

- [6] Э. И. Ефремов и др., *Разрушение горных пород энергией взрыва*. Киев, СССР: Наук. думка, 1987.
- [7] ВНТП 13-1-86, *Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки*. Ленинград, СССР: Минчермет, 1986.
- [8] Ф. А. Авдеев, В. Л. Барон, Н. В. Гуров, В. Х. Кантор. *Нормативный справочник по буровзрывным работам*. Москва, СССР: Недра, 1986.
- [9] В. Г. Кравець, В. В. Коробійчук, та О. А. Зубченко, *Руйнування гірських порід вибухом: навч. посібник*. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2012.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2017р.

УДК 622.83

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.98824

С.Г. Негрей, к.т.н., доц. (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»)

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ПОРОДНЫХ ОПОР ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

S. Nehrii (Public higher education institution Donetsk National Technical University)

ABOUT POSSIBILITY OF CREATION OF STABLE ROCK PILLARS TO ENSURE THE OPERATIONAL STATUS OF THE PREPARATORY WORKINGS

Проведены испытания породных опор на предмет возможности сооружения устойчивых обособленных конструкций. Установлено, что их устойчивость может быть достигнута послойной выкладкой рядовой породы и металлических сеток из арматурной стали, а сооружение данных конструкций на границе между выработкой и выработанным пространством позволяет сохранить эксплуатационное состояние выработки. Выдвинуто предположение о том, что, применение опор с эллипсоидной формой оснований, ориентацией их большей осью перпендикулярно оси выработки и оставлением компенсационных полостей, позволит уменьшить смещения подстилающих пород почвы в полость выработки.

Ключевые слова: *средство охраны; породная опора; моделирование; испытание; компенсационная полость.*

Проведено випробування породних опор щодо можливості спорудження стійких відокремлених конструкцій. Встановлено, що їх стійкість може бути досягнута пошаровим викладенням рядової породи і металевих сіток з арматурної сталі, а спорудження даних конструкцій на межі між виробкою та виробленим простором дозволяє зберегти

експлуатаційний стан виробки. Висунуто припущення про те, що застосування опор з еліпсоподібною формою в основі, які будуть орієнтовані більшою віссю перпендикулярно вісі виробки та між якими будуть компенсаційні порожнини, дозволить зменшити зміщення порід підлоги в порожнину виробки.

Ключові слова: засіб охорони; породна опора; моделювання; випробування; компенсаційна порожнина.

Tests of rock supports for the possibility of constructing stable isolated structures have been carried out. It was established that the stability of these supports can be achieved by layer-by-layer laying of the ordinary rock and metal mesh of reinforcing steel, and the construction of these structures at the boundary between the production and the developed space allows to maintain the operational state of the production. It has been suggested that the use of supports with an ellipsoidal shape of the bases, their orientation with a larger axis perpendicular to the production axis and the leaving of the compensation cavities, will reduce the displacement of the underlying soil rocks into the cavity of development.

Keywords: the ways of protection; rock supports; modeling; test; compensating cavity.

Введение. Одним из основных направлений экономического развития Украины является увеличение объема добычи угля. Но в данных условиях это возможно лишь при отработке угольных пластов на больших глубинах. Поэтому, в настоящее время, большое внимание уделяется технологиям, применение которых обеспечило бы безопасное и рентабельное извлечение полезного ископаемого. Сюда стоит отнести и широкое применение комбинированных систем разработки, предусматривающих прогрессивные схемы проветривания выемочных участков, анкерных систем, обеспечивающих высокие скорости и низкую стоимость проведения выработок, перспективных средств охраны подготовительных выработок позади лавы для обеспечения безремонтного их поддержания и т.д.

По нашему мнению, к перспективным средствам охраны стоит отнести охранные сооружения на основе использования рядовой породы и ограничивающих поверхностей. Основой данных конструкций является рядовая порода, отходы металлургического производства, зола из котельных, работающих на твердом топливе и др. В качестве ограничивающих элементов могут быть автомобильные шины, мешки, элементы крепи, деревянные или металлические стержни, листовой металл и т.д. Совместно с ограничивающими поверхностями породный объем работает как единая, достаточно устойчивая конструкция, которая способна противостоять интенсивному расслоению пород кровли и, тем самым, обеспечивать устойчивость охраняемой выработки.

Традиционные технологии охраны выработок, как правило, предусматривают ленточное размещение конструкции вдоль выработки. Не исключается также возможность создания обособленных жестких опор с оставлением между ними компенсационных полостей [1]. Наибольшая эффективность этого способа может быть обеспечена в том случае, когда опоры будут иметь форму прямоугольных параллелепипедов, длина оснований которых будет перпендикулярна продольной оси выработки. При оставлении между соседними опорами полостей существенно уменьшается влияние

вертикальной компоненты горного давления на выработку. Под действием горного давления силы, выдавливающие подстилающие породы, направляются в компенсационные полости, чем обеспечивается уменьшение смещений пород почвы выработки. Длина оснований опор должна быть не менее чем в 2 раза больше их ширины, а ширина полостей – $0,5 \div 2,0$ от ширины основания опоры.

По нашему мнению, альтернативным вариантом реализации данной технологии может быть сооружение вдоль выработки обособленных породных опор. Но, вследствие того, что опоры должны быть с ограниченными геометрическими размерами, определенной формы и заданной ориентацией относительно выработки, для обеспечения их устойчивости необходимо применение различных ограничивающих элементов (металлических сеток, георешеток и др.). А, так как при данном способе принципиальным является наличие компенсационных полостей, сохранность формы опор принимает первостепенное значение.

При определенных параметрах опор могут быть обеспечены необходимые условия для реализации рассматриваемой технологии. Сыпучий материал, под действием вертикальных нагрузок и при отсутствии ограничивающих поверхностей, имеет большую усадку, расплзается в горизонтальной плоскости, принимает неконтролируемые формы в основании и может заполнять компенсационные полости. Для сохранения формы опор, по нашему мнению, необходимо их послойное возведение с укладкой между слоями металлических сеток из арматурной стали.

Целью работы является установление возможности обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок применением обособленных породных опор, армированных металлическими сетками.

Результаты исследований. В рассматриваемой охранной конструкции ключевым элементом являются ограничивающие поверхности, параметры которых существенно влияют на несущую способность всего сооружения. Их основными параметрами являются: материал, его шероховатость, жесткость, размер ячеек в сетке и т.д. Немаловажное значение имеет количество и высота породных слоев, между которыми укладываются армирующие конструкции.

В шахтных условиях к выбору материала сетки должны предъявляться следующие требования: материал должен быть не горюч и при эксплуатации безвреден для человека и окружающей среды. Поэтому целесообразным будет применение металлических сеток из арматурных стержней.

Параметры разрабатываемого способа определялись с использованием метода структурного моделирования с соблюдением геометрического, кинематического и динамического подобий [2]. Выбор данного метода обусловлен тем, что он позволяет исследовать механические процессы, происходящие в породно-сетчатой конструкции.

Лабораторные исследования производились на структурных моделях в масштабе 1:10. Испытывались породные объемы в форме параллелепипеда размерами $0,1 \times 0,1 \times 0,15$ и $0,1 \times 0,1 \times 0,2$ м, заключенные до начала испытаний в бумажные опалубки (рис. 1а). После засыпки объемов и размещения их на

прессе опалубка извлекалась, вследствие чего испытываемые породные опоры в результате естественной подвижности сыпучего материала теряли высоту и принимали определенную форму (рис. 1б).

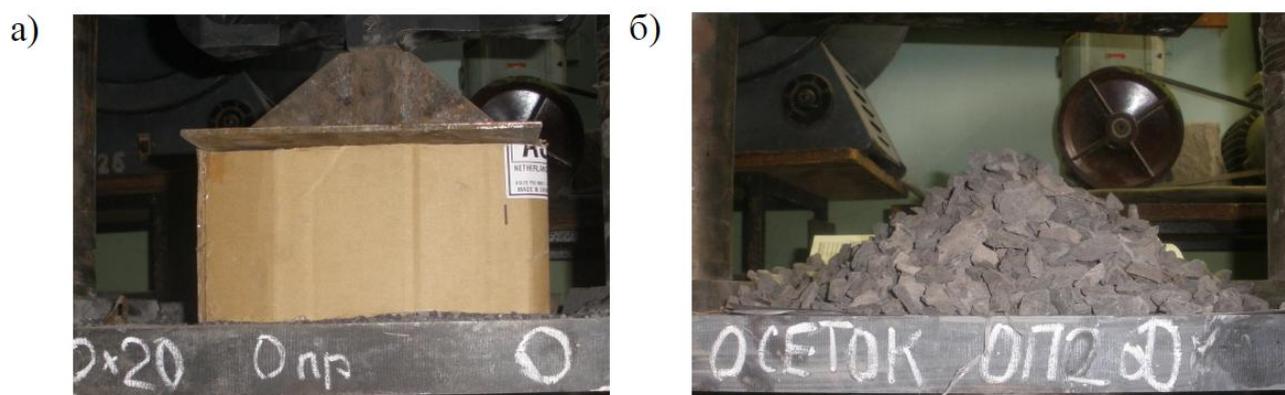


Рис. 1. Общий вид моделируемого объема в опалубке (а) и после ее снятия (б) перед началом испытаний

Производились испытания объемов без армирования, с разным количеством сеток (от 1-ой до 3-х) и различным фракционным составом породных отделиностей ($0 \div 1,5$ мм, $1,6 \div 5$ мм и $5,1 \div 10$ мм). Также рассматривались опоры с различными соотношениями ширины и длины оснований (1:2 или 2:3). Одинаковые условия засыпки объемов позволили моделировать различные опоры с одинаковыми плотностными характеристиками.

После естественного формирования опор они пошагово пригружались нагрузками до 14 кН (рис. 2). По мере испытаний выполнялись промежуточные замеры высоты опор и фиксация значений прикладываемой нагрузки. По результатам замеров получены зависимости величины усадки опор от величины пригрузки при различных параметрах опор (рис. 3, 4).

Устойчивость бутовых полос и различных породных конструкций зависит от параметров формируемого в ней несущего ядра [3], а в нашем случае имеет значение также форма этого ядра. Поэтому для установления формы и параметров ядер испытываемых опор были получены их оттиски. Для этого перед испытаниями под исследуемые опоры укладывались копирка с листом белой бумаги. Передача пригрузки через породные объемы и копки позволила получить на бумаге следы от ядер опор с различными параметрами (рис. 5, 6).



Рис. 2. Общий вид испытываемых объемов с различными фракционными составами и с различным количеством металлических сеток в опорах

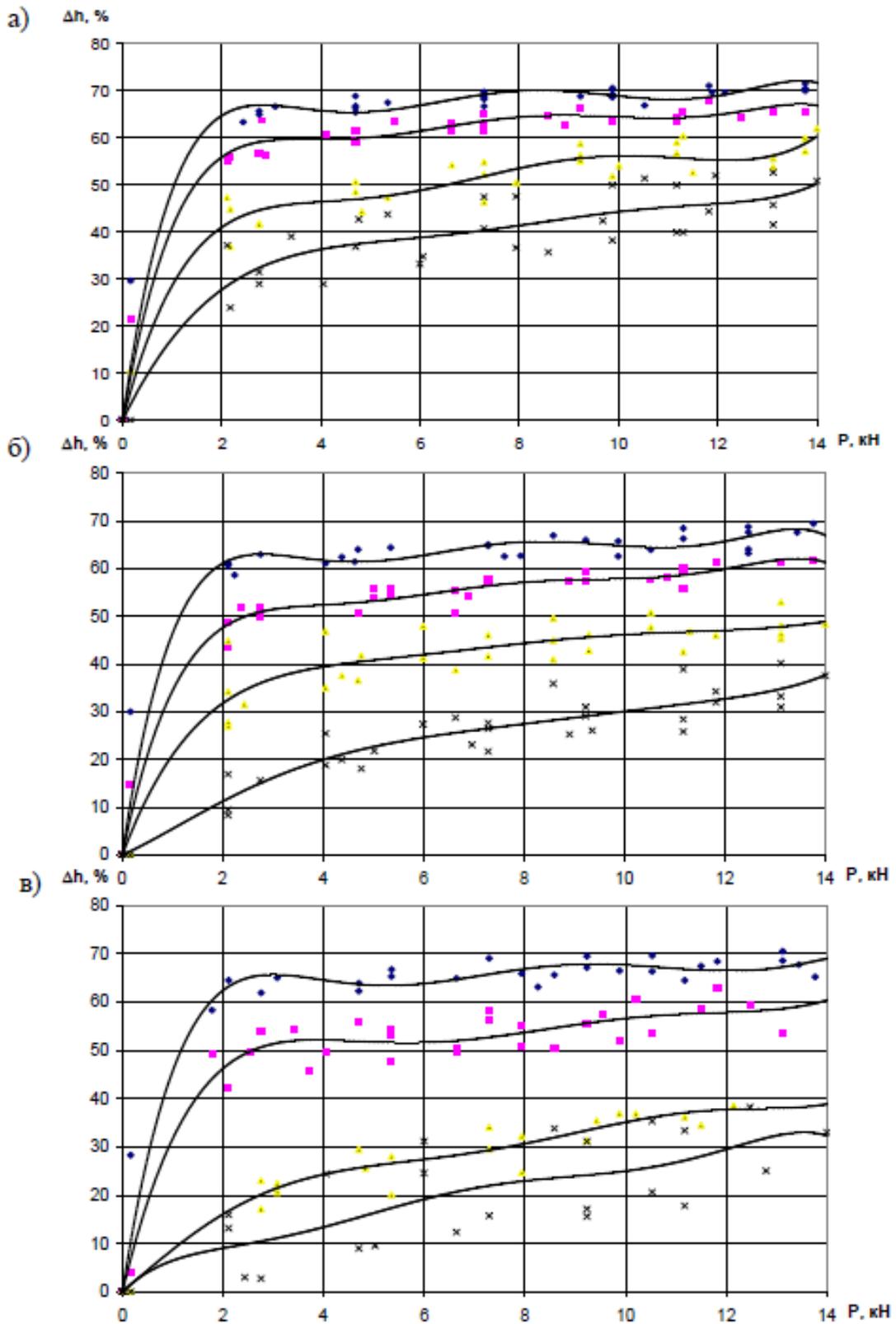


Рис. 3. Зависимость величины усадки охранного сооружения от величины нагрузки при различном количестве разделительных прокладок с соотношением сторон основания опоры равным 2:3 и различным фракционным составом породных отделиностей d_ϕ (а, б и в, соответственно при $d_\phi=(0\div 0,015)h$; $(0,016\div 0,05)h$ и $(0,05\div 0,1)h$, где h - высота породной опоры)

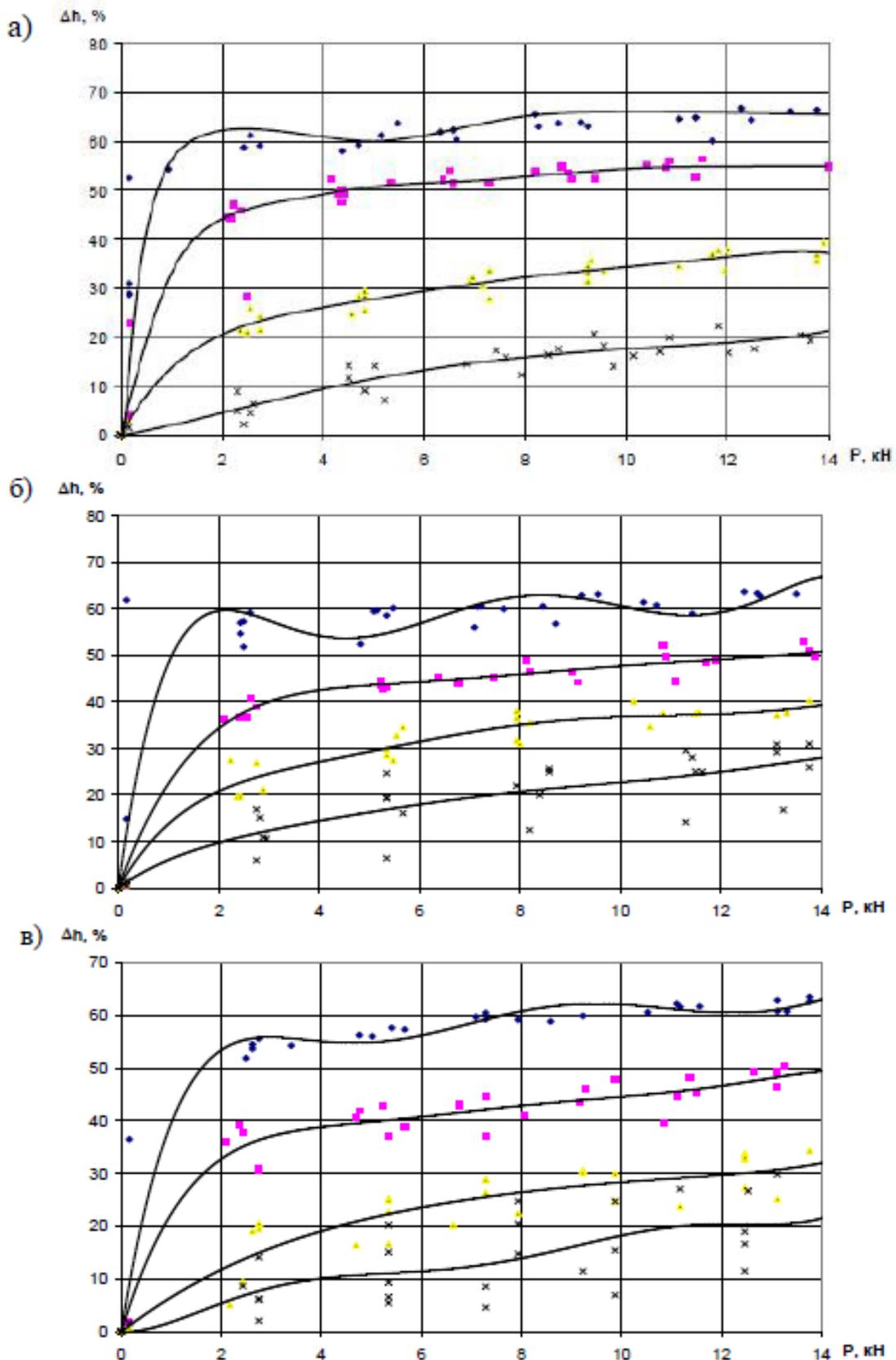


Рис. 4. Зависимость величины усадки охранного сооружения от величины нагрузки при различном количестве разделительных прокладок с соотношением сторон основания опоры равным 1:2 и различным фракционным составом породных отделиностей d_{ϕ} (а, б и в, соответственно при

$$d_{\phi}=(0\div 0,015)h; (0,016\div 0,05)h \text{ и } (0,05\div 0,1) h$$

Как видим, при выкладке армированных породных опор невозможно обеспечить прямоугольную форму основания, как предполагалось в начале испытаний. Но можно предположить, что применение опоры, в основании которой находится эллипс, будет более предпочтительным с точки зрения устойчивости подстилающих пород, так как в данной охранной конструкции отсутствуют углы и выступы, которые могут быть концентраторами напряжений. Поэтому при прямоугольной форме максимальные напряжения возникают в угловых областях опоры. Поэтому первоначальное разрушение подстилающих пород происходит именно под этими областями при превышении напряжениями предела прочности пород. При округлых формах опор пиковые нагрузки на подстилающие породы существенно меньше, что может указывать на эффективность применения именно таких форм.

Также, по аналогии с прямоугольной формой [4], больший объем выдавливаемых пород будет приходиться на секторы эллипса, симметричные его малой оси, а меньший – секторы, симметричные большой оси эллипса. Это подтверждается результатами определения перемещений в однородном, изотропном полупространстве при внедрении в него жесткого эллипсоидного штампа [5], которые показали, что смещения в поперечном сечении эллипса практически в 1,5 раза больше смещений в его продольном сечении.

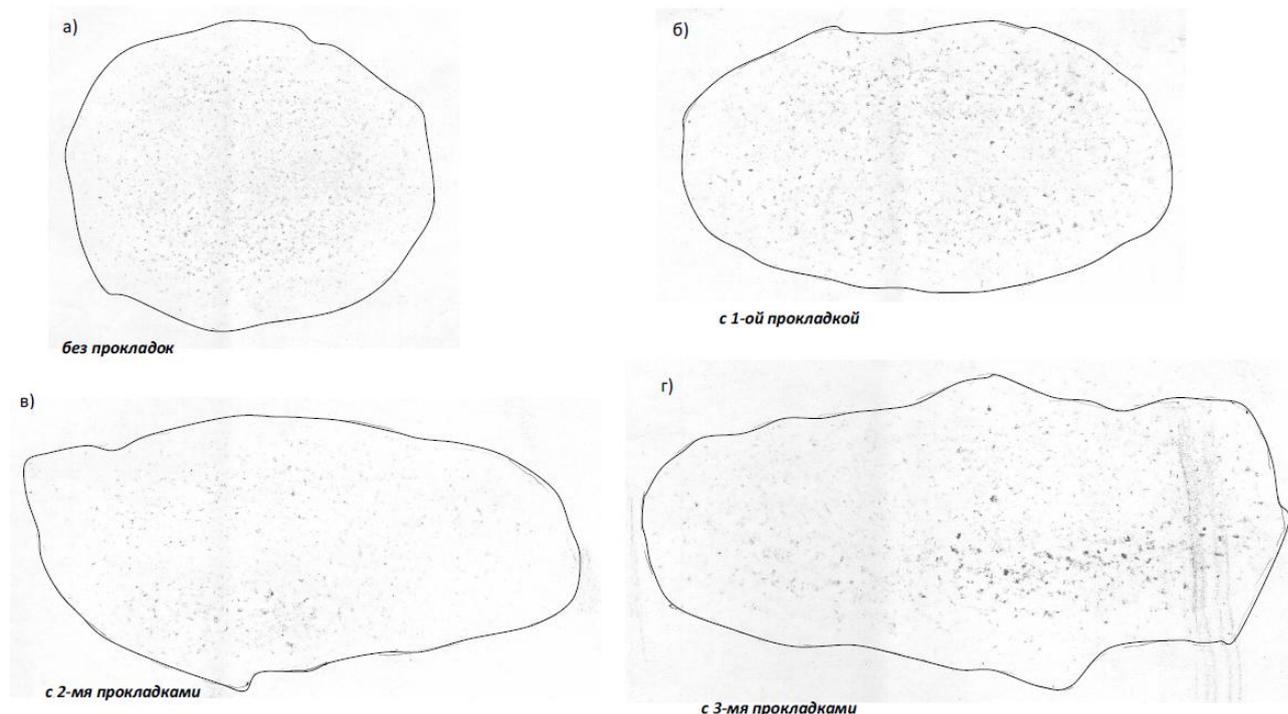


Рис. 5. Общий вид отиска ядра охранного сооружения при различном количестве прокладок (фракция $d_{\phi}=(0\div 0.015)h$ и начальный размер основания опоры 0,10×0,15м)

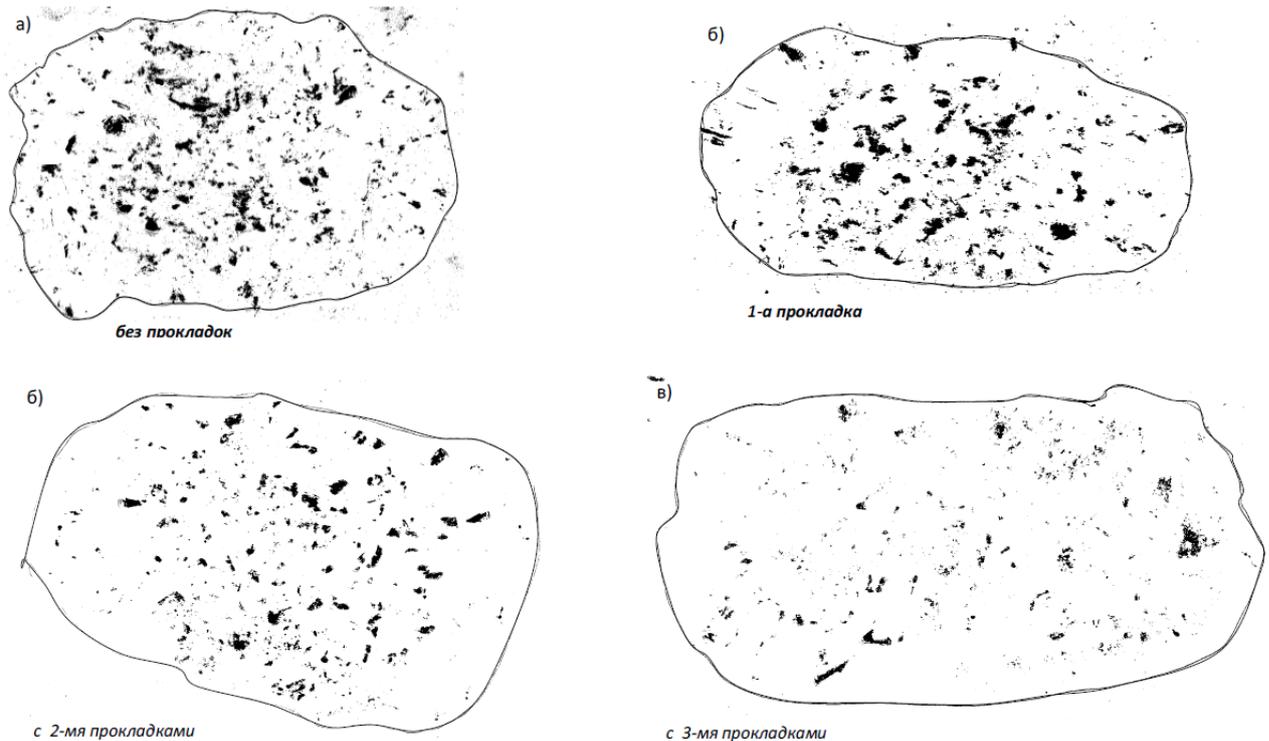


Рис. 6. Общий вид оттиска ядра охранного сооружения при различном количестве прокладок (фракция $d_{\phi}=(0,051\div 0,15)h$ и начальный размер основания опоры $0,10\times 0,15\text{м}$)

Наши предположения требуют дополнительного детального изучения деформационных процессов, происходящих в окрестности охранной конструкции эллипсоидной формы, но, в целом, с уверенностью можно утверждать, что ориентация данных конструкций большей осью основания перпендикулярно выработке и оставление между ними компенсационных полостей позитивно скажутся на устойчивости выработки.

Таким образом, поставленная в настоящей работе задача решена, а результаты данного исследования могут быть использованы для последующих изысканий в направлении разработки эффективных ресурсосберегающих технологий обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок.

Выводы

1. Усадка породной опоры без ограничивающих поверхностей достигает 65%.
2. С увеличением количества прокладок величина податливости охранного сооружения уменьшается, причем при количестве прокладок равном 3-ом величина усадки под действием пригрузки составляет 17-30% от мощности пласта в зависимости от крупности отдельных, слагающих объемы.
3. При увеличении крупности породного материала, слагающего опоры, усадка уменьшается.

4. Увеличение соотношения длины и ширины опоры приводит к уменьшению ее податливости на 20÷30%.

5. В породной насыпке без металлических сеток ядро имеет форму, близкую к кругу. Наличие сеток позволяет сформировать эллипсоидное несущее ядро с ориентацией большим диаметром перпендикулярно продольной оси охраняемой выработки.

6. Соотношение большего и меньшего диаметров эллипсоидного ядра породной опоры с 3-мя металлическими сетками по высоте соизмеряется с соотношением длины и ширины опоры перед испытаниями.

7. С увеличением крупности частиц и количества металлических сеток несущее ядро имеет четко выраженную форму.

8. Податливость породной опоры зависит от веса нависающих пород кровли, гранулометрического состава вмещающих опору пород, ее геометрических размеров (высоты, ширины и длины) и количества армирующих металлических сеток.

Ссылки

- [1] М. М. Касьян, С. Г. Негрій, В. М. Мокрієнко, та І. В. Хазіпов, «Спосіб охорони гірничих виробок». *МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01)*. № 94327, квітень 26, 2011.
- [2] Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев, М. Ф. Шклярский, и Г. Г. Юревич, *Моделирование проявлений горного давления*. Ленинград, СССР: Недра, 1968.
- [3] Ю. В. Бондаренко, “Научные основы безлюдной и безотходной технологии выемки весьма тонких пологих пластов”, дис. докт. наук, Донецк. политех. ин-т, Донецк, 1991.
- [4] В. Н. Мокриенко, С. Г. Негрей, и Д. Н. Курдюмов, “Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих его пород”, *Записки Горного института*, т. 199, с. 176-179, 2012.
- [5] В. П. Багмутов, И. Н. Захаров, и А. Ю. Иванников, “Особенности решения задачи о внедрении эллипсоидного штампа в неоднородное по упругим свойствам полупространство“ на *V Всерос. науч.-практ. конф. Инновационные технологии в обучении и производстве*, Волгоград, 2008, т. 1, с. 15-19.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2017 р.