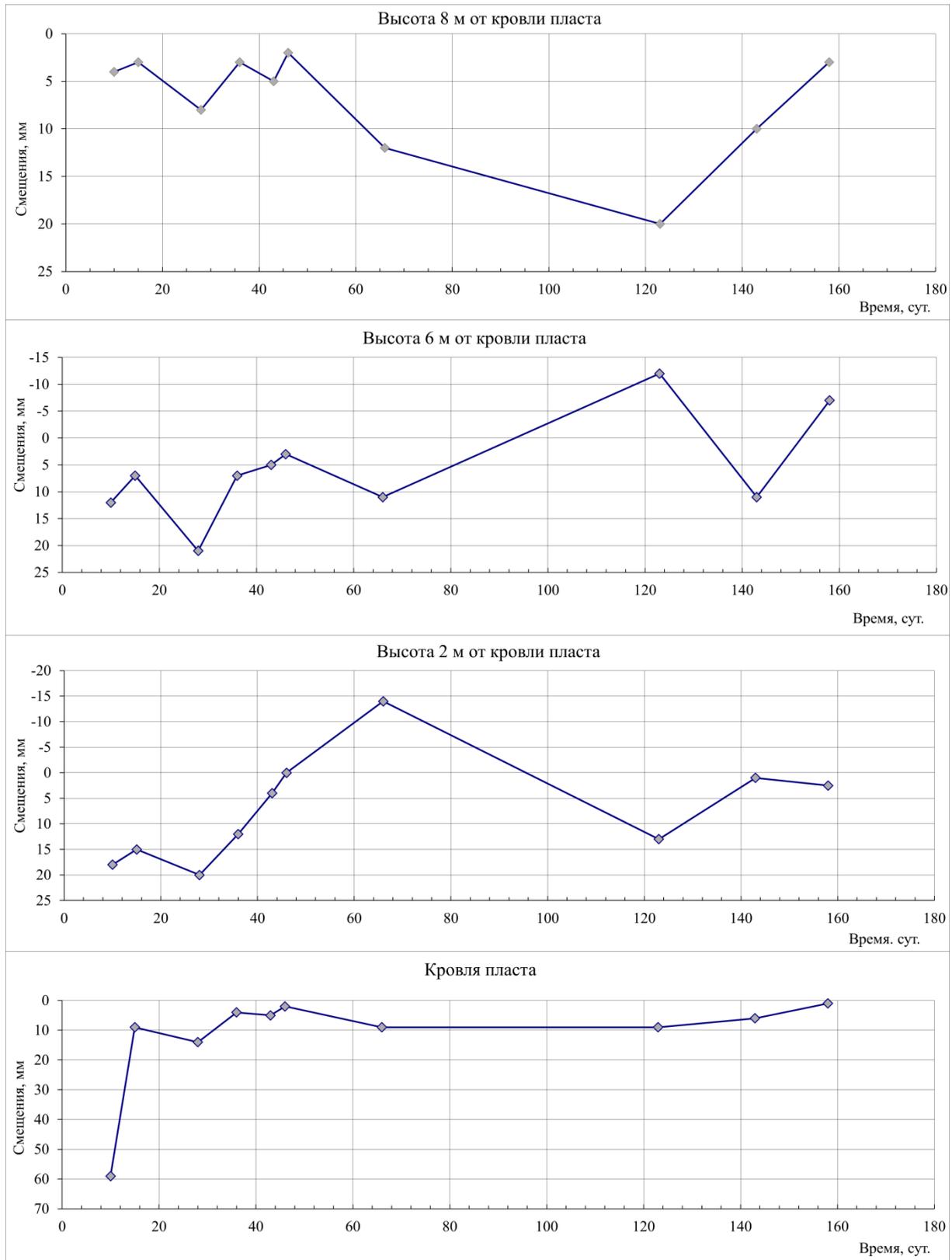


Рис. 17 а. Среднесуточные приращения смещений в массиве кровли сохраняемой выработки на кромке пласта

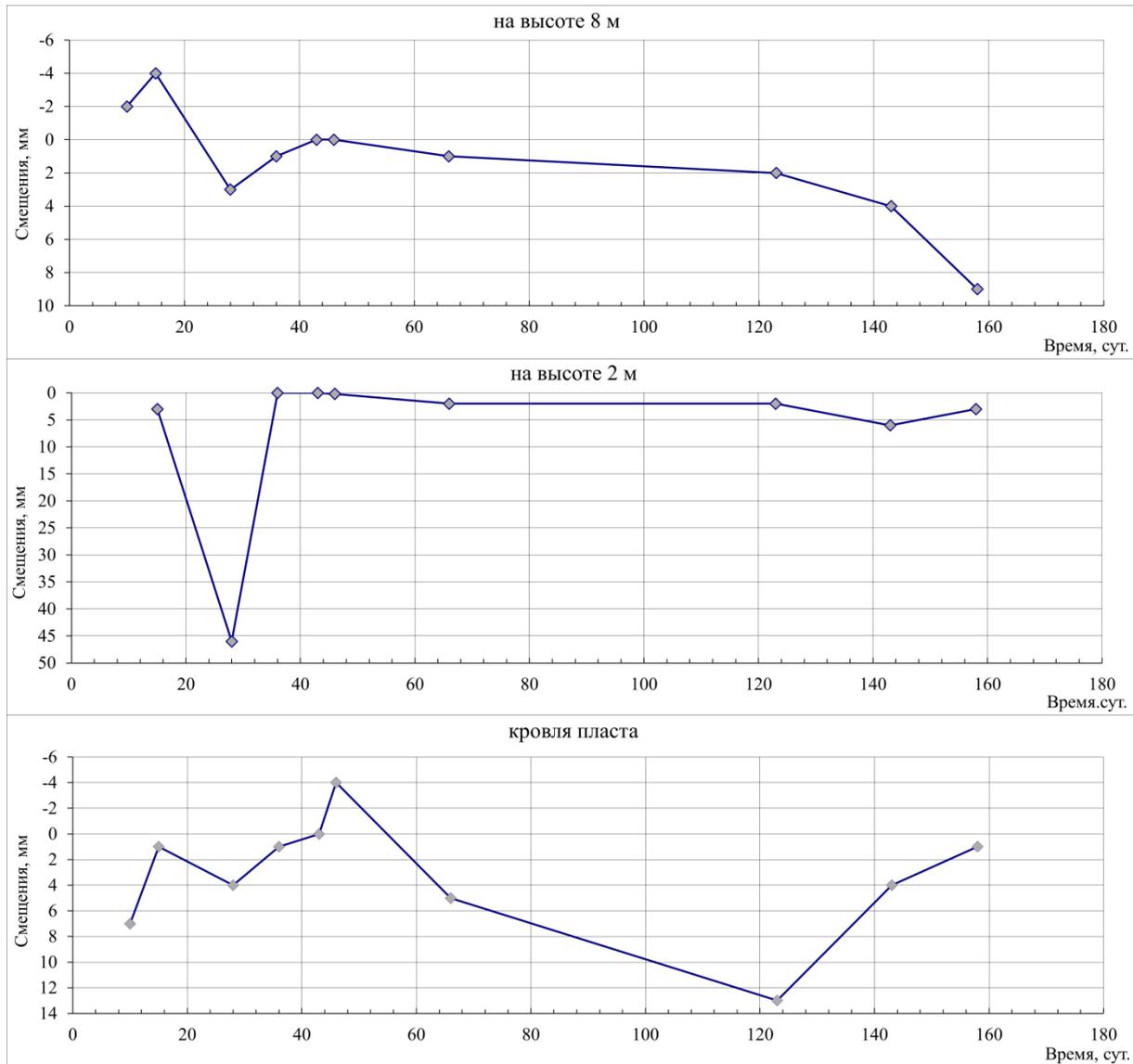


Рис. 17 б. Среднесуточные приращения смещений массива кровли над дегазационным штреком (18 м от кромки)

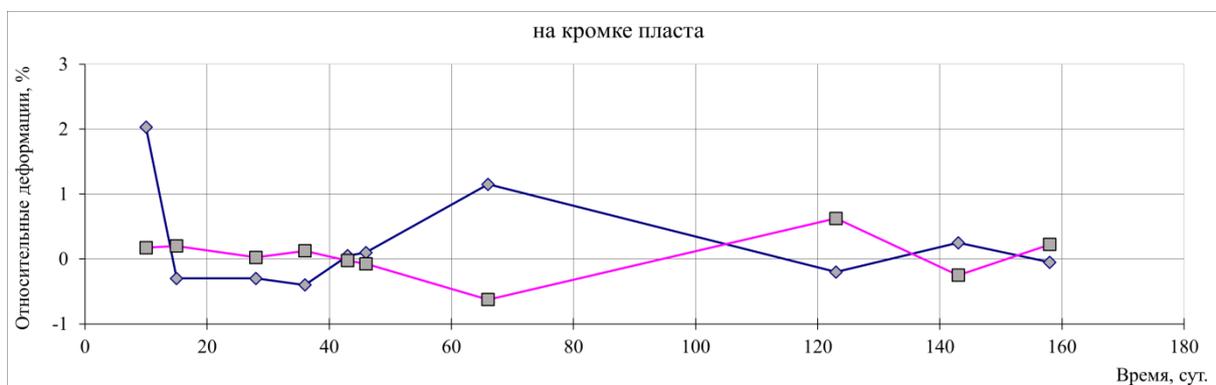


Рис. 18. Относительные деформации слоёв кровли в процентах к мощности слоя



ПРС-60 в вертикальном сечении, направленном по восстанию, в начальный период имеет форму близкую к параболе с вершиной, расположенной в 1,5-2 м от пласта, и верхней ветвью, уходящей к земной поверхности под углом близким к углу полного сдвижения. ПРС-24 и другие, представляют собой поверхности волнового характера с переменной длиной волны и амплитудой.

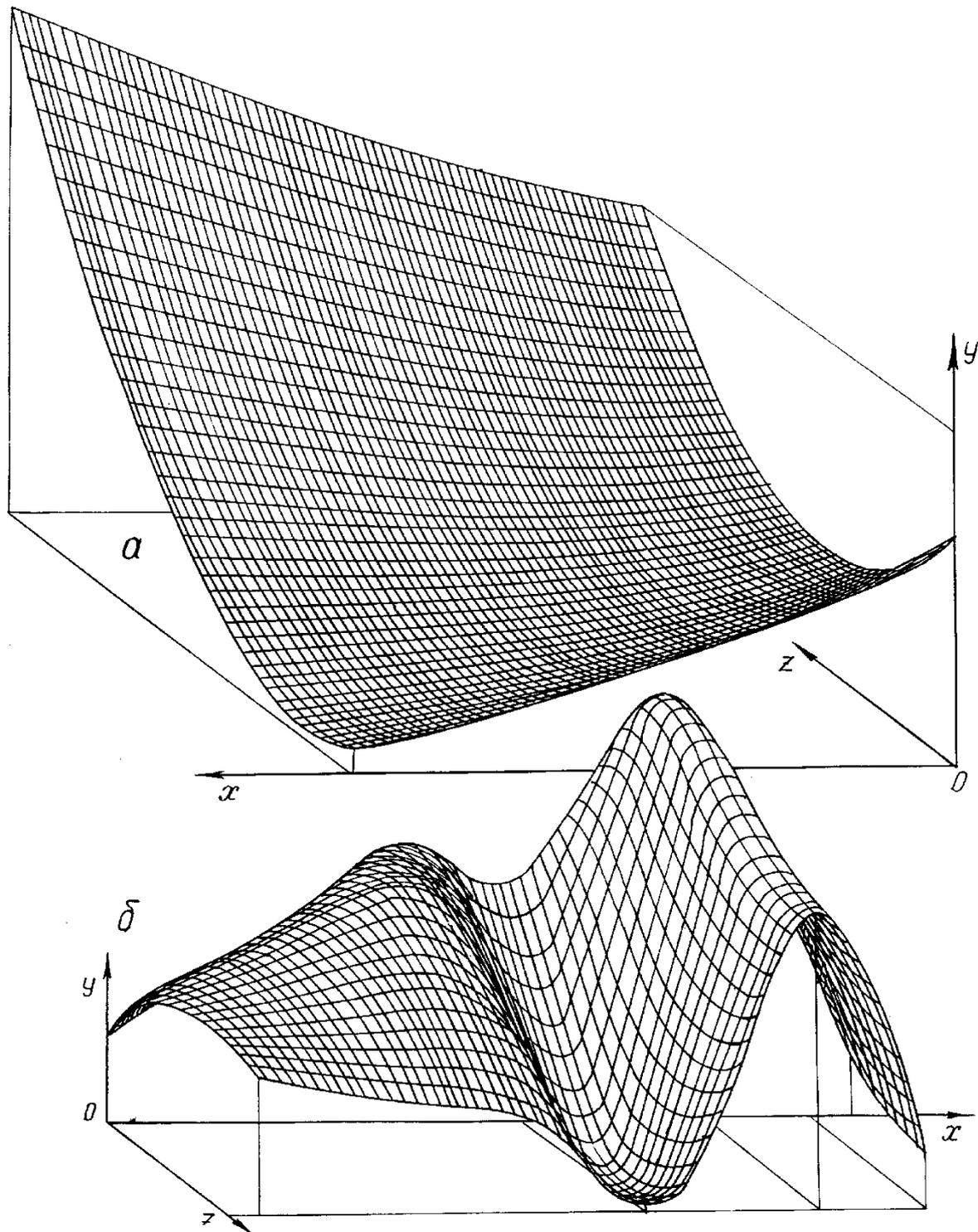


Рис. 19. Поверхности равных смещений массива пород кровли: а – 60 мм; б – 24 мм

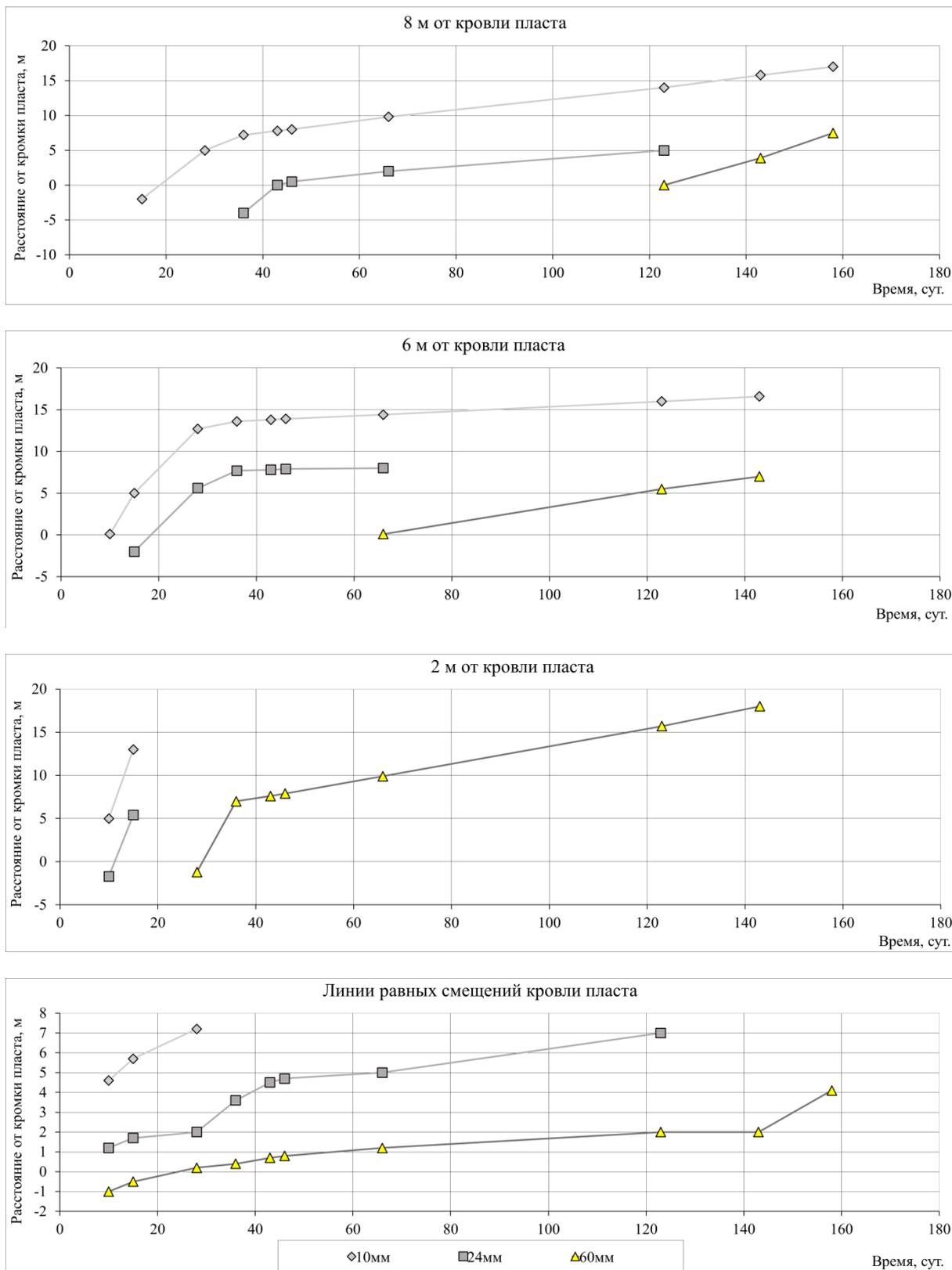


Рис. 20. Изолинии равных смещений кровли на высоте 0,2,6,8 м от пласта

В общем виде картина смещений кровли в эксперименте выглядит следующим образом: вначале движется фронт «обратимых» смещений, которые представляют собой потоки волн

смещений с переменной длиной и амплитудой, циклы волн знакопеременные, асимметричные. Фронт «обратимых» смещений «расшевеливает» массив пород по естественной трещиноватости. После достижения определенной амплитуды – 22 мм (0,011% от мощности пласта), следует фронт «необратимых» смещений. Эта зона характеризуется смещениями, совпадающими с направлением действия поля гравитации – массив начинает расширяться. При достижении смещений величин около 60 мм (0,03% от мощности пласта) движется фронт смещений разрушения пород, т.е. массив теряет связь между отдельными блоками, которые получают большую свободу перемещения в пространстве.

Разрушение пород движется вглубь массива по иницирующему слою, расположенному над пластом угля в 0–2 м, находящемся под воздействием горного давления. Разрушение пород сопровождается перемещением массива в сторону выработанного пространства и в направлении обратном гравитационному полю. Разрушение пород достигает 4 м по восстанию, т.е. разрушается массив пород с опережением разрушения пласта угля;

Разрушение пласта происходит после его сжатия на 24 мм (0,012% от мощности пласта), что сопровождается выравниванием скоростей смещений по всей зоне опорного давления с последующим перемещением разрушенного угля краевой части пласта в сторону выработанного пространства.

Численная модель процесса формирования смещений и разрушений пород кровли и пласта

Полученные представления о процессах смещения и разрушения массива пород и пласта краевой части, позволили построить расчетную схему и модели этих процессов (рис. 21), результаты которых используются в дальнейшем в п.4.1. при качественной оценке влияния восходящего порядка обработки выемочных столбов.

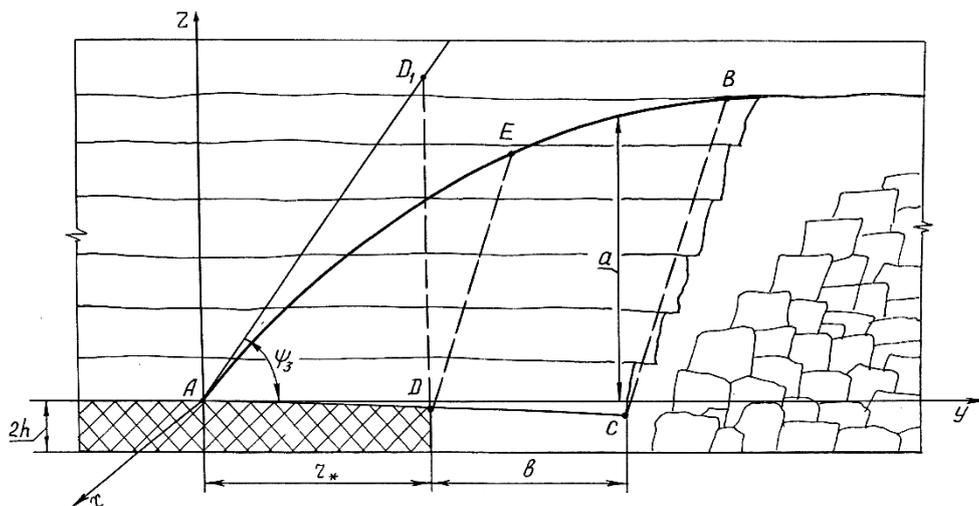


Рис. 21. Расчетная схема

Модель зон разрушения краевой части угольного пласта

Исходя из упругопластических представлений о свойствах угольного пласта, рассмотрим деформацию его краевой части.

Характер изменения несущей способности краевой части пласта, находящегося в состоянии предельного равновесия, в общем виде может быть записан [5]:

$$\sigma_z(r) = \sigma_0 \cdot \exp(r \cdot f / \xi h); \quad (6)$$

где σ_0 – остаточная прочность пласта на одноосное сжатие;

$f = \operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения;



$\xi = \operatorname{tg}^2(\pi/2 - \varphi/2)$ – коэффициент бокового распора угля;
 r – расстояние от кромки пласта до рассматриваемого сечения.

Функцию напряжений σ находим из условий равновесия краевой части:

$$d\sigma_y = \alpha/2h \cdot \sigma \cdot e^{f/\xi h} \cdot dr, \quad (7)$$

где $\alpha = (f + \omega/\delta^*)$ – коэффициент, учитывающий защемление пласта.

Интегрируя с учетом граничного условия $r = 0$, $\sigma_y(r)$, будем иметь:

$$\sigma_y(r) = \sigma_{00}(e^{rf/\xi h} - 1) \quad (8)$$

Здесь величина σ_{00} равна:

$$\sigma_{00} = \kappa \xi / 2f \cdot \sigma_0 = \beta \sigma_0 \quad (9)$$

Касательные напряжения, как правило, не значительные, поэтому их можно положить равными нулю. Тогда $\sigma_1 = \sigma_z$; $\sigma_3 = \sigma_y$, а напряжение

$$\sigma_2 = \nu (\sigma_y + \sigma_z) \quad (10)$$

С учётом этого, среднее напряжение в краевой части пласта будет:

$$\sigma = 1/3 \cdot (1 + \nu)(\sigma_1 + \sigma_2) \quad (11)$$

Вычислим среднюю деформацию через среднее напряжение:

$$\varepsilon_0 = 1 - 2\nu/3 \cdot E(1 + \nu)^{-1} \cdot (\sigma_1 + \sigma_2), \quad (12)$$

с другой стороны

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z/3 \quad (13)$$

В условиях плоской деформации: $\varepsilon_x = 0$.

Среднюю вертикальную деформацию пласта выразим через функцию смещений:

$$\varepsilon_z = \omega(x, y, z)/2h \quad (14)$$

Тогда деформация в направлении оси y будет равна:

$$\varepsilon_y = 1 - 2\nu/E(1 - \nu)^{-1} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) - \omega/2h \quad (15)$$

Согласно принятой реологической модели достаточным условием разрушения угольного пласта является:

$$\varepsilon_y - \varepsilon_* \geq 0, \quad (16)$$

где ε_* – предельная деформация.

После подстановки (16) в (17) получим функцию разрушения пласта:

$$\Phi(r) = 1 - 2\nu/E(1 + \nu)^{-1} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) - (\omega/2h + \varepsilon_*) = 0 \quad (17)$$

После преобразования получим:

$$\Phi(r) = \psi [e^{rf/\xi h} (1 + \beta) - \beta] - (\omega/2h + \varepsilon_*) = 0 \quad (18)$$

Здесь ψ равен:

$$\psi = \sigma_0(1 - 2\nu)/E(1 + \nu)^{-1} \quad (19)$$

Решение уравнения относительно r в общем виде не представляется возможным [23]. Однако получение ширины зоны разрушенного пласта, удовлетворяющей уравнению, легко реализуется.

Модель разрушения кровли

В результате пластических деформаций краевой части пласта под воздействием упруго ползучего прогиба кровли, в конечном счете, происходит расслоение и последующее разрушение, зависящей на контакте с выработанным пространством, консоли пород.



На расчетной схеме рис. 21 видно, что разрушенная порода в конуре ABC частично удерживается остаточной реакцией разрушенной краевой части угольного массива, а объём пород АЕД удерживается на участке АД шириной $r(x)$.

Вес призмы ВСДЕ, очевидно, составляет нагрузку на крепь выработки, т.е.:

$$q_{кр}^b = \gamma \cdot a \cdot b \cdot \sin \psi_3, \quad (20)$$

где ψ_3 – угол обрушения;

a – средняя высота обрушения пород;

b – ширина поддерживаемого пространства.

При угле падения пласта α_n :

$$q_{кр}^H = q_{кр}^B \cos \alpha_n. \quad (21)$$

Величина боковой нагрузки на крепь сохраняемой выработки зависит от угла падения пласта и порядка отработки выемочных столбов и равна со стороны пласта:

$$q_{кр}^b = \varepsilon_y \cdot E_q \cdot 2h, \quad (22)$$

где ε_y – деформация пласта;

$E_q = E/R_{пл}$ – модуль деформации пласта;

E – модуль упругости пласта;

$R_{пл}$ – прочность угля;

$2h$ – мощность пласта.

Для определения длин ДЕ и ВС необходимо задать уравнение кривой АВ.

Из анализа геомеханических процессов ясно, что профиль кривой АВ является функцией времени t .

При $t \rightarrow \infty$ кривая АВ асимптотически приближается к прямой линии, характеризуемой углами полного сдвижения ψ_1, ψ_2 [6, 7], тогда можно записать:

$$Z_* = \operatorname{tg} \psi_3 \cdot y = c \cdot y, \quad (23)$$

где ψ_3 принимает значения:

$$\psi_1 = 50 - 0,25\alpha_n \text{ – при нисходящем порядке отработки;}$$

$$\psi_2 = 50 + 0,38\alpha_n \text{ – при восходящем порядке отработки.}$$

На границе зоны разрушения пласта $y=0$ находится начало кривой АВ, т.е. $Z_* = 0$.

Дифференциальный характер изменения кривой $Z_*(y)$, запишем исходя из результатов натурных наблюдений:

$$d Z_* = A_1 \cdot dy/y \quad (24)$$

Проинтегрируем и приведем y , к безразмерной координате y/r_* :

$$Z_* = A_1 \cdot \ln (y/r_* + 1) \quad (25)$$

Удовлетворив условие $y = 0, Z_* = 0$, получим:

$$Z_* = A_1 \ln(y/r_* + 1) \quad (26)$$

Параметр A_1 является функцией времени:

$$A_1 = c \cdot r_* (1 - e^{-t/T}), \quad (27)$$

где $c = \operatorname{tg} \psi_3$ – коэффициент угла обрушения пород кровли;

T – время релаксации напряжений изгиба в консольных слоях породы.

Окончательно кривая разрушения АВ имеет следующий вид:

$$Z_* = \operatorname{tg} \psi_3 r_*(x) \ln(y/r_* + 1) \cdot (1 - e^{-t/T}) \quad (28)$$

Здесь функция $r_*(x)$ находится из уравнения (2.18) при подстановке в $\omega(x, y, t)$; $x = x_b, y = \pm 1$ (в зависимости от порядка отработки выемочного поля).

Далее из выражения (28) находят длины ДЕ и ВС:



$$DE \approx Z_*(r_*) \cos \psi_3; \quad (29)$$

$$BC \approx Z_*(r_*+b) \cos \psi_3, \quad (30)$$

откуда величина «а» равна:

$$a \approx [Z_*(r_*) + Z_*(r_*+b)] / 2 \cos \psi_3 \quad (31)$$

Вычисление экстремальных значений величин $Z_*(y)$ реализуется на основе использования вышеприведенных аналитических соотношений.

Исследование влияния расположения выработанного пространства на состояние выработок

При проведении шахтных исследований в подготовительных выработках, расположенных на границе «массив – обрушенные породы», неоднократно отмечалось ряд особенностей, связанных с расположением выработанного пространства со стороны восстания пласта (т.е. при нисходящем порядке отработки выемочных столбов) или со стороны падения (при восходящем):

1. При нисходящем порядке (при углах падения пласта $5 \div 10^\circ$) наблюдались значительные сдвиги обрушенных пород в выработку, что приводило к деформации рам крепи, проскальзыванию стоек крепи по почве со стороны выработанного пространства, резкому уменьшению сечения выработки и потере работоспособности крепи на отдельных участках. Эти смещения достигали $300 \div 400$ мм (рис. 22). При восходящем порядке этих явлений не отмечалось (рис. 24).

2. При расположении выработанного пространства со стороны восстания при углах падения свыше 5° всегда наблюдалось сдвиг пород кровли вдоль оси выработки в пределах от 20 до 70 мм. Этот факт имел место на пластах: Журинском ш. «Кольчугинское» (лавы 109, 111), № 5 ш. «Чертинская» (лава 97, рис. 23), Андреевском ш. «Физкультурник» и в ряде других случаев. При расположении обрушенных пород со стороны падения пласта продольных смещений в выработках не отмечалось. Для доказательства влияния небольших углов падения пласта на сдвиги обрушенных пород в выработках, расположенных на границе «массив – выработанное пространство», были проведены наблюдения на одном из участков вентиляционного штрека № 9 ш. «Физкультурник» (пройденного в присечку), имеющем уклон вдоль оси 6° . За время наблюдения (6 месяцев) смещения пород со стороны выработанного пространства вдоль оси выработки составили: по кровле пласта 180–200 мм, а по почве 30–40 мм, в результате чего стойки и верхняки со стороны выработанного пространства оказались развернутыми относительно стоек у массива угля. Таким образом, эксперимент показал, что небольшие углы падения пласта оказывают существенное влияние на направления смещений и состояние выработок в данных условиях.

3. Расположение выработанного пространства оказывает значительное влияние и на проявление пучения пород почвы.

Так, на шахте «Пионерка» пласте 10 в вентиляционном штреке 1038, пройденном «вприсечку» пучение почвы достигало 250–400 мм (выработанное пространство со стороны восстания), а на сохраняемом участке вентиляционного штрека 1028 пучения не отмечалось (выработанное пространство со стороны падения).

Соответственно, на шахте «Кузнецкая» пласте Инском-1 на сохраняемом участке конвейерного штрека 28 пучение достигало 100–150 мм, а в вентиляционном штреке 28 (на сохраняемом участке) отсутствовало.

При нисходящем порядке отработки на шахте «Чертинская» в выработках, пройденных «вприсечку», дважды наблюдалась необычная призматическая форма разрушения крепких пород почвы ($\sigma_{сж} = 100$ МПа), напоминающая известную форму разрушения этих пород в образцах вентиляционном штреке лавы 95 (рис. 21) и в вентиляционном штреке 12 пласта Тонкого шахты «Анжерская».



Особенно контрастно проявляется влияние расположения выработанного пространства при наличии в месторождении (или на его участке) водоносных слоев пород или притоков воды через выработанное пространство с поверхности. В этом случае, при нисходящем порядке в выработках наблюдались значительные скопления, связанные с гипсометрией пласта, сток воды по очистному забою и выработкам. При восходящем порядке эти явления отсутствовали.

Итак, расположение выработанного пространства со стороны падения пласта позволяет избежать вышеперечисленных осложнений.

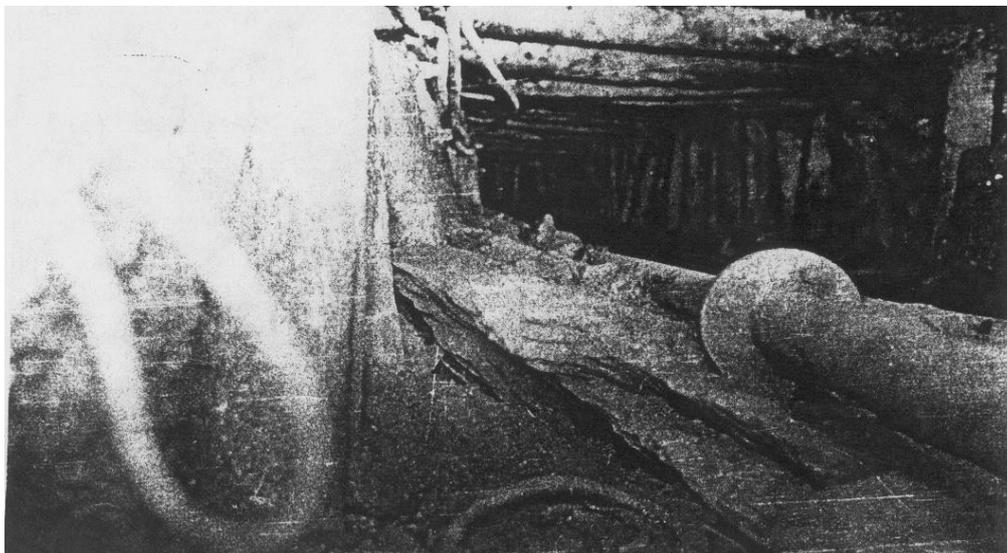


Рис. 22. Состояние вентиляционного штрека лавы 97 пласта 5 ш. «Чертинская» при нисходящем порядке отработки

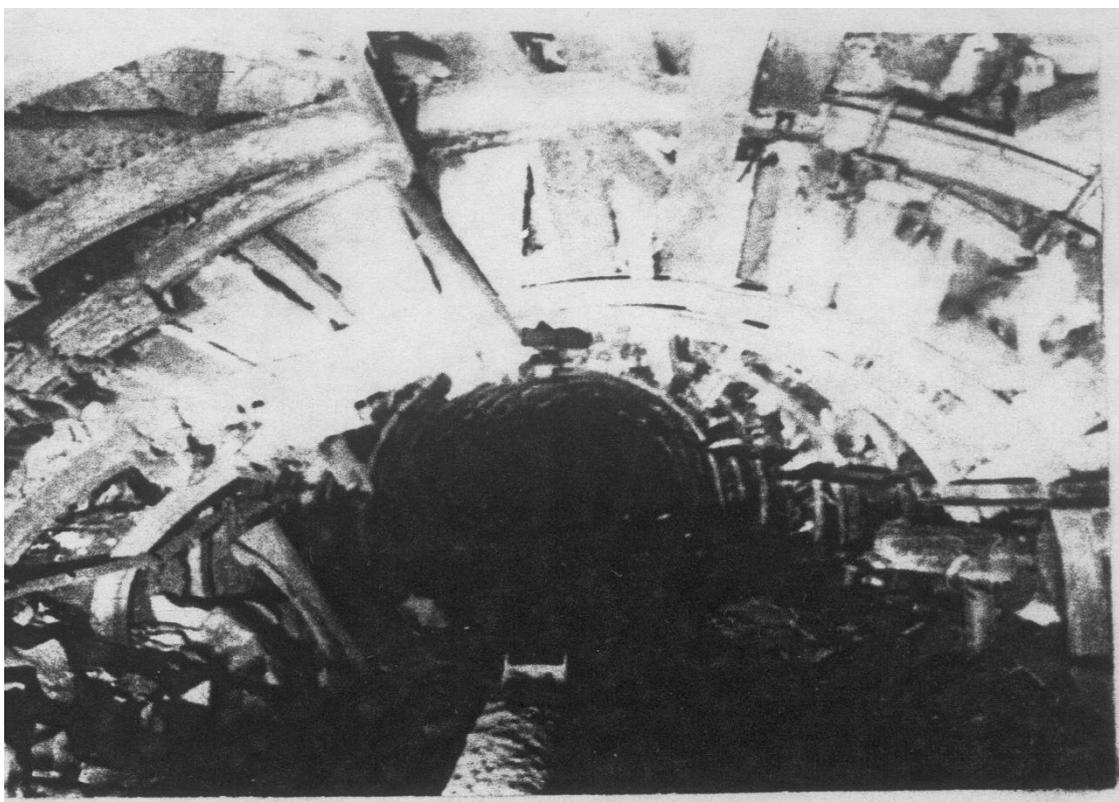


Рис. 23. Состояние конвейерного штрека лавы 97 пласта 5 ш. «Чертинская» при нисходящем порядке отработки



Рис. 24. Состояние вентиляционного штрека лавы 43 пласта
Инского III ш. «Октябрьская» при восходящем порядке отработки

ВЫВОДЫ

1. При проведении выработок «вприсечку» происходит вторичная активизация смещений. Установлены две основные формы разрушения и смещений вмещающего массива пород и, связанные с ними, особенности деформирования крепи выработки:

– первая характеризуется зависанием консоли кровли над подготовительной выработкой, которая не разрушается со временем. При этом длина консоли превышает ширину выработки. Типичное разрушение элементов крепи (стоек и верхняков) – со стороны выработанного пространства. График скоростей смещений кровли представляет собой сложную ломаную линию с пикообразными всплесками, нарастающей амплитуды по мере приближения к забою лавы, вершины этих импульсов синхронизированы с изменениями качественного состояния массива пород и краевой части пласта в окрестности выработки.

– вторая – консоль кровли, нависающая над сохраняемой подготовительной выработкой, после прохода первого очистного забоя постепенно разрушается до массива угля или дальше, т.е. длина консоли пород меньше ширины выработки. Над выработкой находятся разрушенные породы. В этом случае крепь разрушается со стороны массива угля. График скоростей смещений представлен менее динамичной ломаной линией, импульсы которой хотя и приурочены к определенным процессам, расположены хаотично, их амплитуда может различаться очень значительно.

2. Разграничить два подхода к охране выработки в зависимости от формы разрушения кровли:

- при зависании консолей кровли применять охрану выработки целиком угля с последующей их выемкой одновременно с лавой;
- при разрушении пород над выработкой применять способы охраны и охраняющие устройства, позволяющие удерживать разрушенные породы.



3. Установлена значимость основных эксплуатационных периодов выработки, расположенной на границе «массив – обрушенные породы», по их доле участия в полных смещениях:

а) при схеме с «сохранением» выработки:

- в зоне активного сдвижения пород за первой лавой от 30% до 50%;
- в зоне опорного давления второй лавы от 40% до 60%;

б) при схеме с проведением выработки «вприсечку»:

- активные смещения при проведении выработки от 25% до 35%;
- в зоне влияния опорного давления лавы от 60% до 70%;

4. Установлены следующие особенности смещений пород в выработках, расположенных на границе «массив – обрушенные породы»:

- тип схемы подготовки («с сохранением» или «вприсечку») не оказывает влияния на величины смещений пород в зоне опорного давления второй лавы;
- смещения и их ускорения неравномерны по длине выработки (до 400% от минимальных) и в сечении (до 80 %);
- характер смещений связан с формой разрушения кровли;

а) при схеме с «сохранением» выработки:

- средние отклонения смещений в зонах опорного давления
- 1 и 2 лав примерно равны;
- наибольший разброс величин смещений наблюдается в зоне опорного давления 1 лавы;
- расширение сохраняемой выработки в зоне стабилизации смещений за 1 лавой вызывает вторичную активизацию сдвижения вмещающего массива с широким спектром величин смещений;

б) при схеме с проведением выработки «вприсечку»:

- в период проведения выработки на границе «массив – обрушенные породы» зона стабилизации смещений в 3 раза больше, чем при проведении в массиве;
- в период поддержания выработки на границе «массив – обрушенные породы» смещения не затухают, а продолжают со скоростью 0,1–0,2 мм/сут.

5. Наименьшие смещения кровли выработок, сохраняемых на границе «массив – обрушенные породы», достигаются оптимальным сочетанием несущей способности охраняющего устройства, и площади кровли, по которой она распределена; разработан критерий «интенсивность распределения несущей способности ОУ», позволяющий оценить эффективность принятого технического решения по охране выработки и получена корреляционная зависимость, отражающая этот процесс.

6. Получены корреляционные зависимости, отражающие процесс сводообразования за лавой в зоне активного сдвижения горных пород.

7. Установлены в результате шахтных экспериментов:

- критическая величина сжатия пласта – 24 мм (0,012% от мощности пласта), определяющая границу разрушенного угля;
- критическая величина смещений кровли – 60 мм (0,03% от мощности пласта), определяющая границу обрушенных пород;
- карта изолиний смещений кровли пласта на высотах: 0 – 2 – 4 – 8 м, в том числе линии разрушения кровли и пласта.

8. Установлены экспериментальным путем пространственно-временные закономерности формирования полей смещений и зон разрушения кровли и краевой части пласта:

- получены поверхности равных смещений (ПРС-60; ПРС-22) исследуемого массива (ПРС-60 в вертикальном сечении, направленном по восстанию, в начальный период имеет форму близкую к параболе с вершиной, расположенной в 1,5–2 м от пласта, и верхней ветвью, уходящей к земной поверхности под углом близким к углу полного сдвижения);



– движение ПРС можно разбить на три вида: вначале движется фронт «обратимых» смещений, которые представляют собой потоки волн смещений с переменной длиной и амплитудой, циклы волн знакопеременные, асимметричные. Фронт «обратимых» смещений «расшевеливает» массив пород по естественной трещиноватости. После достижения определенной амплитуды – 22 мм (0,011% от мощности пласта), следует фронт «необратимых» смещений. Эта зона характеризуется смещениями, совпадающими с направлением действия поля гравитации – массив начинает расширяться. При достижении смещений величин около 60 мм (0,03% от мощности пласта) движется фронт смещений разрушения пород, т.е. массив теряет связь между отдельными блоками, которые получают большую свободу перемещения в пространстве;

– разрушение пород движется вглубь массива по иницирующему слою, расположенному над пластом угля (в данном случае 0–2 м), находящемся под воздействием горного давления. Разрушение пород сопровождается перемещением массива в сторону выработанного пространства и в направлении обратном гравитационному полю. Разрушение пород достигает 4 м по восстанию, т.е. разрушается массив пород с опережением разрушения пласта угля;

– разрушение пласта происходит после его сжатия на 24 мм (0,012% от мощности пласта), что сопровождается выравниванием скоростей смещений по всей зоне опорного давления с последующим перемещением угля в сторону выработанного пространства.

9. По данным эксперимента краевая часть пласта угля (от 0 до 18 м) имеет три характерных зоны по минимальной величине относительного удельного изменения смещений:

- от 15 до 21,5 мм/м – зона разрушенного пласта угля и кровли;
- от 1,6 до 7,2 мм/м – зона переходного состояния пласта и кровли от «упругого» к разрушенному, второй характеристикой этого участка является смена знака ускорения смещений кровли, третий признак – минимальный радиус изгиба кровли и его перемещение по зоне в результате демпферного процесса в массиве угольного пласта;
- от 0,27 до 0,88 мм/м – зона «упругого» деформирования пласта.

10. Разработан метод численной реализации взаимосвязи зон разрушения краевой части пласта угля и кровли со смещениями, позволяющий получить:

- линию разрушения массива кровли;
- зону разрушения краевой части пласта;
- боковую и вертикальную нагрузку на крепь выработки, расположенной на границе «массив–обрушенные породы».

11. Установлено влияние небольших углов падения пласта (от 5°) и расположения выработанного пространства на состояние выработки, расположенной на границе «массив – обрушенные породы».

Список источников

1. Бесцеликовая отработка пластов / Ю. Л. Худин [и др.]. – М. : Недра, 1983. – 280 с.
2. Я. Фармер. Выработки угольных шахт. – М. : Недра, 1990. – 267 с.
3. Стажевский С. Б. Приложения механики сыпучих сред к решению некоторых задач механики горных пород // Физико-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. – 1987. – №3. – С.3-11.
4. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых угольных пластов / К. А. Ардашев, Н. И. Куксов, А. С. Шальгин и др. – М. : Недра, 1975. – 232 с.
5. Сдвигание горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений – М. : Недра, 1970. – 224 с.
6. Костенич В. С., Федотова З. Л. Расчет сдвижений и деформаций по площади при пологом и наклонном залегании пластов в Кузбассе // Тр. ВНИИ горн. геомеханики и маркшейдер. дела (ВНИИМ). – 1966. – Сб. 58. – С.125-136.
7. Цытович Н. А. Механика грунтов: (Краткий курс): Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1983. – 288 с.



8. Гринько, Н. К. Обеспечение нагрузки на очистной забой 2-3 млн. т угля в год на шахтах России / Н. К. Гринько, Л. Н. Гапанович, О. Б. Батурич // Уголь. – 1998. – № 5. – С. 15-18.
9. Коровкин, Ю. А., Бураков В. А. Дешевый уголь и повышенная безопасность в системе технологической и структурной перестройки шахт / Ю. А. Коровкин, В. А. Бураков // Уголь. – 1999. – № 5. – С. 22-27.
10. Черняк, И. Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И. Л. Черняк, Ю. И. Бурчаков. – М. : Недра, 1984. – 304 с.
11. Бесцеликовая отработка пластов / Ю. Л. Худин [и др.]. – М. : Недра, 1983. – 280 с.
12. Дворецкий, Н.М. Исследование и совершенствование технологии очистных работ на пологих пластах Ленинского района Кузбасса : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 14 с.
13. Жаров, А.И. Исследование и совершенствование системы разработки длинными столбами с повторным использованием выемочных выработок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1976. – 15 с.
14. Никитин, В. Д. Разработка пологих и наклонных пластов/ В. Д. Никитин [и др.] . – М. : Недра, 1976. – 248 с.
15. Лебедев, Б. К., Середенко М. И. Опыт подготовки и отработки выемочных полей без оставления межлавных целиков угля на шахтах Кузбасса / Б. К. Лебедев, М. И. Середенко // Уголь. – 1973. – № 7. – С. 5-9.
16. Разработать технологию и создать средства комплексной механизации добычи угля из мощных пологих пластов более 3,5 м с углами падения до 35 и обеспечить их внедрение на шахтах Кузбасса : отчет о НИР / Кузнец. науч.-исслед. угол. ин-т. (КузНИУИ) ; рук. Середенко М. И. – Прокопьевск, 1974. – 147 с. – №72043362.
17. Дворецкий, Н. М. Развитие бесцеликовой технологии подготовки и отработки пологих пластов на шахтах ПО "Кузбассуголь" / Н. М. Дворецкий // Технология добычи угля подземным способом : реф.сб. / ЦНИЭИуголь. – 1976. – № 11. – С. 13-16.
18. Гапанович, Л. Н. Предлагаемая технология должна быть обоснована / Л. Н. Гапанович // Уголь. – 1999. – № 5. – С. 28-29.
19. Жданкин, Н. А. Оценка эффективности повторного использования выработок на шахтах ассоциации "Ленинскуголь" / Н. А. Жданкин, А. В. Ремезов, М. Н. Клавдиенко // Уголь. – 1992. – № 9. – С.37-40.
20. Золотых, С. С. Прогноз и предотвращение горных ударов при разработке мощных пологих пластов, склонных к самовогоранию : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1988. – 17с.
21. Прогрессивные технологические схемы разработки на угольных шахтах : утв. М-вом угол. пром-сти 19.05.79. – М., 1979. – Ч. 1-2.
22. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию подготовительных выработок на угольных шахтах СССР : утв. М-вом угол. пром-сти 26.12.84. – Л., 1986. – 221 с.
23. Прогрессивные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при бесцеликовой технологии отработки угольных пластов : утв. М-вом угол. пром-сти 16.01.84. – Л., 1985. – 112 с.

References

1. Bestselikovaya otrabotka plastov / Yu. L. Khudin [i dr.]. – М. : Nedra, 1983. – 280 s.
2. Ya. Farmer. Vyrabotki ugol'nykh shakht. – М. : Nedra, 1990. – 267 s.
3. Stazhevskiy S. B. Prilozheniya mekhaniki sypuchikh sred k resheniyu nekotorykh zadach mekhaniki gornykh porod // Fiziko-tekhn. probl. razrab. polez. iskopaemykh. – 1987. – №3. – S.3-11.
4. Sovershenstvovanie upravleniya gornym davleniem pri razrabotke naklonnykh i krutykh ugol'nykh plastov / K. A. Ardashev, N. I. Kuksov, A. S. Shalygin i dr. – М. : Nedra, 1975. – 232 s.
5. Sdvizhenie gornykh porod pri podzemnoy razrabotke ugol'nykh i slantsevykh mestorozhdeniy – М. : Nedra, 1970. – 224 s.
6. Kostenich V. S., Fedotova Z. L. Raschet sdvizheniy i deformatsiy po ploshchadi pri pologom i naklonnom zaleganiy plastov v Kuzbasse // Tr. VNII gorn. geomekhaniki i marksheyder. dela (VNIMI). – 1966. – Sb. 58. – S.125-136.
7. Tsytyovich N. A. Mekhanika gruntov: (Kratkiy kurs): Ucheb. dlya vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – М. : Vysshaya shkola, 1983. – 288 s.
8. Grin'ko, N. K. Obespechenie nagruzki na ochistnoy zaboy 2-3 mln. t uglya v god na shakhtakh Rossii / N. K. Grin'ko, L. N. Gapanovich, O. B. Baturin // Ugol'. – 1998. – № 5. – S. 15-18.



9. Korovkin, Yu. A., Burakov V. A. Deshevyy ugol' i povyshennaya bezopasnost' v sisteme tekhnologicheskoy i strukturnoy perestroyki shakht / Yu. A. Korovkin, V. A. Burakov // Ugol'. – 1999. – № 5. – S. 22-27.
10. Chernyak, I. L. Upravlenie gornym davleniem v podgotovitel'nykh vyrabotkakh glubokikh shakht / I. L. Chernyak, Yu. I. Burchakov. – M. : Nedra, 1984. – 304 s.
11. Bestselikovaya otrabotka plastov / Yu. L. Khudin [i dr.]. – M. : Nedra, 1983. – 280 s.
12. Dvoretzkiy, N.M. Issledovanie i sovershenstvovanie tekhnologii ochistnykh работ na pologikh plastakh Leninskogo rayona Kuzbassa : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 1983. – 14 s.
13. Zharov, A.I. Issledovanie i sovershenstvovanie sistemy razrabotki dlinnymi stolbami s povtornym ispol'zovaniem vyemochnykh vyrabotok : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 1976. – 15 s.
14. Nikitin, V. D. Razrabotka pologikh i naklonnykh plastov/ V. D. Nikitin [i dr.] . – M. : Nedra, 1976. – 248 s.
15. Lebedev, B. K., Seredenko M. I. Opyt podgotovki i otrabotki vyemochnykh poley bez ostavleniya mezhlavnykh tselikov uglya na shakhtakh Kuzbassa / B. K. Lebedev, M. I. Seredenko // Ugol'. – 1973. – № 7. – С. 5-9.
16. Razrabotat' tekhnologiyu i sozdat' sredstva kompleksnoy mekhanizatsii dobychi uglya iz moshchnykh pologikh plastov bolee 3,5 m s uglami padeniya do 35 i obespechit' ikh vnedrenie na shakhtakh Kuzbassa : otchet o NIR / Kuznets. nauch.-issled. ugol. in-t. (KuzNIUI) ; ruk. Seredenko M. I. – Prokop'evsk, 1974. – 147 s. – №72043362.
17. Dvoretzkiy, N. M. Razvitie bestselikovoy tekhnologii podgotovki i otrabotki pologikh plastov na shakhtakh PO "Kuzbassugol'" / N. M. Dvoretzkiy // Tekhnologiya dobychi uglya podzemnym sposobom : ref.sb. / TsNIEUgol'. – 1976. – № 11. – С. 13-16.
18. Gapanovich, L. N. Predlagaemaya tekhnologiya dolzhna byt' obosnovana / L. N. Gapanovich // Ugol'. – 1999. – № 5. – S. 28-29.
19. Zhdankin, N. A. Otsenka effektivnosti povtornogo ispol'zovaniya vyrabotok na shakhtakh assotsiatsii "Leninskugol'" / N. A. Zhdankin, A. V. Remezov, M. N. Klavdienko // Ugol'. – 1992. – № 9. – S.37-40.
20. Zolotykh, S. S. Prognoz i predotvrashchenie gornykh udarov pri razrabotke moshchnykh pologikh plastov, sklonnykh k samovogoraniyu : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – L., 1988. – 17s.
21. Progressivnye tekhnologicheskie skhemy razrabotki na ugol'nykh shakhtakh : utv. M-vom ugol. prom-sti 19.05.79. – M., 1979. – Ch. 1-2.
22. Ukazaniya po ratsional'nomu raspolozheniyu, okhrane i podderzhaniyu podgotovitel'nykh vyrabotok na ugol'nykh shakhtakh SSSR : utv. M-vom ugol. prom-sti 26.12.84. – L., 1986. – 221 s.
23. Progressivnye pasporta krepeleniya, okhrany i podderzhaniya podgotovitel'nykh vyrabotok pri bestselikovoy tekhnologii otrabotki ugol'nykh plastov : utv. M-vom ugol. prom-sti 16.01.84. – L., 1985. – 112 s.

Авторы

Authors

Игнатов Евгений Владимирович,

канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник
e-mail: ignatovea@kuzstu.ru

Eugeniy V. Ignatov,

PhD, Senior Researcher,
e-mail: ignatovea@kuzstu.ru

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»,
Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Russian Federation, Kemerovo,
28 Vesennyaya street, 650000

Библиографическое описание статьи

Игнатов Е.В. Зависимости и особенности смещений и формирования зон разрушения кровли и краевой части пласта при взаимодействии с элементной базой бесцеликовой технологии // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С. 4-41.

Cite this article

Ignatov E.V. (2020) Dependences and Features of Displacements and Formation of Fracture Zones of the Roof and the Edge of the Coal Seam in Interaction With the Elemental Base of Support at Pillarless Technology, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 4(11):4.