

УДК 622.831.312:552.122

к.т.н. Касьяненко А. Л.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, rpm@mine.donntu.org)

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНЫЙ СЛОЙ ПОРОД ПОЧВЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЁ УСТОЙЧИВОСТИ

Приведены результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов. Для уменьшения смещений пород почвы используется механическое воздействие на прочный слой для предотвращения его разлома до наступления второго этапа деформирования. В качестве способа механического воздействия предложено создавать систему «прочный слой — крепь усиления — рама основной крепи» путем установки крепи усиления, контактирующей с прочным слоем через продольный лежень. Применение разработанного способа эффективно на первом этапе деформирования пород почвы, при этом смещения контура почвы могут быть снижены в 1,5–2 раза по сравнению с моделями без мероприятий.

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

Актуальность, цель и задачи исследований. Ранее выполненные исследования [1] позволили установить, что 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 оказывает толщина и прочность. Деформирование пород почвы с прочным слоем происходит в два этапа: на 1-м этапе складкообразование слоев происходит только над прочным слоем; на 2-м этапе происходит изгиб и разлом прочного слоя и увеличение смещений пород почвы.

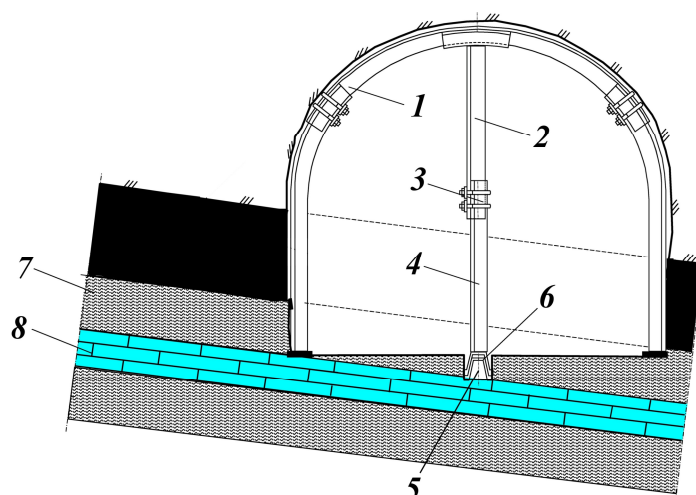
Таким образом, вопрос использования несущей способности прочного слоя в почве выработки для повышения её устойчивости и изучение процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя является актуальной научно-технической задачей.

Постановка задачи. Задача данных исследований — установить возможность использования несущей способности прочного слоя на устойчивость пород почвы.

Изложение материала и его результаты. Наиболее перспективным направлением обеспечения устойчивости горных выработок является механическое силовое

воздействие на вмещающий массив горных пород, позволяющее использовать их несущую способность [2–6]. Исходя из вышесказанного, был предложен способ механического воздействия [7, 8], заключающийся в создании системы «прочный слой — крепь усиления — рама основной крепи» с помощью упорно-лежневой крепи усиления (рис. 1).

Сущность данного способа заключается в следующем. Под верхняком основной крепи 1 последовательно устанавливают вдоль выработки крепь усиления, которая состоит из верхней 2 и нижней 4 частей стойки из отрезков металлического профиля, соединенных между собой замковым соединением 3. В почве выработки 7 сооружают канавку 5, в которую укладывают лежень 6. Глубина канавки определяется глубиной залегания прочного слоя 8. На уложенный лежень 6 устанавливают крепь усиления таким образом, чтобы нижняя часть стойки крепи усиления 4 входила в зацепление с лежнем 6 посредством жестко закрепленного на ней отрезка металлического профиля, а верхняя часть стойки крепи усиления 2 посредством жестко соединенного с ней отрезка металлического профиля входила в зацепление с верхняком основной крепи 1.



1 — рама основной крепи; 2 — верхняя часть стойки крепи усиления; 3 — замок крепи усиления; 4 — нижняя часть стойки крепи усиления; 5 — продольная канавка; 6 — продольный лежень в канавке; 7 — почвы выработки, 8 — прочный слой пород почвы

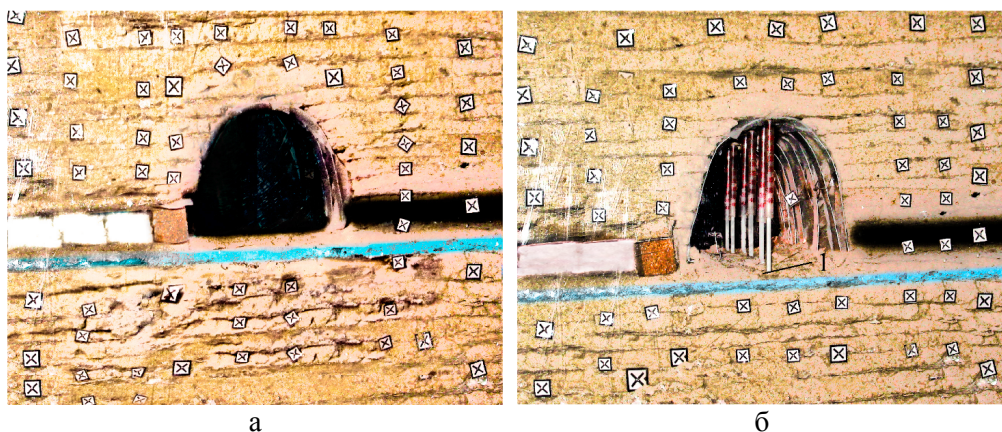
Рисунок 1 Общий вид предлагаемого способа

Для оценки эффективности способа были проведены исследования на моделях из эквивалентных материалов с использованием плоского стенда с внутренними рабочими размерами $76 \times 58 \times 16$ см, обеспечивающими соблюдение граничных условий при выбранном масштабе моделирования 1:50. Процессы деформирования моделируемого породного массива изучались в одиночной пластовой выработке шириной B при механическом воздействии на прочный слой в почве. За прочный слой

принимался слой пород, прочность которого на 50 % и более превышает прочность остальных вмещающих пород.

Было отработано 12 моделей со следующими параметрами прочного слоя: толщина $m_{np}=0,1B$ и $m_{np}=0,3B$; глубина залегания $h_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,3B$; прочность $\sigma_{сж}=60$ МПа, $\sigma_{сж}=80$ МПа и $\sigma_{сж}=120$ МПа.

Состояние выработок без мероприятий и с их применением на момент начала моделирования показаны на рисунке 2.



1 — упорно-лежневая крепь усиления, контактирующая с прочным слоем почвы

Рисунок 2 Общее состояние выработок в начале моделирования:
а) без мероприятий; б) с мероприятиями

Результаты исследований обрабатывались в виде графиков смещений величины почвы от вертикального пригруза. На рисунке 3 пунктиром показаны полученные результаты с мероприятиями, а сплошной линией — без их применения в аналогичных моделях в ранее выполненных исследованиях [1].

Эффективность предлагаемого способа оценивалась с помощью коэффициента k_{ε} , определяемого по формуле

$$k_{\varepsilon} = \frac{U_{np}^B}{U_{np}^M},$$

где U_{np}^M , U_{np}^B — смещения пород почвы с применением мероприятий по обеспечению устойчивости почвы выработки и без их применения.

На рисунке 4 представлены графики зависимостей коэффициента k_{ε} от величины пригруза P .

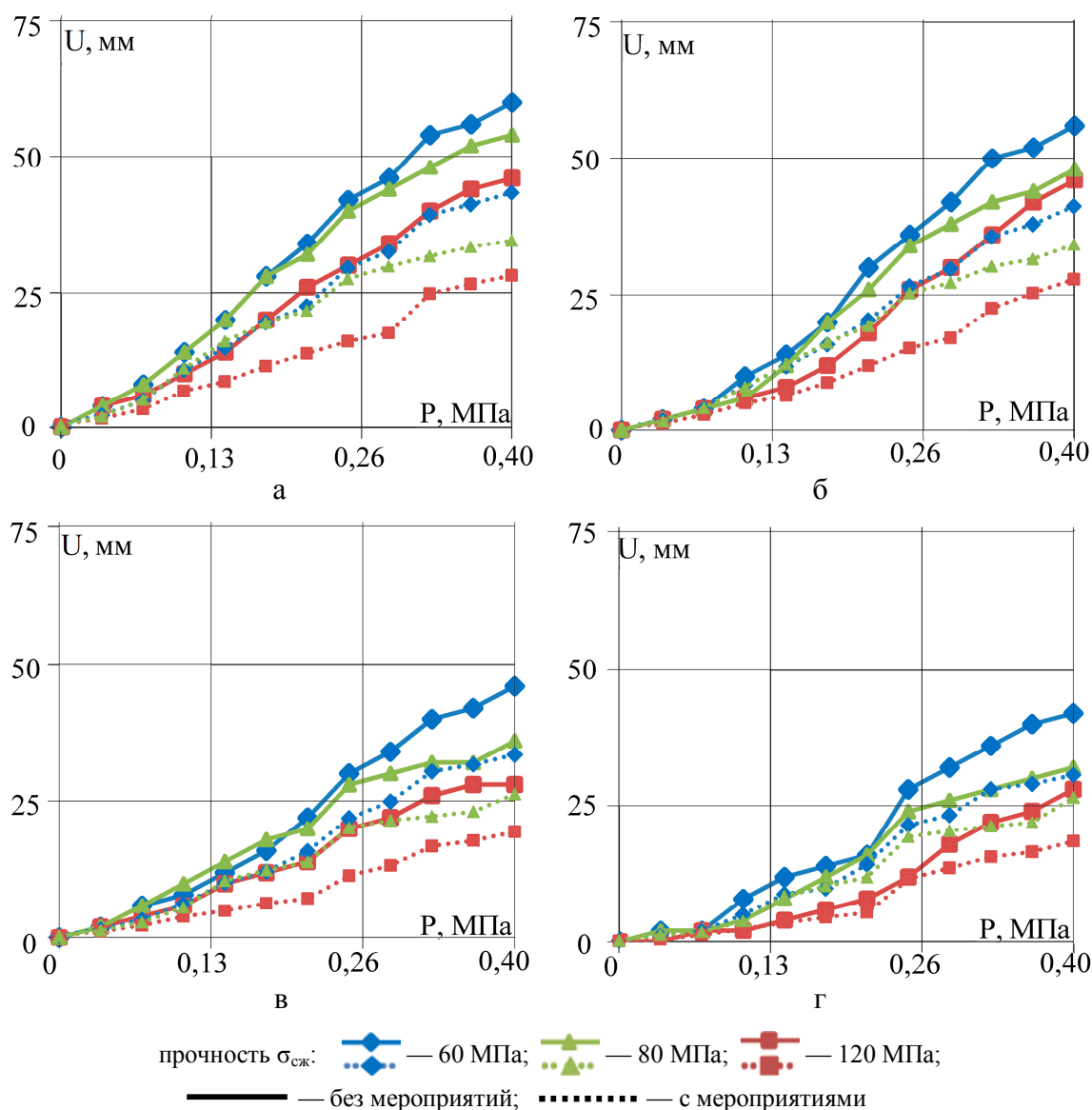


Рисунок 3 Графики зависимостей смещений контура почвы U от величины пригруза P в моделях с прочным слоем со следующими его параметрами:

а) $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,1B$; б) $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,3B$;

в) $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,1B$; г) $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,3B$

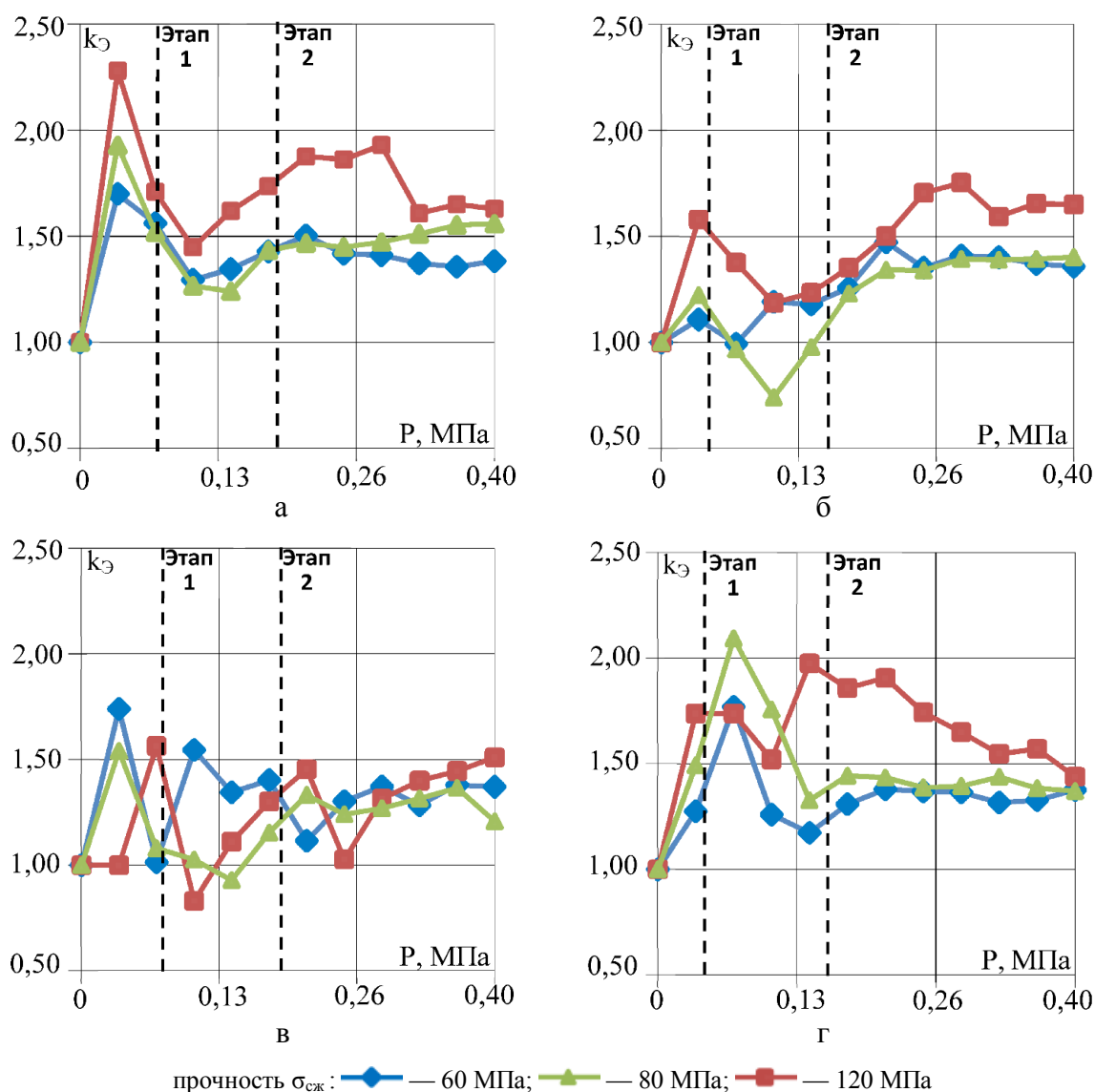


Рисунок 4 Графики зависимостей коэффициента эффективности $k_{\text{э}}$ от величины пригруза P в моделях при механическом воздействии на прочный слой со следующими его параметрами:

а) $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,1B$; б) $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,3B$;

в) $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,1B$; г) $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,3B$

Из рисунка 4 видно, что при $k_{\text{э}} > 1$ предлагаемый способ эффективен. При этом для условий $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,1B$, $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,3B$ эффект наблюдается на всех этапах деформирования пород почвы для всех прочностей. А для условий $m_{np}=0,1B$ и $h_{np}=0,3B$, $m_{np}=0,3B$ и $h_{np}=0,1B$ при прочности слоя 60 МПа положительный эффект от способа наблюдается только на втором этапе деформирования пород почвы. При $k_{\text{э}} < 1$ отсутствие эффекта от применения

данного способа объясняется нарушением сплошности прилегающих к контуру выработки пород почвы в процессе установки лежня и крепи усиления, что вызывает и увеличение смещений на первом этапе деформирования.

Приведенные результаты показывают, что величина смещений контура почвы на первом этапе деформирования для моделируемой прочности слоя $\sigma_{сж}=60$ МПа уменьшилась в 1,17–1,77 раза, при

$\sigma_{сж} = 80$ МПа — в 1,15–2,10 раза, при $\sigma_{сж} = 120$ МПа — в 1,11–1,98 раза по сравнению с моделями без предложенного способа. На втором этапе деформирования величина смещений контура почвы для моделируемой прочности слоя $\sigma_{сж} = 60$ МПа уменьшилась в 1,11–1,50 раза, при $\sigma_{сж} = 80$ МПа — в 1,21–1,56 раза, при $\sigma_{сж} = 120$ МПа — в 1,32–1,93 раза по сравнению с моделями без предложенного способа.

В целом, сравнивая полученные результаты с ранее выполненными исследованиями [1], можно сделать вывод, что при использовании предлагаемого способа величина смещений поднятия почвы выработки снизилась в 1,5–2 раза. При этом,

путем разборки модели по срезам почвы (рис. 5), было установлено, что без предложенных мероприятий при деформировании пород почвы происходит разлом прочного слоя за счет складкообразования нижележащих слоев 1 (см. рис. 5, а). После разлома прочного слоя охранный сооружение начинает воздействовать на породы почвы как штамп, спровоцировав дальнейший рост их смещений. Создание системы «прочный слой — крепь усиления — рама основной крепи» стабилизировало и уменьшило процесс складкообразования 2 (см. рис. 5, б), вызванный нижележащими породами, что позволило сохранить целостность прочного слоя и обеспечило устойчивость пород почвы.

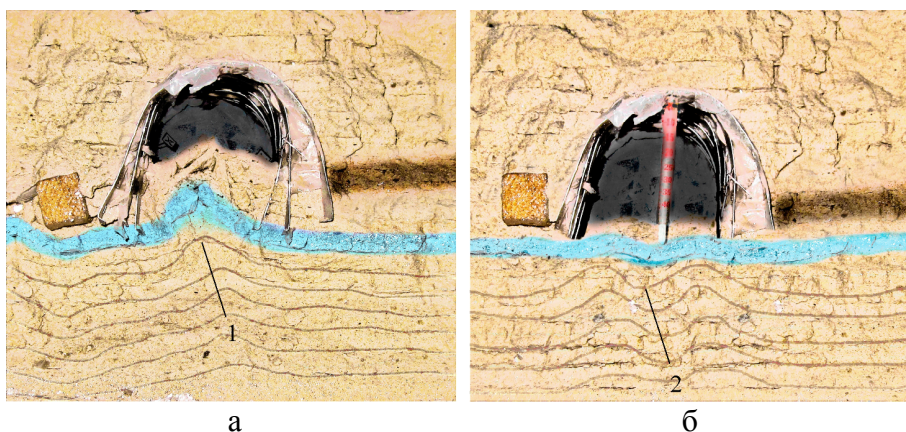


Рисунок 5 Общее состояние выработок в виде срезов моделей в конце моделирования:

а) без мероприятий; б) с мероприятиями; складкообразование пород почвы:

1 — нижележащих слоев; 2 — от механического воздействия

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

1) с целью уменьшения смещений пород почвы необходимо дополнительное механическое воздействие на прочный слой для предотвращения его разлома до наступления второго этапа деформирования;

2) в качестве способа механического воздействия было предложено создавать систему «прочный слой — крепь усиления — рама основной крепи» путем установки крепи усиления, контактирующей с прочным слоем через продольный лежень;

3) применение разработанного способа оказывает наибольший эффект на первом этапе деформирования пород почвы, при этом смещения контура почвы уменьшились в 1,5–2 раза по сравнению с моделями без мероприятий;

4) оптимальной областью применения разработанного способа являются следующие условия: прочный слой с толщиной $m_{np} = 0,1B$ и глубиной залегания от контура почвы $h_{np} = 0,1B$ и прочностью $\sigma_{сж} = 60$ МПа и более.

Библиографический список

1. Касьян, Н. Н. Исследование влияния прочного слоя в составе пород почвы выработки на её устойчивость [Текст] / Н. Н. Касьян, Ю. А. Петренко, А. Л. Касьяненко // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». — 2019. — № 14 (57). — С. 5–11.
2. 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 : ЛізуновПрес, 2014. — 224 с.
3. 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 «ЛизуновПрес», 2012. — 236 с.
4. Халимендик, Ю. М. Влияние отпора крепи на деформирование подготовительных выработок в зоне воздействия очистных работ [Текст] / Ю. М. Халимендик, А. С. Барышников // Розробка родовищ : зб. наук. пр. — Дніпропетровськ : Літограф, 2015. — Т. 9. — С. 85–91.
5. Сарычев, В. И. Расчетная модель геомеханической системы «комбинированная крепь — слоистый массив пород» [Текст] / В. И. Сарычев, С. И. Шестаков // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. — Тула, 2009. — Вып. № 3. — С. 272–281.
6. Литвинский, Г. Г. Влияние пассивного отпора пород на работоспособность арочной рамной крепи [Текст] / Г. Г. Литвинский, Е. Е. Павлов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 30 — С. 5–15.
7. Пат. 99028 Україна, МПК⁸ E21D 11/14. Спосіб підтримання гірничих виробок / Г. І. Соловійов, А. Л. Касьяненко ; заявник і власник Донецький національний технічний університет. — № а201015254 ; заявл. 25.06.12 ; опубл. 10.07.12, Бюл. № 13. — 2 с.
8. Пат. 103110 Україна, МПК⁸ E21D 11/00, E21D 20/00, E21C 41/18. Спосіб охорони виїмкових виробок у шаруватих породах підповерх, схильних до зсидання / Г. І. Соловійов, А. Л. Касьяненко, Е. В. Поляков ; заявник і власник Донецький національний технічний університет. — № а201203091 ; заявл. 16.03.12 ; опубл. 10.09.13, Бюл. № 17 — 8 с.

© Касьяненко А. Л.

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

Статья поступила в редакцию 22.04.20.

PhD in Engineering Kasyanenko A. L. (DonNTU, Donetsk, DPR, rpm@mine.donntu.org)
JUSTIFICATION OF THE METHOD OF MECHANICAL IMPACT ON THE SOLID
BEDROCK LAYER TO ENSURE ITS STABILITY

The laboratory findings on equivalent models are presented. To reduce the shifts of soil rocks, it was proposed to apply mechanical action on the solid layer to prevent it from breaking before the second stage of deformation. As a method of mechanical action, it was proposed to create a system “solid layer — reinforcement support — frame of the main support” by installing a reinforcement support that contacts the solid layer through a longitudinal sill. The application of the developed method is effective at the first stage of deformation of soil rocks, while the shift of the soil contour has decreased by 1,5–2 times compared to models without measures.

Key words: mine working, soil rocks, solid layer, equivalent material, area of the destroyed rocks, similarity parameter.