*Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 1, 1960 г.*

# ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ПЛАСТОВ

*А. А. Алейников*

Общепринятая методика исследований проявлений горного давления, основанная на анализе средних смещений кровли на различном расстоянии от забоя, не обеспечивает возможности оценки состояния кровли и выбора рациональной характеристики крепи. По этой методике движение пород кровли условно признается непрерывным, а измеренные изменения скоростей опускания во время отдельных операций практически не используются. Вследствие неодинаковой продолжительности существования измерительных точек и различной продолжительности отдельных операций искажается не только характер кривой смещения кровли (при удалении от забоя) но и конечные результаты.

В настоящей работе произведена попытка дифференцированного подхода к изучению характера движения кровли с выделением непрерывных смещений, происходящих с более или менее постоянной скоростью за длительный промежуток времени, и опусканий кровли, зависящих от рабочих процессов (выемки и посадки), происходящих в сравнительно короткие отрезки времени с повышенной интенсивностью и имеющих скачкообразный характер. Исходя из этого, общее смещение кровли можно представить в виде выражения

$$h = \sum \Delta h_в + \sum \Delta h_п + h_с, \qquad (1)$$

где $\Delta h_в$ и $\Delta h_п$ — приращения опусканий кровли за период влияния выемки и посадки;

$h_с$ — опускание кровли при отсутствии работ в лаве.

Обработка материалов по предлагаемой методике произведена по ряду шахт для различных видов крепей — главным образом новых.

## Стойки ГС и СДТ при узкозахватном комбайне ДУ

Исследования стоек проводились в лавах шахты № 3-бис треста Шахтантрацит, разрабатывающей пласт $к_2$ Дроновский (ГС — Западная лава 5, СДТ — Западная лава 16). Горногеологические и производственные условия этих лав аналогичны: мощность пласта 1,05—1,25 *м*; в непосредственной кровле прочный песчанистый сланец мощностью 2,5 *м*, разделенный на несколько слоев по 0,4—0,8 *м*; основная кровля

представлена песчаником мощностью 10—12 *м*; угол падения пласта до 15°. Выемка производилась узкозахватным комплексом ДУ-1. Глубина разработки 373 *м*. Различными были следующие данные:

| | Западная лава 16 | Западная лава 5 |
|---|---|---|
| Длина лавы, *м* | 120 | 105 |
| Применяемая крепь | СДТ и ОКУ | ГС и ОКУ |
| Средняя скорость подвигания, *м/сутки* | 1,65 | 1,45 |
| Расстояние от линии наблюдений до откаточного штрека, *м* | 68 | 43 |
| Число циклов наблюдений | 12 | 16 |
| Подвигание забоя за время наблюдения | 24 | 32 |
| Измеренные удельные сопротивляемости крепи, *т/м²* | 20 | 30 |
| Средняя продолжительность существования точек, час | 58 | 66 |

Таблица 1

| Лава | Опускание кровли (*мм*) при расстоянии от забоя (*м*) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | $\Delta h_в$ | | | | $\Delta h_п$ | | | $h_е$ | | | | |
| Западная 16 | 13,0 | 14,0 | 12,6 | 12,0 | 7,2 | 15,0 | 19,2 | 13,3 | 24,5 | 45,0 | 57,2 | 69,0 |
| Западная 5 | 7,0 | 7,5 | 6,7 | 6,6 | 0,7 | 4,3 | 6,0 | 15,4 | 29,0 | 52,4 | 69,4 | 78,0 |

Таблица 2

| Лава | Опускание кровли (*мм*) при расстоянии от забоя (*м*) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | $\Sigma\Delta h_в + \Sigma\Delta h_п$ | | | | $h_е$ | | | | |
| Западная 16 | 17,0 | 39,0 | 61,0 | 77,4 | 30,3 | 63,5 | 106,5 | 134,6 | 146,4 |
| Западная 5 | 7,0 | 16,7 | 25,5 | 34,0 | 22,4 | 45,7 | 78,0 | 103,4 | 112,0 |

Из табл. 1 и 2, где сведены данные обработки материалов, видно, что средние смещения кровли $h$ при стойках ГС на 23,5% меньше, чем при СДТ. Уменьшение зависит главным образом от опусканий кровли в периоды влияния производственных процессов. Средние скорости опускания при отсутствии производственных процессов для обеих лав практически одинаковы:

для Западной лавы 16 . . . . $v_е = \frac{69}{58} = 1{,}18$ *мм/час*;

для Западной лавы 5 . . . . $v_е = \frac{78}{66} = 1{,}17$ *мм/час*.

Смещения кровли к моменту осадки основной кровли увеличиваются (см. рис. 1). Опускание кровли в процессе выемки практически не из-

меняется (Западная лава 5) или изменяется незначительно (Западная лава 16). Опускание кровли при посадке непосредственной кровли, наоборот, увеличивается между вторичными осадками. Увеличение смещения кровли к моменту вторичных осадков происходит даже при

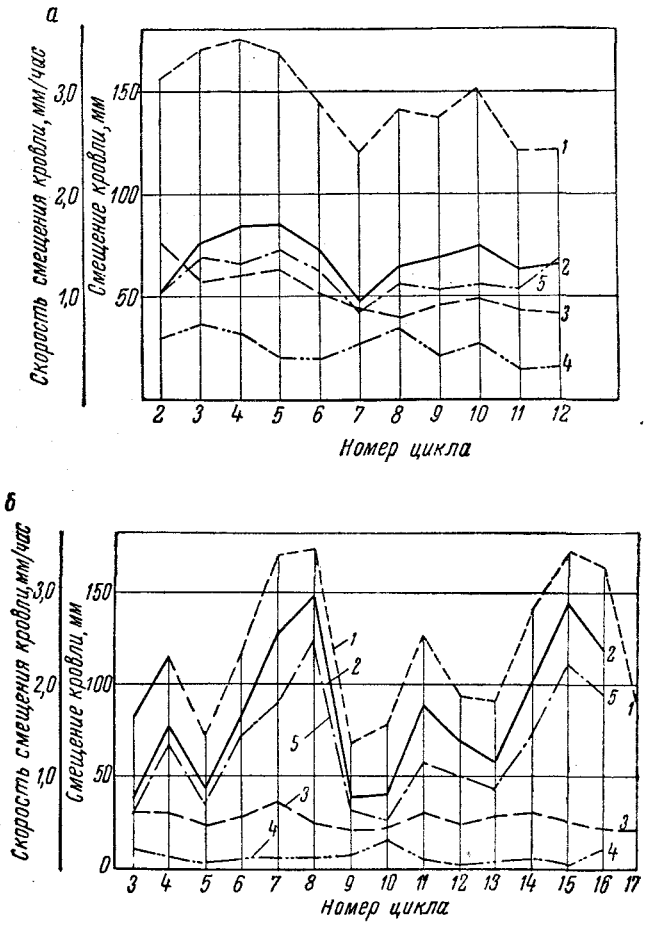



Рис. 1. Дифференциальные смещения кровли по циклам:
*а* — при стойках СДТ (Западная лава 16);
*б* — при стойках ГС (Западная лава 5);
*1* — среднее смещение кровли; *2* — смещение кровли при отсутствии работ; *3* — скорости смещения кровли в период влияния выемки; *4* — скорости смещения кровли в период влияния посадки; *5* — скорости смещения кровли при отсутствии работ

отсутствии производственных процессов. Однако характер смещений различен. При стойках СДТ (Западная лава 16) они незначительны (48—80 *мм*), а при стойках ГС (Западная лава 5) наблюдаются резкие смещения (37—145 *мм*). Проявление вторичных осадок при стойках ГС визуально более отчетливо, так как они проявляются в резком ухудшении состояния кровли и значительном отжиме угля.

## Гидравлическая крепь типа МПК

Исследования проявлений горного давления с гидравлической крепью типа МПК производились на шахте «Коммунист-Новая» треста Октябрьуголь на пласте антрацита мощностью 1,37—1,50 *м*. Угол паде-

ния пласта 4—7$^{c}$. В кровле пласта залегает массивный глинистый сланец мощностью 39 *м*. Секции М74 и М77, представляющие собой податливые крепи типа МПК, были установлены в Северной лаве 2. Для получения сравнительных данных параллельно проводились наблюдения в Северной лаве 1, имеющей аналогичные горногеологические условия, закрепленной стойками СДТ с посадочной крепью из двух рядов кустов тех же стоек. Выемка угля производилась комбайном «Донбасс» с глубиной вруба 1,6 *м*.

Приводим некоторые характеристики указанных лав.

| | Северная лава 1 | Северная лава 2 |
|---|---|---|
| Длина лавы, *м* | 120 | 120 |
| Применяемая крепь | СДТ | М77 |
| Средняя скорость подвигания забоя, *м/сутки* | 1,35 | 0,45 |
| Число циклов наблюдений | 8 | 9 |
| Подвигание забоя за время наблюдения, *м* | 14 | 9 |
| Измеренные удельные сопротивляемости крепи, *т/м*$^2$ | 27,3 | 38 |

Как видно из табл. 3, куда сведены результаты дифференциации смещений кровли по обеим лавам,

Таблица 3

| Лава | Опускание кровли за время существования точки, *мм* | | | Средняя скорость опускания кровли при отсутствии работ ($v_e$), *мм/час* |
|---|---|---|---|---|
| | $h$ | $\Sigma\Delta h_в + \Sigma\Delta h_п$ | $h_e$ | |
| Северная 1 | 214 | 150 | 64 | 0,50 |
| Северная 2 | 206 | 102 | 104 | 0,48 |

несмотря на значительное изменение скоростей подвигания забоя, большую разницу несущей способности крепи, скорости опускания кровли при отсутствии работ остались практически одинаковыми. Вторичных осадок не было, поэтому изменение этих скоростей по циклам незначительно.

Следовательно, здесь, так же как и при стойках ГС и СДТ, от крепи зависят только опускания, вызванные производственными процессами: при увеличении удельной сопротивляемости на 33% они уменьшаются почти в 1,5 раза.

Таким образом, от крепи зависят только опускания кровли, происходящие в период влияния производственных процессов. При отсутствии работ в лаве смещение кровли не зависит от крепи и скорость смещения практически не зависит от скорости подвигания забоя.

С целью выявления природы указанных закономерностей были проведены опыты на упрощенных моделях, позволяющих выявить принципиальную — качественную сторону явлений.

В процессе исследования изменялись свойства «угольного» пласта, удельная сопротивляемость крепи и ее характеристика. Измерялись смещения слоев непосредственной кровли $H_н$ и вышележащей толщи $H_в$ при жестком пласте (табл. 4) и при пласте, способном к отжиму (табл. 5).

Таблица 4

| Расстояние от забоя, *см* | Смещение (*мм*) при удельной сопротивляемости крепи ($г/см^2$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 8 | | 16 | | 24 | |
| | $H_н$ | $H_в$ | $H_н$ | $H_в$ | $H_н$ | $H_в$ | $H_н$ | $H_в$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,5 | 1,27 | 0,71 | 1,24 | 0,74 | 1,08 | 0,86 | 0,76 | 0,73 |
| 5,0 | 3,20 | 1,80 | 3,15 | 1,75 | 2,84 | 2,15 | 2,34 | 2,10 |
| 5,5 | 5,38 | 2,91 | 5,41 | 3,00 | 4,60 | 2,94 | 4,01 | 3,22 |
| 10,0 | 8,90 | 5,75 | 8,01 | 5,03 | 7,93 | 5,33 | 7,52 | 5,98 |

Таблица 5

| Расстояние от забоя, *см* | Смещение (*мм*) при удельной сопротивляемости крепи ($г/см^2$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4 | | 8 | | 12 | |
| | $H_н$ | $H_в$ | $H_н$ | $H_в$ | $H_н$ | $H_в$ |
| — 5,0 | 0 | — | 0 | — | 0 | — |
| — 2,5 | 0,44 | — | 0,81 | — | 0,43 | — |
| 0,0 | 2,42 | 1,19 | 2,45 | 0,93 | 1,44 | 1,33 |
| + 2,5 | 5,02 | 2,66 | 4,85 | 2,69 | 3,11 | 2,32 |
| + 5,0 | 6,91 | 4,63 | 6,14 | 4,59 | 5,62 | 4,50 |
| + 7,5 | 9,41 | 6,80 | 9,68 | 7,42 | 7,83 | 7,23 |
| +10,0 | 11,77 | 8,88 | 11,65 | 9,45 | 10,36 | 9,51 |

Как видно из табл. 4 и 5, с увеличением удельной сопротивляемости наблюдается общая тенденция к уменьшению опускания нижних слоев кровли, что не отмечается в верхних слоях как при жестком, так и податливом пластах. Следовательно, уменьшение опусканий непосредственной кровли произошло за счет уменьшения величин расслоения налегающих слоев.

Таким образом, компонент смещения кровли, зависящий от крепи, представляет собой опускание под влиянием собственного веса нижних слоев непосредственной кровли, отслоившихся от верхних в результате совместной работы системы кровля — крепь. Составляющая, не зависящая от крепи, представляет собой опускание вышележащей толщи (основной кровли), на которую реакция крепи уже не может оказывать влияния. Это подтверждает совпадение смещений с осадками основной кровли. Эту составляющую в соответствии с ее особенностями можно назвать *естественным сближением* кровли с почвой, а компонент, зависящий от крепи, — *технологическим опусканием* кровли. Тогда общее смещение кровли можно представить в виде

$$h = H_т + v_е \frac{l}{v_п}, \qquad (2)$$

где $v_е$ — скорость естественных сближений;
$H_т$ — технологические опускания;
$v_п$ — скорость подвигания забоя;
$l$ — ширина призабойного пространства.

Приведем некоторые примеры расчетов общих смещений кровли по предлагаемым выражениям (1) и (2).

**Крепь МПК и деревянная крепь с металлическими кострами.** Исследование этих крепей производилось на шахте № 2 «Контарная» в Западной лаве 11 на пласте Алмазном. Непосредственная кровля представлена песчано-глинистым сланцем мощностью 3—6 *м*, основная кровля — песчаником мощностью 10—15 *м*. Выемка производилась комбайном «Донбасс», глубина вруба 1,45 *м* при скорости подвигания 0,9 *м/сутки*. В обеих крепях удельная сопротивляемость практически одинакова.

Приводим некоторые данные опусканий кровли [2] в зависимости от расстояния от забоя (*м*):

| | 0 | 1,5 | 3,0 | 4,5 |
|---|---|---|---|---|
| Опускание кровли за период влияния выемки, *мм* . . . . . | 8,20 | 7,90 | 7,20 | — |
| Опускание кровли за период влияния посадки, *мм* . . . . . | 0,30 | 1,30 | 3,20 | 8,20 |
| Средняя скорость опускания кровли до выемки, *мм/час* . . . . . | — | — | — | 0,40 |
| Средняя скорость опускания кровли до посадки, *мм/час* . . . . . | — | — | — | 0,45 |

Общее опускание кровли каждой точки (пока она не выйдет за пределы призабойного пространства) определится тремя проходами комбайна и четырьмя посадками (замеры опускания кровли производились также после переноски костров) и составит:

$$\sum \Delta h_в = 8{,}20 + 7{,}90 + 7{,}20 = 23{,}30 \text{ мм};$$

$$\sum \Delta h_п = 0{,}30 + 1{,}30 + 3{,}20 + 8{,}20 = 13 \text{ мм}.$$

Отсюда

$$h = 23{,}30 + 13 + v_e \frac{l24}{v_п} = 23{,}3 + 13{,}0 + 0{,}425 \frac{4{,}5 \cdot 24}{0{,}9} = 87{,}3 \text{ мм}.$$

Сопоставление средних расчетных величин опускания кровли на различном расстоянии от забоя и замеренных показывает их хорошую сходимость.

Поскольку удельная сопротивляемость крепи при МПК, дереве и кострах одинакова, можно полагать

$$H_т = 36 \text{ мм}, \quad v_e = 425 \text{ мм/час},$$

что дает возможность определить средние опускания кровли при различном подвигании.

Средние смещения кровли в 4,2 *м* от забоя будут следующими при подвигании (*м/сутки*)

| | 0,9 | 1,35 | 1,80 |
|---|---|---|---|
| замеренные . . . . . | 76 | 68 | 54 |
| вычисленные по формуле (2) . . . . . | 80 | 65 | 57 |

Таким образом, наибольшие расхождения между вычисленными и замеренными величинами не превосходят 5%.

**Стойки ГС при струговой выемке.** Исследования проводились бригадой ВУГИ на шахте № 27 треста Снежнянантрацит на пласте $h_6$ Кащеевском мощностью 0,95 *м*. Кровля сложена (снизу вверх) глинистым сланцем мощностью 0,3—1,45 *м* и песчанистым сланцем мощностью 7,5 *м*. Вторичные осадки кровли отсутствуют.

Измерения смещений кровли и давления на крепь при стойках ГС и ОКУ и струговой выемке проводились параллельно в лавах Западной 9 и Западной 10. Горногеологические условия этих лав аналогичны, но Западная лава 10 работала с комбайном и крепью СДТ и ОКУ. Основные показатели этих лав следующие:

| | Западная лава 9 | Западная лава 10 |
|---|---|---|
| Длина лавы, *м* . . . . . | 135 | 133 |
| Тип крепи . . . . . | СДТ и ОКУ | ГС и ОКУ |
| Удельная сопротивляемость крепи, *т/м*$^2$ . . . | 20 | 38 |
| Выемочный агрегат . . . . | Комбайн „Горняк", $l = 1{,}6$ *м* | Струг, $l = 0{,}05—0{,}15$ *м* |
| Скорость подвигания забоя, *м/сутки* . . . . . | 0,8 | 1,6 |

По Западной лаве 9 дифференциацию смещений произвести нетрудно, так как при выемке комбайном имеются периоды, когда в каком-либо районе лавы не ощущается влияния технологических операций по крайней мере в течение 4 час. В Западной лаве 10 вследствие большой частоты выемочных операций (16 стружек за смену), а также операций по посадке (2—3 посадки в смену) выделение естественных сближений усложнено. Поэтому с целью проверки высказанных положений о двойственном характере смещения кровли скорость естественных сближений по Западной лаве 10 принята по данным Западной лавы 9 и на основе этого вычислено общее смещение кровли. Эта величина затем сравнена с измеренной и полученной разовыми замерами. Технологические опускания определены данными микронаблюдений, проведенных бригадой ВУГИ за одну смену (табл. 6).

Таблица 6

| Лава | Тип крепи | Измеренные величины | | | Принятая величина $v_e$, *мм/час* | Вычисленное $H_{ср}$, *мм* | Отклонение вычисленного от измеренного $H_{ср}$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $H_т$, *мм* | $v_e$, *мм/час* | $H_{ср}$, *мм* | | | |
| Западная 9 . | СДТ | 104 | 0 55 | 156 | — | 164 | 5,10 |
| Западная 10 . | ГС | 150 | — | 76 | 0,55 | 80 | 5,25 |

Таким образом, и при струговой выемке, несмотря на большую скорость подвигания, имеет место хорошая сходимость измеренных и вычисленных величин общего смещения кровли.

Сравнение данных расчетов дифференциальных смещений кровли на ряде шахт (табл. 7) показало, что существует определенная зависимость скоростей естественных сближений от прочности угольного пласта и в меньшей степени от характеристики кровли. Очевидно, естественные сближения представляют собой смещения горных пород в результате псевдопластических деформаций кромки угольного целика.

Таблица 7

| Шахта | Тип крепи | $P_д$, $т/м^2$ | $v_п$, $м/сутки$ | Крепость угля | Класс кровли по ВУГИ | $H_т$, $мм$ | $v_е$, $мм/час$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № 3-бис | СДТ и ОКУ<br>ГС и ОКУ | 20<br>30 | 1,65<br>1,45 | Слабый | II | 77,0<br>34,0 | 1,18<br>1,17 |
| „Коммунист-Новая" | СДТ и М77 | 27<br>33 | 1,35<br>0,45 | Крепкий | I | 150<br>102 | 0,50<br>0,38 |
| „Контарная" № 2 | Дерево и металлические костры МПК | 27<br>29 | 0,90<br>0,90 | Крепкий | II, без вторичных осадок | 36<br>36 | 0,43<br>0,43 |
| „Пролетарка-Глубокая" | СДТ и металлические костры МПК | 27<br>30 | 0,90<br>0,80 | Средней крепости | II | 106<br>66 | 0,78<br>0,77 |
| № 27 | СДТ и ОКУ<br>ГС и ОКУ | 20<br>38 | 0,80<br>1,60 | Крепкий | I | 104<br>51 | 0,55<br>0,55 |
| Им. ОГПУ | Дерево, частичная закладка | — | 0,27<br>1,69<br>3,60 | Очень крепкий | III | — | 0,205 |
| № 17—17-бис | СГК-2, частичная закладка | 20 | 1,50 | Слабый | I | — | 1,20 |

Результаты исследований на шахте № 3-бис показали правильность высказанных предположений. Скорости естественных сближений кровли с почвой увеличиваются к моменту вторичных осадок, резко увеличивается отжим угля и мощность пласта уменьшается на 12—16 *см*.

Это можно объяснить и некоторыми теоретическими предпосылками, исходя из ожидаемых нагрузок на кромку угольного забоя, которые, как известно [3], выражаются формулой

$$P_{ух} = C + (\gamma Hk - C)\, e^{-\frac{s}{vT}}, \qquad (3)$$

где $C$ — коэффициент сцепления (по В. Г. Гмошинскому, $C = 120\ т/м^2$);
$k$ — коэффициент концентрации напряжений на угольной кромке (по А. М. Ильштейну, $k = 2{,}5$);
$s$ — ширина угольной кромки;
$T$ — реологический коэффициент, равный 6 час.

Как следует из формулы (3), давление на угольной кромке увеличивается с увеличением скорости подвигания и в значительной степени зависит от ширины кромки ($s$).

Кривые зависимости давления от скорости подвигания, построенные по выражению (3), при увеличении ширины угольной кромки выполаживаются (рис. 2).

При ширине зоны (4—6 *м*) повышенных напряжений, соответствующей полному обрушению [4], для углей средней крепости зависимость давления от скоростей подвигания (до 4 *м/сутки*) практически отсутствует. Таким образом, увеличение скорости подвигания до определенных пределов не может значительно повлиять на скорость развития псевдопластических деформаций в пласте. Однако при весьма жестком пласте, когда коэффициент концентрации напряжений значительно возрастает, а ширина угольной кромки, подверженной увеличенному давлению, уменьшается, можно ожидать изменения скорости пластических деформаций [5].

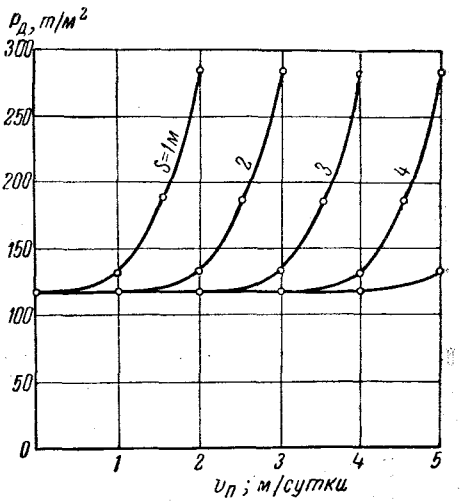



Рис. 2. Зависимость давления на угольный целик от скорости подвигания забоя

Отмеченные в практике возрастания скоростей смещений кровли с увеличением скорости подвигания [4, 5] происходят в основном за счет уменьшения продолжительности существования точек кровли в призабойном пространстве и сравнительного постоянства величин технологических опусканий.

## Выводы

1. Замеренные в шахтных условиях средние смещения кровли состоят из компонентов, не зависящих от крепи (естественные сближения кровли с почвой) и зависящих от нее (технологические опускания).

2. Скорости естественных сближений характеризуются способностью угольного массива к псевдопластическим деформациям и в определенных пределах практически не зависят от скорости подвигания забоя.

3. Технологические опускания представляют собой движение под влиянием собственного веса нижних слоев непосредственной кровли, отслоившихся в результате совместной работы системы кровля — крепь, и поэтому связаны с рабочей характеристикой крепи и свойствами пород кровли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган А. Б., Иванов М. М., Дубов Е. Д., Алейников А. А. Промышленные испытания и исследования работы гидравлических стоек типа ГС на шахте № 3-бис треста Чистяковантрацит. ЦИТИ, 1958.

2. Козелев Г. Л., Дубов Н. Д., Алейников А. А., Резник Ю. Р. Исследование и испытание новых видов крепей в очистных забоях. Рукопись. Фонды ДонУГИ, Сталино, 1957.

3. Гмошинский В. Г. Горное давление на пологий угольный пласт в окрестности выработки. «Уголь», 1957, № 6.

4. Ильштейн А. М. Закономерности проявлений горного давления. Углетехиздат, 1958.

5. Кузнецов Г. Н. О некоторых результатах изучения движения пород в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля. Сб. трудов комиссии по управлению кровлей. ОНТИ, 1937.