

УДК 622.83:622.272.3:622.268.6: 624.131.43

С.Г. НЕГРЕЙ (канд.техн.наук, доц.)

ДВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Красноармейск

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ОХРАННОГО СО- ОРУЖЕНИЯ ИЗ РЯДОВОЙ ПОРОДЫ

Рассматривается эффективный ресурсосберегающий способ охраны подготовительных выработок, предполагающий сооружение породных опор и оставление между ними компенсационных полостей. На основании результатов лабораторных исследований, с привлечением положений механики грунтов, установлены параметры этого способа, при которых податливость охранной конструкции не будет превышать 17%. Применение способа охраны позволит обеспечить эксплуатационное и безопасное состояние подготовительных выработок, охраняемых позади лавы, в том числе, в условиях слабых подстилающих пород почвы.

**Ключевые слова:** поддержание горных выработок, средство охраны, рядовая порода, моделирование, механика сыпучих сред, коэффициент пористости, закон уплотнения.

**Постановка проблемы.** Усложнение горно-геологических условий отработки угольных пластов и применение технологий, предусматривающих поддержание выработок позади очистного забоя, обуславливают необходимость усовершенствования, разработки и внедрения новых средств охраны выемочных выработок. В связи с этим, заслуживающими особый интерес, являются средства охраны, предусматривающие использование рядовой породы, применение которых в определенных условиях позволяет существенно уменьшить затраты на поддержание выработок [1].

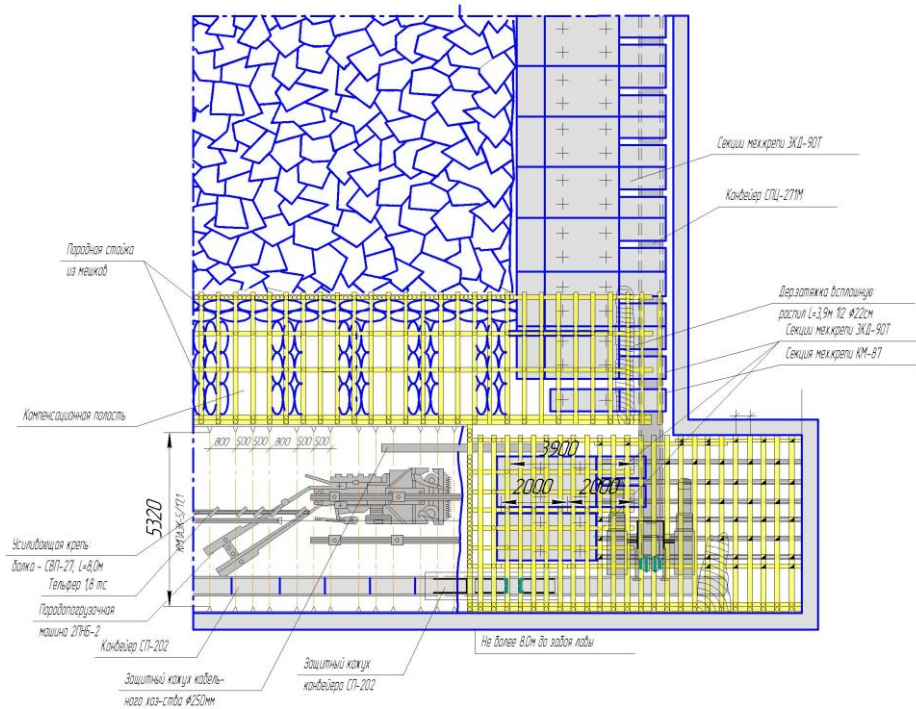
В направлении усовершенствования конструкций средств охраны, основанных на применении рядовой породы, последнее время работает кафедра разработки месторождений полезных ископаемых ДВУЗ «ДонНТУ». Предложен ряд таких конструкций с повышенной несущей способностью [1-4], в том числе, способа охраны обособленными породными опорами с компенсационными полостями [5, 6]. Сущность способа заключается в том, что позади очистного забоя, на границе выемочной выработки с выработанным пространством с определенным шагом вдоль оси выработки выкладываются отдельностоящие опоры из мешков (рис. 1), заполненных рядовой породой.

По сути, данный способ представляет собой комбинированную охранную конструкцию, так как объединяет в себе два известных способа охраны подготовительной выработки: породными стойками [2, 7] и жесткими конструкциями с компенсационными полостями [8].

Геометрические параметры отдельностоящих опор и компенсационных полостей между ними, о которых упоминалось ранее, установлены на основании лабораторных исследований конструкций из жестких элементов [8, 9]. Если при определенных условиях породным опорам обеспечить достаточную податливость (по аналогии с полублоками [9] и тумбами БЖБТ [10] – до 15-20%), при которой их можно считать жесткими, то эти параметры будут справедливы для предлагаемого способа. Для прочих условий возникает необходимость в уточнении параметров данного средства охраны с учетом основных влияющих факторов.

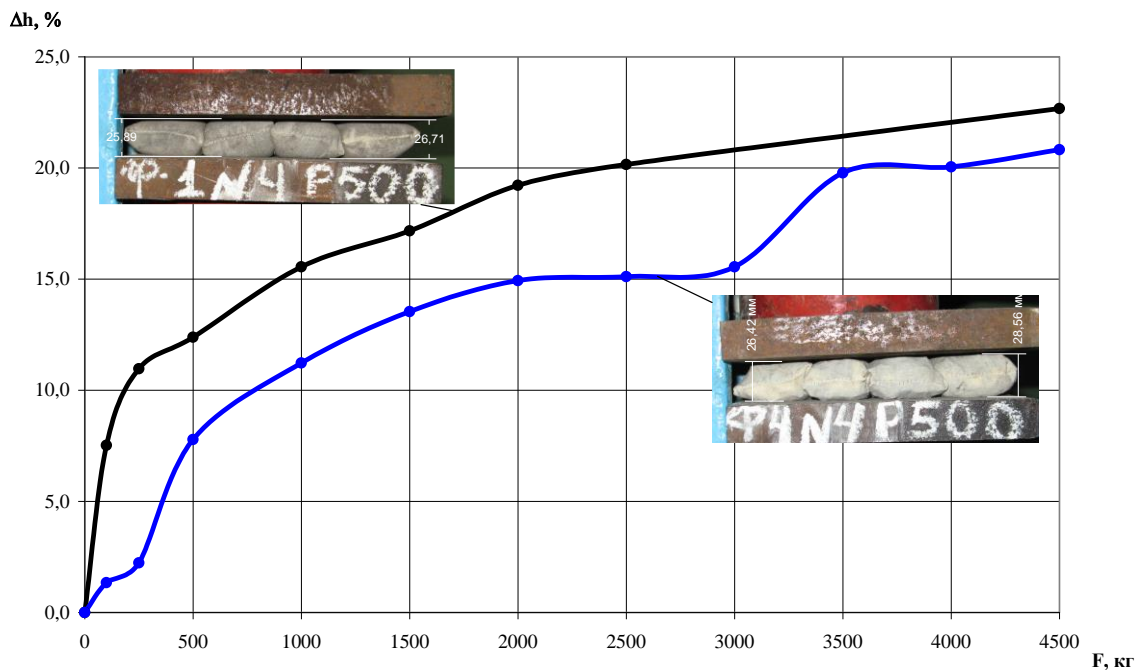
**Цель статьи.** Целью данной статьи является определение параметров комбинированной охранной конструкции из рядовой породы с учетом основных влияющих факторов, при которых податливость последней не будет превышать 20%.

**Основная часть.** Комбинированная охранная конструкция (рис. 1) является достаточно эффективным и технологичным средством охраны и требует относительно небольших материальных затрат. Но сложность возникает в том, что имеющийся объем исследований не позволяет рекомендовать ее для определенных условий. Поэтому нами были проведены дополнительные исследования по установлению параметров данного средства охраны с учетом основных влияющих факторов.



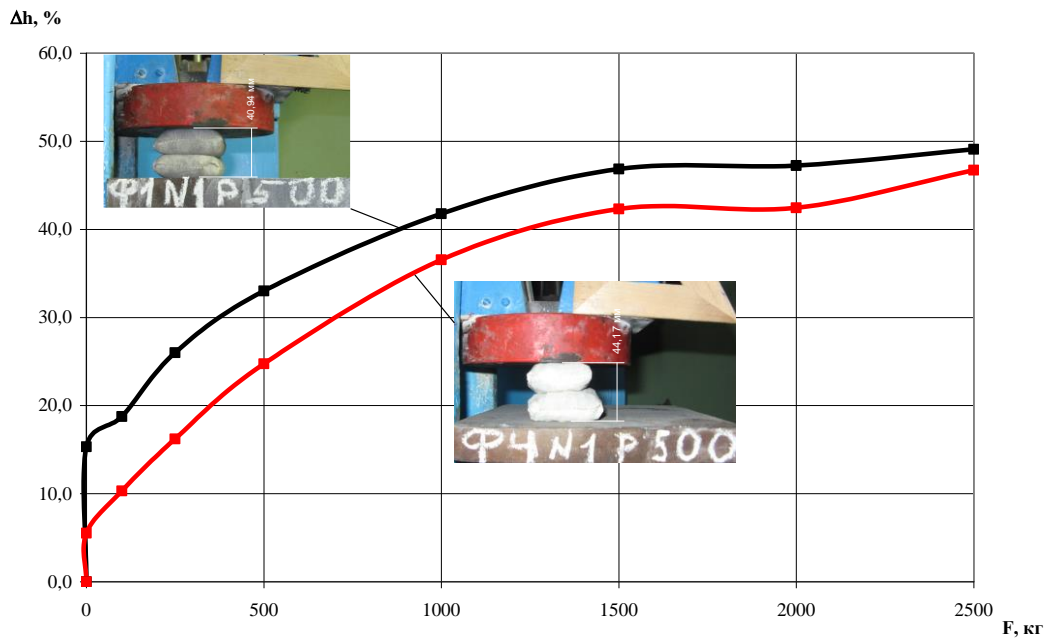
**Рис. 1.** Схема крепления концевого участка лавы породными опорами с компенсационными полостями

На первом этапе проводились лабораторные исследования породных конструкций из мешков, заполненных рядовой породой [5]. Определялись оптимальная схема выкладки мешков и фракционный состав породного объема в мешках (рис. 2-3).



**Рис. 2.** Зависимость величины усадки конструкции из 4-х мешков в ряду от величины нагрузки (с фракциями 0,01-1,5 и 5,1-10мм)

Установлено, что с увеличением количества мешков в ряду податливость конструкции уменьшается в 1,7-3 раза в зависимости от крупности фракций. При меньшей фракции предел варьирования податливости меньше, что объясняется меньшей подвижностью породных отделиностей внутри мешков вследствие меньшей пустотности при их заполнении.

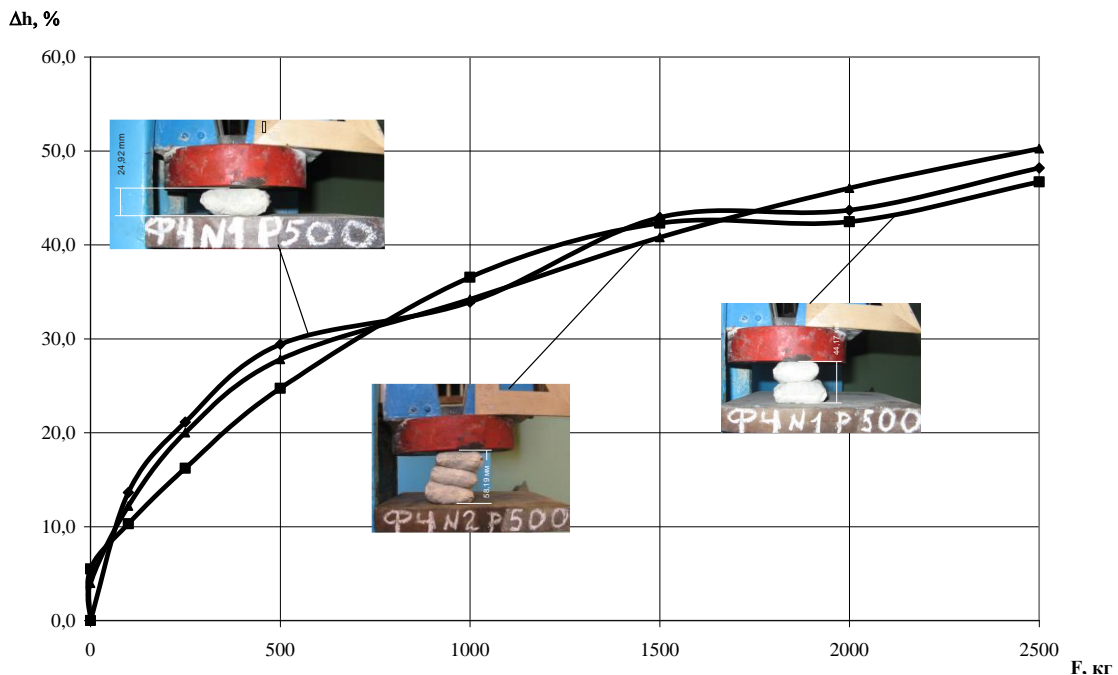


**Рис. 3.** Зависимость величины усадки двурядных породных опор от величины нагрузки при различном фракционном составе породных фракций (0,01-1,5 и 5,1-10мм)

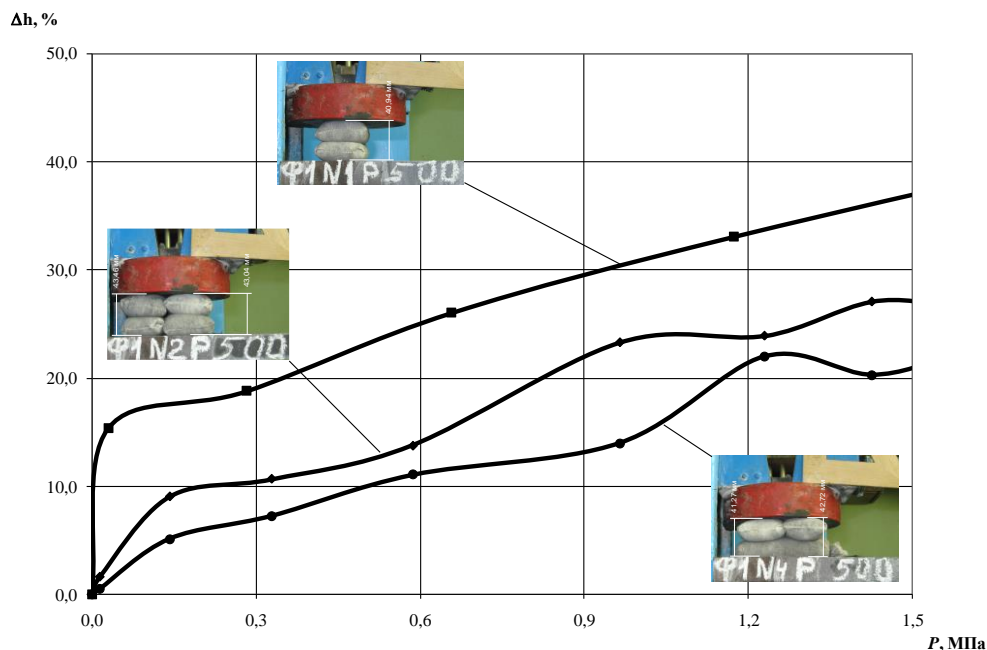
При различном количестве мешков по высоте стойки относительная величина усадки практически не изменяется (рис. 4), то есть если выложить одними и теми же мешками породные стойки в 1, 2 и 3 ряда, то доля усадки от их высоты будет одинакова.

Увеличение количества мешков же в ряду существенно влияет на уменьшение усадки всей конструкции, причем наилучший эффект при многорядной укладке обеспечивается при ориентации мешков в рядах перпендикулярно выше- и нижележащим (рис. 5).

Таким образом, при определенных условиях, податливость данной комбинированной охранной конструкции может составлять 22-48% в зависимости от крупности слагающих пород, количества мешков в ряду и схемы выкладки мешков в опоре (рис. 3-5).



**Рис. 4.** Зависимость величины усадки породных опор от величины нагрузки при различном количестве мешков по высоте охранного сооружения



**Рис. 5.** Зависимость величины усадки породных опор от величины действующего давления при их различных конструкциях

Из зависимостей, показанных на рисунке 5, следует, что интенсивное уплотнение породного материала происходит на начальном этапе пригрузки, так как на это время приходится основная доля усадки конструкции (до 53%), после чего скорость усадки существенно уменьшается. В связи с этим, было предложено выкладывать мешки в конструкцию после предварительного уплотнения материалом, что позволит уменьшить ее податливость.

Для подтверждения этого был проведен 2-ой этап лабораторных исследований. По аналогии с 1-ым этапом испытывались породные конструкции, но уже при разной степени уплотнения мешков предварительным сжатием.

Основными конструкционными элементами охранной конструкции являются мешки, заполненные однородными по материалу отдельностями рядовой породой, а промежутки между ними заполнены воздухом. Поэтому у нас есть право утверждать, что мешки заполнены сыпучими телами и для исследования закономерностей формирования грузонесущих конструкций внутри мешков и в охранном сооружении, а также определения их параметров, правомочным будет использование положения механики сыпучих тел [11] и механики грунтов [12-13].

Плотность сыпучих тел оценивается по величине коэффициента пористости  $\varepsilon$ , показывающего отношение объема пор ( $V_n$ ) к объему твердого вещества ( $V_T$ ) и определяется выражением

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_T}, \quad (1)$$

или

$$\varepsilon = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}, \quad (2)$$

где  $\rho_0$  и  $\rho$  – плотность (объемная масса), соответственно, материала частиц (породных отдельностей) и сыпучего тела с порами (породного объема),  $\text{т/м}^3$ .

Плотность породных отдельностей  $\rho_0$ , помещенных в мешки, определяли следующим образом. После взвешивания породные отдельности опускались в заполненный водой мерный сосуд объемом  $0,003 \text{ м}^3$ , в результате чего в последнем за счет водоизмещения уровень жидкости увеличивался. Объем вытесненной жидкости был равен объему помещенного в сосуд твер-

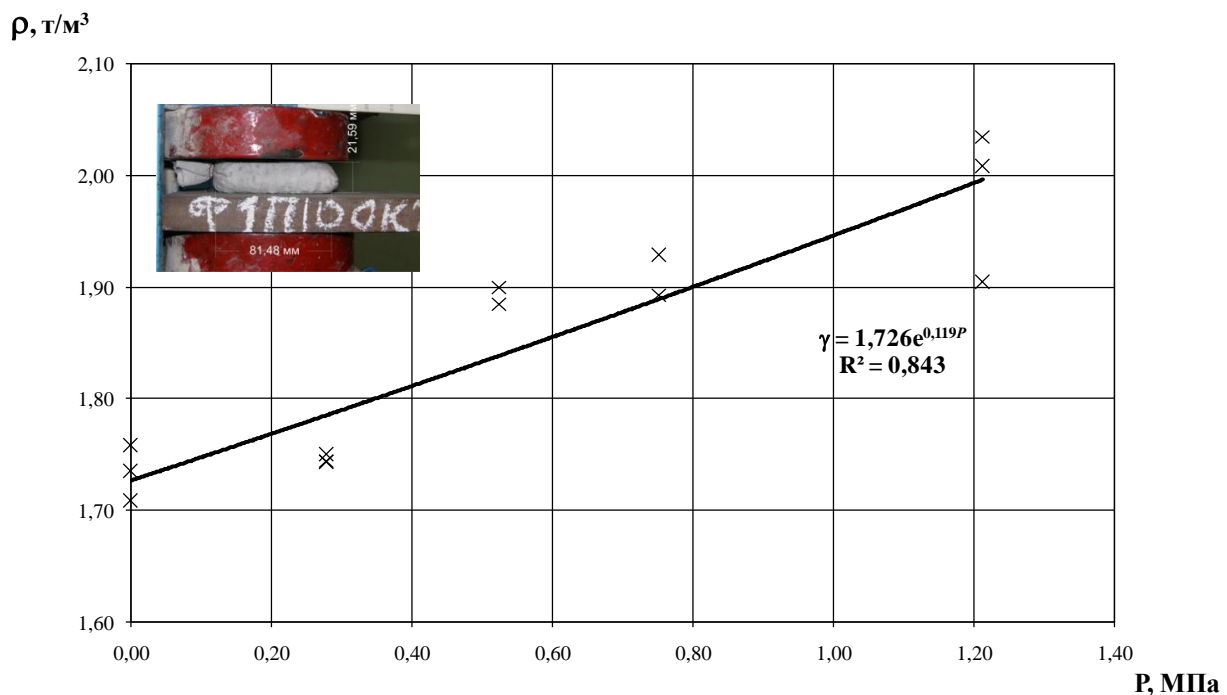
дого вещества. Таким образом, было установлено, что объемная масса породных отдельностей составляла  $2,44 \text{ т/м}^3$ .

Объемную массу породного объема, помещенного в мешок, устанавливали взвешиванием мешка на электронных весах и определением его геометрических размеров фотометрическим способом с последующим вычислением его объема. В результате серийности проведения достаточного количества испытаний была определена объемная масса породного объема в свободной насыпке, которая составила  $1,73 \text{ т/м}^3$ .

Таким образом, из выражения (2) следует, что коэффициент пористости рядовой породы в мешке в свободной насыпке  $\varepsilon_0$  составляет 0,41.

Процесс уплотнения породы в мешках заключается в том, что под действием внешних сил расстояние между отдельностями в породном объеме, заключенном в оболочке, уменьшается, вследствие чего уменьшается объем пустот (пор) и увеличивается объемный вес породной конструкции, то есть она приобретает более плотную взаимную упаковку частиц. И, чем большей нагрузкой будет предварительно уплотнен породный объем, тем меньшей сжимаемостью он будет обладать.

Уплотнения пород возможно достичь при помощи статических (сжатием на прессе), или динамических нагрузок (вибрацией). Нами был принят первый вариант из-за простоты в реализации. Предварительно пригружались отдельные мешки с породой и устанавливалась степень их уплотнения и объемная масса. В результате сжатия была получена зависимость объемной массы породного мешка от величины его предварительного сжатия (рис. 6), которая показывает, что при приложении пригрузки к мешку его плотность увеличивается.

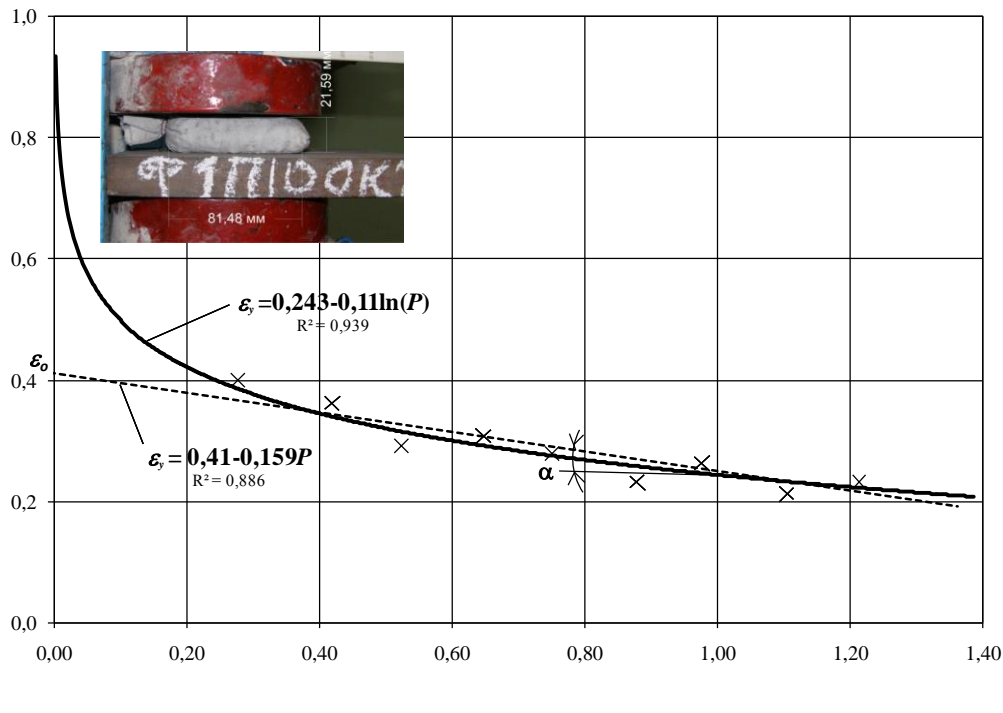


**Рис. 6.** Зависимость объемной массы породы в мешке от величины действующего давления

Общей зависимостью, характеризующей сжимаемость грунтов при действии постоянной внешней нагрузки, является зависимость между давлением и коэффициентом пористости – компрессионная кривая или кривой уплотнения. Эта зависимость устанавливается на основании испытаний грунта в компрессионном приборе без возможности бокового расширения [12]. В нашем случае, породный объем заключен в оболочку, которая в определенных условиях также может противостоять расширению, и поэтому сжимаемость исследуемого объема достаточной степенью приближения также может быть описана кривой уплотнения.

Тогда для испытываемых породных объемов, заключенных в оболочку, компрессионная кривая примет вид, показанный на рисунке 7, и может быть описана логарифмической зависимостью. Из этой зависимости следует, что коэффициент пористости при приложении внешней нагрузки к породному объему, заключенному в оболочку, в условиях эксперимента изменяется от 0,40 до 0,23, что подтверждает переход укладки породных отдельных от рыхлой к более плотной [11].

$\varepsilon_y$ , доли ед.



**Рис. 7.** Кривая уплотнения (логарифмическая зависимость) для рядовой породы, заключенной в оболочку, и линия тренда для исследуемого отрезка этой кривой (линейная зависимость)

Пологий отрезок кривой уплотнения можно принять за прямую (рис. 7). Это позволяет нам рассматривать исследуемые породные объемы как линейно-деформируемые тела, то есть, с достаточной для практических целей точностью, можно принимать линейную зависимость между общими деформациями и напряжениями. Уравнение спрямленного отрезка кривой уплотнения породного объема в мешке в общем виде может быть представлено выражением

$$\varepsilon_y = \varepsilon_o - p_y \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_o$  – начальный коэффициент пористости породного объема;

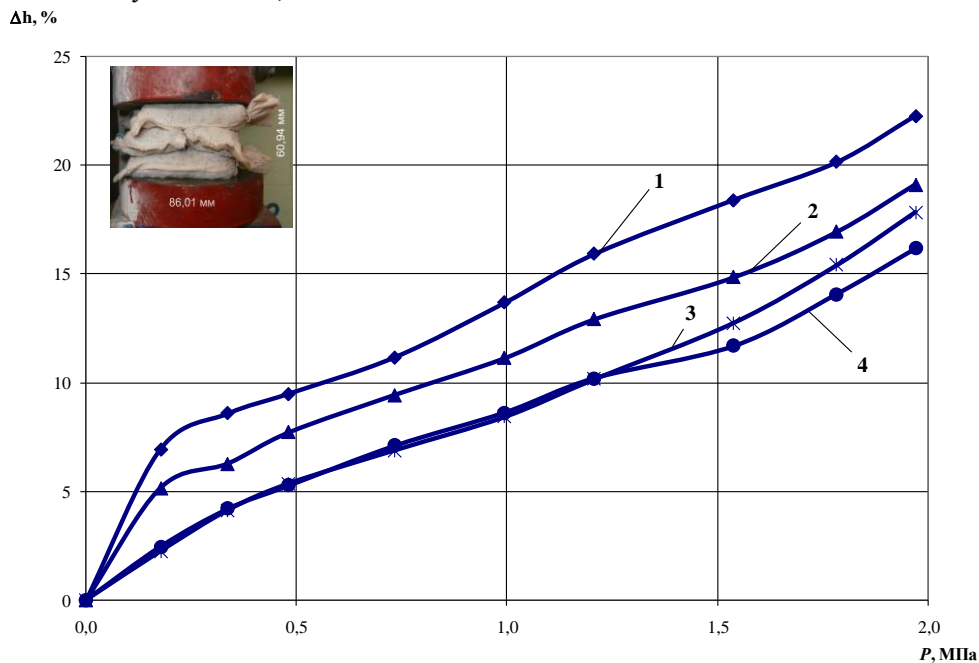
$p_y$  – внешнее давление уплотнения породного объема, МПа;

$\operatorname{tg} \alpha = a$  – коэффициент уплотнения, МПа<sup>-1</sup>.

Из рисунка 7 следует, что  $\varepsilon_o = 0,41$ , коэффициент уплотнения  $a = 0,159$  МПа<sup>-1</sup>, а исследуемый материал относится к сильносжимаемым. Тем не менее, приложение пригрузки давлением 1,4 МПа позволяет уменьшить коэффициент пористости в 2 раза.

После предварительного сжатия мешков на прессе испытывались трехрядные породные конструкции из мешков с различной степенью уплотнения. Таким образом, начальный коэффициент пористости на момент укладки мешков в опору составлял в разных опытах от 0,41 до 0,28. Мешки выкладывались послойно перпендикулярно друг другу. Затем на данные конструкции по всей своей площади передавалась постепенно возрастающая нагрузка (внешнее давление до 1,97 МПа), под действием которой породные опоры уменьшались по высоте

на 16-22% в зависимости от величины предварительного уплотнения мешков (рис. 8). Причем большей величине уплотнения, соответствовала наименьшая величина податливости.



**Рис. 8.** Обобщенные графики зависимости величины усадки опор из мешков с породой от величины внешнего давления (при начальном коэффициенте пористости: 1,2,3 и 4 – соответственно, 0,41; 0,4; 0,29 и 0,28)

Как показали наблюдения, в этих опорах пустоты между мешками под действием наружки незначительно «закрывались», а отмечалась послойная вертикальная усадка мешков. Причем интенсивность усадки в слоях убывала от верхних к нижним, что, по нашему мнению, объясняется демпфированием прикладываемых вертикальных усилий. Так как послойная усадка мешков отличается, то текущий коэффициент пористости в этих слоях также будет различен. По податливости породного объема при уплотнении соответствующей нагрузкой этот коэффициент может быть определен из выражения [13]

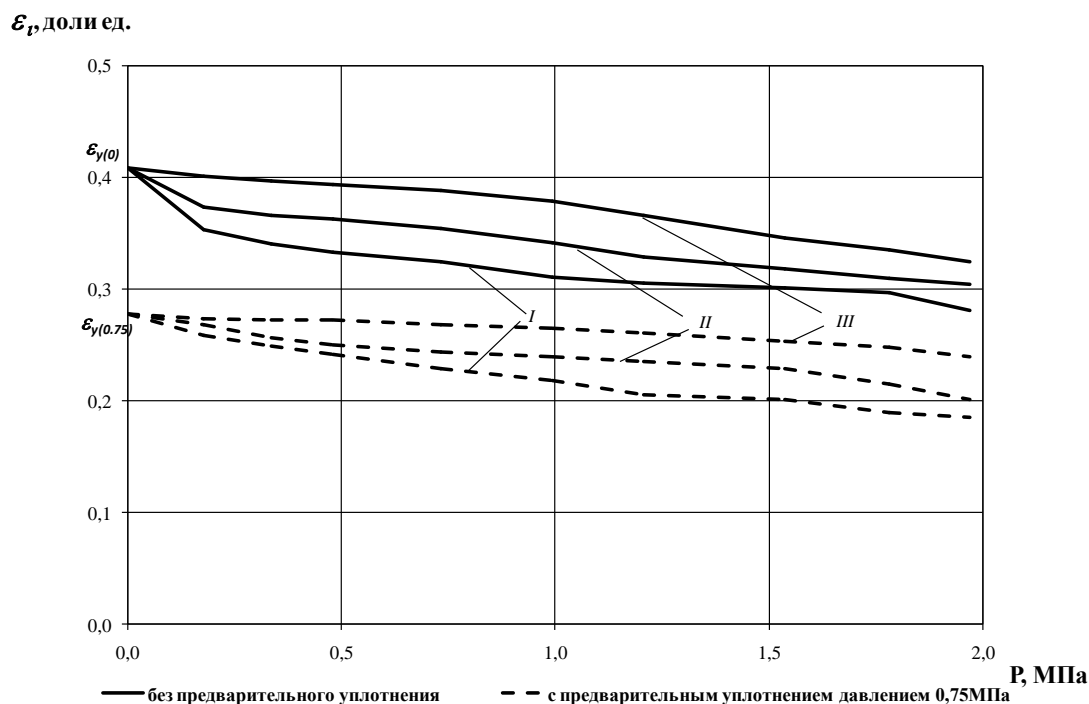
$$\varepsilon_i = \varepsilon_y - (1 + \varepsilon_y) \frac{\Delta h}{h}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_y$  – начальный коэффициент пористости, соответствующей плотности перед приложением нагрузки;

$\Delta h$  – полная усадка при соответствующей нагрузке, м;

$h$  – начальная высота породного объема, м.

Зная относительную усадку породных объемов в слоях и начальный коэффициент пористости в них перед укладкой, из выражения (4) был определен текущий коэффициент  $\varepsilon_i$  в различных слоях породной конструкции и различной величине предварительного уплотнения мешков  $\varepsilon_y$  (рис. 9). Из полученной зависимости следует, что предварительное уплотнение единичных мешков с породой и последующее приложение внешней пригрузки к опорам из мешков позволяет уменьшить коэффициент пористости в породных объемах. Изменение этого коэффициента при одинаковых начальных условиях в каждом вышележащем слое больше, чем в нижележащем. Это подтверждает предположение о демпфировании прикладываемой нагрузки в слоях.



**Рис. 9.** Графики зависимости величины текущего коэффициента пористости от величины внешнего давления в различных слоях породной опоры (I, II, III – соответственно, номера слоев в опоре от почвы к кровле) без предварительного уплотнения мешков и с уплотнением

Таким образом, нами были проведены комплексные лабораторные исследования по установлению параметров комбинированной охранной конструкции, сооружаемой из породных мешков, с оставлением компенсационных полостей. Их результаты позволили получить массив данных, который дает нам возможность количественно оценить совместное влияние основных факторов на податливость опор из мешков, заполненных породой. Основными влияющими факторами, в нашем случае, являются величина внешнего давления и начальный коэффициент пористости породного объема, зависящий от плотностей этого объема и частиц в нем.

Для установления количественной зависимости между этими показателями был использован метод множественной корреляции (расчет произведен при помощи программного пакета SPSSv13.0). Наиболее тесную связь показала линейная зависимость величины усадки охранной конструкции от основных влияющих факторов, которая имеет вид

$$\Delta h = 8,405P + 28,704\varepsilon_y - 7,768, (R^2=0,95), \quad (4)$$

где  $P$  – внешнее давление на породную опору, МПа,  
 $\varepsilon_y$  – коэффициент пористости породных объемов в мешках перед их укладкой в охранную конструкцию;

8,405 – коэффициент уравнения регрессии, МПа<sup>-1</sup>;

28,704 и 7,768 – безразмерные коэффициенты уравнения регрессии.

Из полученной зависимости следует: чем больше величина пригрузки на охранную конструкцию и чем большей сжимаемостью обладают породные элементы в ней, тем больше податливость сооружения. Это обусловлено тем, что уплотненный объем менее подвижен и обладает меньшей свободой, чем при естественной насыпке. Из выражения (4), задавшись величиной пригрузки на охранную конструкцию и необходимой податливостью охранной конструкции, можно определить коэффициент пористости материала в мешке перед его укладкой в конструкцию, то есть

$$\varepsilon_y = 0,035\Delta h - 0,293P + 0,271. \quad (4)$$



Исходя из расчетного  $\varepsilon_p$ , становится возможным подбор материала необходимой пористости для заполнения мешков. Причем не исключается использование материала без предварительного уплотнения, если он будет относиться к малосжимаемым грунтам.

Стоит отметить, что при коэффициенте пористости 0,28-0,29 обеспечивается податливость охранной конструкции из мешков с рядовой породой в 16-17%, что равнозначно применению жестких охранных конструкций. Это позволит выкладывать предлагаемые конструкции с геометрическими параметрами способа охраны жесткими опорами с компенсационными полостями, предложенными в работе [8]. Породные опоры в плане должны иметь форму прямоугольника, и ориентированы большей стороной перпендикулярно оси выработки. Соотношение длины и ширины отдельной опоры должно быть не менее чем 2:1. По опыту применения способа охраны с компенсационными полостями [8, 9], предлагается породные опоры принимать шириной 0,8м, длиной 1,6м; ширину и глубину компенсационной полости – соответственно, 0,8 и 1,6м.

Уплотнение мешков должно производиться, непосредственно у места возведения охранного сооружения для получения наибольшего эффекта. Само уплотнение может осуществляться при помощи специального пресса, виброустановки или секции механизированной крепи. С помощью механизированной крепи уплотнить мешки, возможно, посредством выкладки последних на верхнее перекрытие секции и прижатия их к кровле при ее раздвижке.

**Выводы.** В результате проведенных исследований были определены параметры комбинированного способа охраны. Доказано, что породные опоры могут обеспечить достаточную несущую способность охранного сооружения и допустимую податливость в 17% при условии создания породных элементов повышенной несущей способности за счет изменения их компрессионных показателей.

Таким образом, цель, поставленная в настоящей статье, достигнута, что дает нам возможность для разработки рекомендаций по применению комбинированного способа охраны в условиях угольных шахт Донбасса, который основывается на применении тканевых мешков, заполненных уплотненной породой. Применение способа позволит создать отпор деформируемым породам кровли сразу же после их сооружения и обеспечить безопасное и эксплуатационное состояние подготовительных выработок позади очистных забоев.

#### Библиографический список

1. Пат. 1488532 СССР, SU 1701920 A1 E 21 C 41/20 41/18. Способ возведения бутовой полосы / Бондаренко Ю.В., Макеев А.Ю., Теличко В.И., Сапицкий К.Ф. – 622.271(088.8); Заявл. 12.02.90 // Авторское свидетельство. – 1991. – №48.
2. Хазипов, И.В. Разработка способов создания искусственных породных сооружений для охраны повторно используемых выработок. Дисс...канд.техн. наук: 05.15.02.– Д.: ДонНТУ, 2009.–160с.
3. Негрей, С.Г. О возможности увеличения несущей способности бутовых полос // Вісті Донецького гірничого інституту. Донецьк, 2011, №1, – С. 179-184.
4. Курдюмов, Д.Н., Негрей, С.Г. Разработка новой ресурсосберегающей технологии охраны горных выработок // Проблемы недропользования: Международный форум-конкурс молодых ученых. Сб. научных трудов. Ч.1.– Санкт-Петербург, 2011.– С.145-147.
5. Кремень, И.В., Негрей, С.Г. Разработка способа охраны подготовительных выработок породными опорными элементами с компенсационными полостями // Проблемы недропользования: Международный форум-конкурс молодых ученых. Сб. научных трудов. Ч.1.– Санкт-Петербург, 2012.– С.134-137.
6. Негрей, С.Г. Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками // Вісті Донецького гірничого інституту. Красноармійськ, 2014, №1(34)-2(35), С. 181-187.
7. Спосіб охорони підготовчих виробок. Касьян М.М., Фельдман Е.П., Хазіпов І.В., Негрій С.Г. Мокрієнко В.М. Пат. № 54012, МПК(2011.01) E21D 15/00, опубл. 25.10.2010; 25.10.2010, бюл. № 20– 4 с.
8. Спосіб охорони гірничих виробок. Касьян М.М., Негрій С.Г., Мокрієнко В.М., Хазіпов І.В. Пат. № 94327, МПК(2011.01) E21D 11/00 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01), опубл. 26.04.2011; 26.04.2010, бюл. № 8– 6с.
9. Касьян, Н.Н. Опытнo-промышленная проверка способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» / Н.Н.Касьян, В.Н. Мокриенко, И.Г. Сахно // Науковий вісник НГУ / Днепропетровськ – 2012, №6 - С.30-36.
10. Борзых, А.Ф. Разработка способов охраны подготовительных выработок при отработке пологих угольных пластов восточного региона Украинского Донбасса. Дисс...докт. техн. наук: 05.15.02.– Д.: ДонНТУ, 1998.– 367с.
11. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1977, 256с.
12. Цытович Н.А. Механика грунтов. Учебное пособие. Изд. 4-е переработ., М.- 1963- 636с.
13. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1981.– 319с.

**С.Г.Негрій**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Красноармійськ

#### ВІЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОЇ ОХОРОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ З РЯДОВОЇ ПОРОДИ

Розглядається ефективний ресурсозберігаючий спосіб охорони підготовчих виробок, що передбачає спорудження породних опор і залишення між ними компенсаційних порожнин. За результатами лабораторних досліджень, із залученням положень механіки ґрунтів, встановлені параметри цього способу, при яких піддатливість охоронної конструкції не буде перевищувати 17%. Застосування способу охорони дозволить забезпечити експлуатаційний і безпечний стан підготовчих виробок, що охороняються позаду лави, в тому числі, в умовах слабких підстиляючих порід підшви.

**Ключові слова:** підтримання гірничих виробок, засіб охорони, рядова порода, моделювання, механіка сипких середовищ, коефіцієнт пористості, закон ущільнення.

**S. Negrey**

Donetsk National Technical University, Krasnoarmejsk

#### DEFINING THE PARAMETERS OF THE COMBINED PROTECTING CONSTRUCTION WHERE WE USE THE ORDINARY ROCKS

Effective resource-saving the method of protection of development workings which involves the construction of rock towers and leaving between them compensation cavities is considered. The parameters of this method in which the compliance of the security structure will not exceed 17% have been established on the basis of laboratory results, with the involvement of the provisions of soil mechanics. Application of the method of protection will provide operational and safe condition of development workings, protected behind the face, including in the context of weak underlying bedrock.

**Keywords:** roadway maintenance, the ways of protection, ordinary rocks, modeling, loose material mechanics, porosity stratification factor, seal the law.