

УДК 622.831.312:552.122

д.т.н. Касьян Н. Н.,
д.т.н. Петренко Ю. А.,
к.т.н. Касьяненко А. Л.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, grm@mine.donntu.org)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЧНОГО СЛОЯ В СОСТАВЕ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ НА ЕЁ УСТОЙЧИВОСТЬ

Приведены результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов. Установлено, что деформирование пород почвы с прочным слоем происходит в два этапа: на 1-м этапе складкообразование слоёв происходит только над прочным слоем; на 2-м этапе происходит изгиб и разлом прочного слоя и увеличение смещений пород почвы. При этом если толщина прочного слоя, при ширине выработки B , не превышает $0,1B$, то выработку желательно располагать относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно дальше от контура почвы, но не более $0,5B$. При наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной $0,3B$ наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно ближе к контуру почвы выработки.

Ключевые слова: горная выработка, породы почвы, прочный слой, эквивалентные материалы, зона разрушенных пород, критерий подобия.

Актуальность, цель и задачи исследований. Опыт отработки угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса показывает, что из-за деформирования пород почвы около 65 % выемочных выработок находятся в неудовлетворительном состоянии и до 43 % затрат по ремонту выработок приходится на их поддирку.

Анализ результатов обследования выемочных выработок угольных шахт Донецко-Макеевского углепромышленного региона показал, что при поддирке почвы ежегодно извлекается и выдаётся на поверхность около 10 тыс. м³ породы, на что затрачивается более чем 5000 чел.-смен в год. Для поддирки и зачистки почвы применяются поддирочные и поддирочно-бурильные машины, причём их применение эффективно в условиях слабых пород. Анализ состава углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса показал, что чередование слоёв в текстуре пород почвы представлено в следующем порядке: в 82 % случаев первым слоем встречаются слабые породы со средним пределом прочности на одноосное сжатие до 40 МПа;

в 32 % случаев вторым слоем встречаются прочные породы с прочностью от 60 до 120 МПа; третий слой почвы в 80 % случаев представлен слабыми породами [1]. Таким образом, при наличии в текстуре почвы прочных слоёв вместо механизированной применяется буровзрывная поддирка, что существенно осложняет ремонтные работы и повышает их стоимость.

Обзор отечественных и зарубежных исследований [2–5] по обеспечению устойчивости выемочных выработок показывает, что вопросу влияния текстуры пород на процесс деформирования почвы выработок уделялось недостаточное внимание. При наличии в текстуре почвы прочного слоя пород их разрушение происходит в результате развития породной складки с образованием крупных породных блоков [4, 5]. В таких условиях производить механизированную поддирку затруднительно, а зачастую и невозможно. При этом прочность пород для механизированной поддирки должна составлять не более 60 МПа. Выше этого предела при поддирке почвы необходимо применять буровзрывные работы, что

повышает энергозатраты на разрушение пород и снижает темпы работ более чем в 5 раз [6]. Кроме того, не рассматривался вопрос использования несущей способности прочного слоя в почве выработки для повышения её устойчивости.

Таким образом, изучение процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя является актуальной научно-технической задачей.

Постановка задачи. Задачей данных исследований являлось установление особенности процесса деформирования пород почвы выработки при наличии в их текстуре прочного слоя.

Изложение материала и его результаты. Исследования проводились на моделях из эквивалентных материалов с использованием плоского стенда с внутренними рабочими размерами 76×58×16 см, обеспе-

чивающими соблюдение граничных условий при выбранном масштабе моделирования 1:50.

Процессы деформирования моделируемого породного массива изучались в одиночной пластовой выработке, содержащей прочный слой в почве.

Всего было отработано 13 моделей. В первой модели моделировалась почва пласта выработки без прочного слоя, остальные 12 моделей обрабатывались для аналогичных условий, но с наличием прочного слоя различной толщины ($m_{пр}$), прочности ($\sigma_{сж}$) и глубины залегания от контура почвы ($h_{пр}$). За прочный слой принимался слой пород, прочность которого на 50 % и более превышает прочность остальных вмещающих пород.

Характеристика данных моделей представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика почвы моделируемой выработки

№ модели	Ширина выработки, В		Приведённая толщина прочного слоя почвы, $\frac{m_{пр}}{В}$	Приведённая глубина залегания прочного слоя, $\frac{h_{пр}}{В}$
	в натуре, м	в модели, мм		
почва без прочного слоя				
1	5	100	–	–
почва с прочным слоем $\sigma_{сж} = 60$ МПа				
2	5	100	0,1	0,1
3	5	100	0,1	0,3
4	5	100	0,3	0,1
5	5	100	0,3	0,3
почва с прочным слоем $\sigma_{сж} = 80$ МПа				
6	5	100	0,1	0,1
7	5	100	0,1	0,3
8	5	100	0,3	0,1
9	5	100	0,3	0,3
почва с прочным слоем $\sigma_{сж} = 120$ МПа				
10	5	100	0,1	0,1
11	5	100	0,1	0,3
12	5	100	0,3	0,1
13	5	100	0,3	0,3

В модели пневматическими баллонами создавалось двухосное напряжённое состояние при вертикальной и горизонтальной нагрузках, прирост которых синхронно изменялся. Соотношение между вертикальной и горизонтальной нагрузками равнялось 0,5.

Для предотвращения разрушения модели её пригрузка осуществлялась плавно. После снятия опалубки осуществлялось проведение выработки с установкой арочной крепи. Арочная крепь моделировалась конструкцией из трёх элементов — верх-

няка и двух стоек. Элементы изготавливались из полосы латунной фольги.

По мере нагружения модели проводились измерения величин смещения почвы выработки методом фотофиксации. Для обработки результатов измерений был использован графический редактор Photoshop.

Результаты исследований обрабатывались в виде графиков смещений величины почвы от вертикального пригруза (рис. 1). Состояние моделей на момент окончания испытаний представлено на рисунке 2.

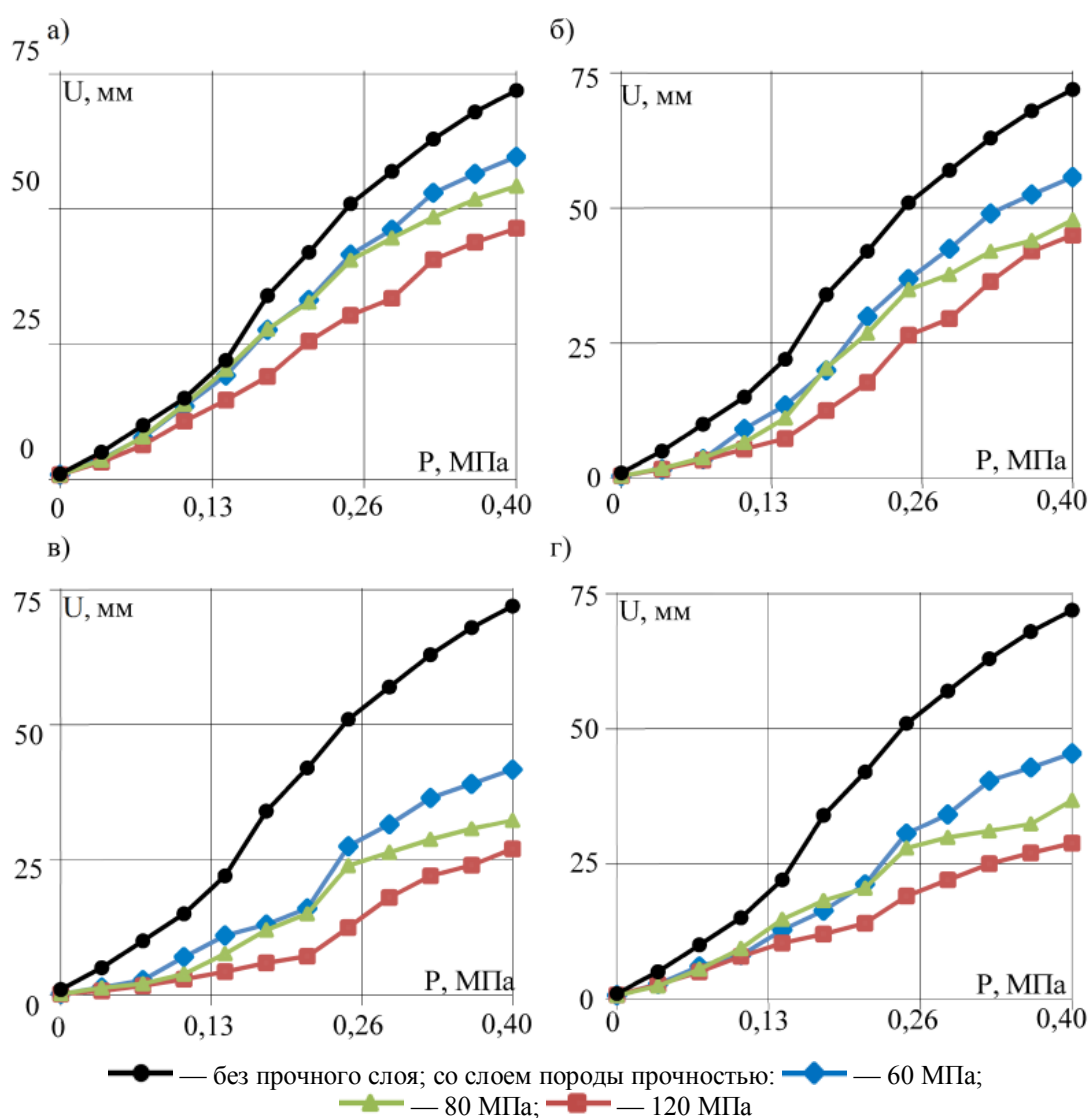


Рисунок 1 Графики зависимостей смещений контура почвы U от величины пригруза P в моделях с прочным слоем со следующими параметрами: а) $m_{пр} = 0,1В$ и $h_{пр} = 0,1В$; б) $m_{пр} = 0,1В$ и $h_{пр} = 0,3В$; в) $m_{пр} = 0,3В$ и $h_{пр} = 0,1В$; г) $m_{пр} = 0,3В$ и $h_{пр} = 0,3В$

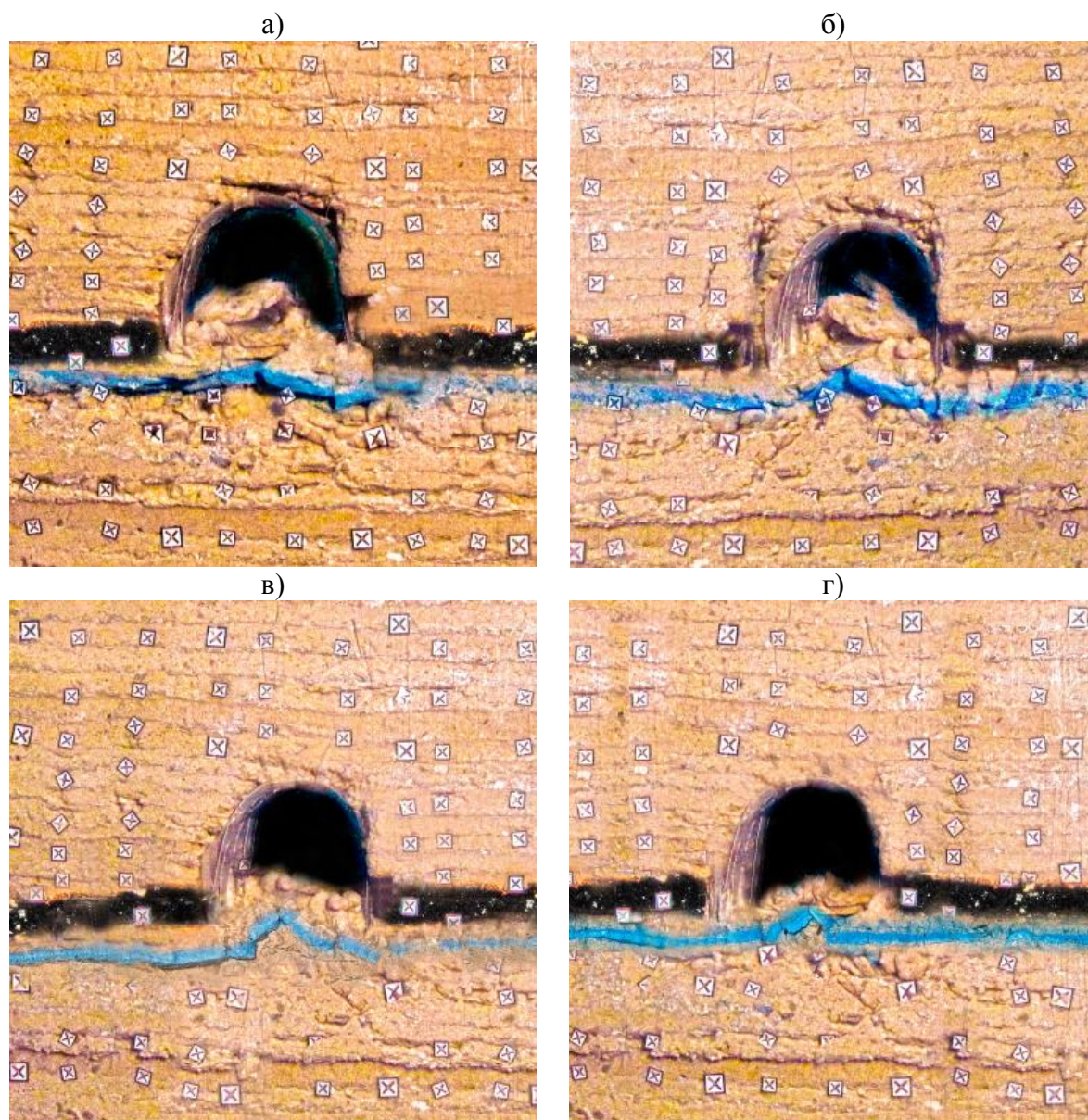


Рисунок 2 Состояние почвы выработки на момент окончания моделирования на моделях: а) № 7; б) № 8; в) № 11; г) № 12

Влияние прочного слоя и его параметров на смещения контура почвы оценивалось с помощью безразмерного коэффициента:

$$k_U = \frac{U_o - U_{пр}}{U_o},$$

где U_o — смещения пород почвы без прочного слоя, м;

$U_{пр}$ — смещения пород почвы с прочным слоем, м.

Чем больше значение этого коэффициента, тем больше положительное влияние прочного слоя на устойчивость пород почвы.

На рисунке 3 представлены результаты зависимостей коэффициента влияния прочного слоя на контур почвы k_U от величины пригруза P для следующих параметров прочного слоя: $\sigma_{сж} = 60$ МПа, $\sigma_{сж} = 80$ МПа и $\sigma_{сж} = 120$ МПа с различными сочетаниями толщины ($m_{пр}$) и глубины залегания ($h_{пр}$) прочного слоя от подошвы выработки.

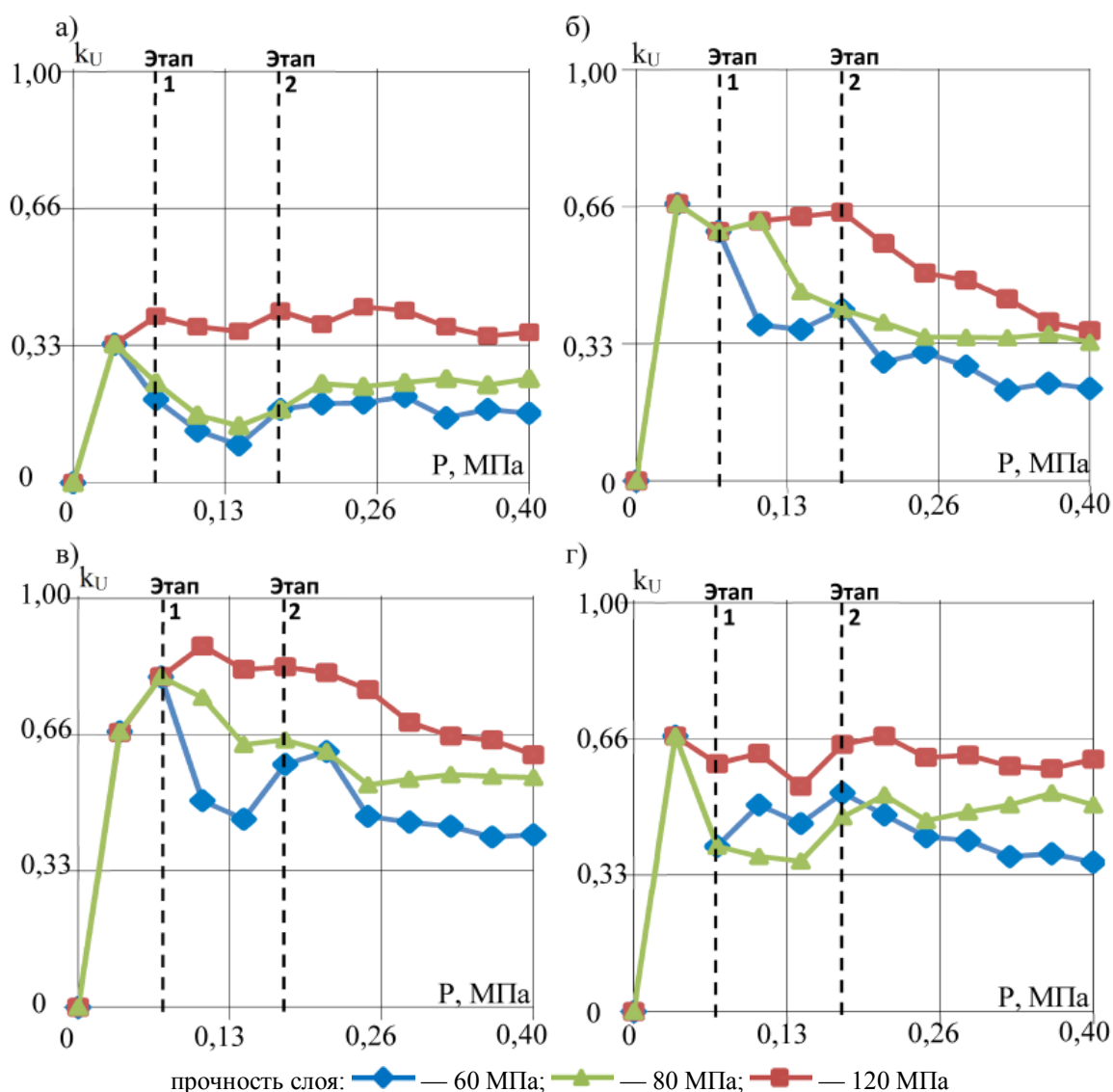


Рисунок 3 Графики зависимостей коэффициента влияния прочного слоя на смещения контура почвы k_U от величины пригруза P в моделях с прочным слоем со следующими параметрами:
 а) $m_{пр} = 0,1В$ и $h_{пр} = 0,1В$; б) $m_{пр} = 0,1В$ и $h_{пр} = 0,3В$; в) $m_{пр} = 0,3В$ и $h_{пр} = 0,1В$;
 г) $m_{пр} = 0,3В$ и $h_{пр} = 0,3В$

Анализ представленных графиков позволяет выделить два характерных этапа деформирования пород почвы. На первом этапе при увеличении пригруза начинала формироваться складка и наблюдалось равномерное смещение пород почвы. При этом в моделях с прочным слоем складкообразование слоёв происходило только над прочным слоем. На втором этапе при дальнейшем увеличении пригруза наблюдался изгиб и разлом слоёв, в том числе и прочного, и увеличение смещений пород почвы. При этом

смещения почвы в выработке с прочным слоем в 1,5 раза в среднем были меньше, чем в выработке без прочного слоя.

Деформационный процесс почвы с прочным слоем проявлялся в виде прогиба и разлома слоёв. Причём после разлома прочного слоя деформационный процесс имел более возрастающий характер, вовлекающий нижележащие слои в процесс смещений. На момент окончания 1-го этапа наибольший эффект положительного влияния прочного слоя был отмечен в моде-

лях № 7, 8, 11, 12. При этом смещения почвы выработки на момент окончания отработки для слоя прочностью $\sigma_{сж} = 60$ МПа, $\sigma_{сж} = 80$ МПа и $\sigma_{сж} = 120$ МПа были соответственно в 1,25, 1,34 и 1,55 раза ниже, чем смещения почвы без слоя.

По коэффициенту k_U видно, что интенсивность смещений почвы одиночной выработки в модели изменялась скачкообразно по мере роста величины пригруза, при этом следует отметить, что до окончания 1-го этапа прочный слой выполняет функцию элемента обратного свода крепи.

Выводы. Таким образом, проведённые исследования позволили сделать следующие выводы:

1) наличие прочного слоя в почве выработки и его параметры (мощность, прочность, глубина залегания от контура почвы) оказывают влияние на её устойчивость. При этом наибольшее влияние оказывают толщина и прочность;

2) деформирование пород почвы с прочным слоем происходит в два этапа: на 1-м

этапе складкообразование слоёв происходит только над прочным слоем; на 2-м этапе происходит изгиб и разлом прочного слоя и увеличение смещений пород почвы;

3) при наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной 0,1В наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно дальше от контура почвы, но не более 0,5В;

4) при наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной 0,3В наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно ближе к контуру почвы выработки;

5) с целью уменьшения смещений пород почвы необходимо дополнительное внешнее воздействие на прочный слой для предотвращения его разлома до наступления второго этапа деформирования.

Библиографический список

1. Касьяненко, А. Л. Обеспечение устойчивости пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Касьяненко Андрей Леонидович ; ГОУ ВПО «ДонНТУ». — Донецк, 2017. — 237 с.
2. Brady, H. G. *Rock Mechanics for underground mining [Text]* / H. G. Brady, E. T. Brown. — Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2004. — 628 p.
3. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович [и др.]. — Днепропетровск : ООО «ЛизуновПресс», 2014. — 224 с.
4. Бондаренко, В. И. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович, В. Г. Черватюк. — Днепропетровск : ООО «ЛизуновПресс», 2012. — 236 с.
5. Снигур, В. Г. Закономерности пучения пород почвы пластовых выработок [Текст] / В. Г. Снигур // Уголь Украины. — 2014. — № 7. — С. 3–5.
6. Медведев, И. Ф. Механизация проведения горных выработок в крепких породах [Текст] / И. Ф. Медведев, А. А. Феценко, С. И. Одинец. — М. : «Недра», 1982. — 166 с.

© Касьян Н. Н.

© Петренко Ю. А.

© Касьяненко А. Л.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. УП ДонНТУ Клочко И. И., к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.

Статья поступила в редакцию 15.05.19.

д.т.н. Касьян М. М., д.т.н. Петренко Ю. А., к.т.н. Касьяненко А. Л. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, rpm@mine.donntu.org)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІЦНОГО ШАРУ У СКЛАДІ ПОРІД ПІДОШВИ ВИРОБКИ НА ЇЇ СТІЙКІСТЬ

Наведено результати лабораторних досліджень на моделях з еквівалентних матеріалів. Встановлено, що деформування порід підшви з міцним шаром відбувається в два етапи: на 1-му етапі складкоутворення шарів відбувається тільки над міцним шаром; на 2-му етапі відбувається вигин та розлом міцного шару із збільшенням зсувів порід підшви. При цьому якщо товщина міцного шару, при ширині виробки B , не перевищує $0,1B$, то виробку бажано розташовувати відносно вміщуючих порід так, щоб міцний шар залягав якнайдалі від контуру підшви, але не більше $0,5B$. При наявності у підшві виробки шару міцних порід товщиною $0,3B$ найбільший позитивний ефект досягається, якщо розташовувати виробку щодо вміщуючих порід так, щоб міцний шар залягав якомога ближче до контуру підшви виробки.

Ключові слова: гірнича виробка, породи підшви, міцний шар, еквівалентні матеріали, зона зруйнованих порід, критерій подібності.

Doctor of Technical Sciences Kasyan N. N., Doctor of Technical Sciences Petrenko Yu. A., PhD in Engineering Kasyanenko A. L. (SEI HPE «DonNTU», Donetsk, DPR, rpm@mine.donntu.org)

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A HARD LAYER IN FLOOR ROCKS COMPOSITION ON ITS RESISTANCE

The laboratory results on models of equivalent materials are given. It has been found out that the deformation of floor rocks with a hard layer occurs in two stages: at the 1st stage, the folding of layers occurs only over a hard layer; at the 2nd stage — the bending and breaking of a hard layer occurs as well as the increasing of the floor rock displacement. Herewith, if the thickness of a hard layer do not surpass $0,1B$, when the width of tunnel is B , so it's required to locate the tunnel relative to the adjacent rocks, so that the hard layer occur as far as possible from the contour of the floor, but not more than $0,5B$. If there is a hard layer with a thickness of $0,3B$ in the floor rocks, the positive effect is achieved if the tunnel is located relative to the adjacent rocks so that the hard layer occur as close as possible to the contour of the floor tunnel.

Key words: mine tunnel, floor rocks, hard layer, equivalent materials, zone of destroyed rocks, similarity criterion.