

УДК 622.281.406:539.3

**Зайцев М.С.**, магистр,  
**Коломиец А.Н.**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,  
**Шматовский Л.Д.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПОВЕДЕНИЯ АРМОПОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК НА МОДЕЛЯХ ИЗ  
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Зайцев М.С.**, магистр,  
**Коломієць О.М.**, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр.,  
**Шматовський Л.Д.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ІГТМ НАН України)

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОВЕДІНКИ  
АРМОПОРОДНИХ ОБОЛОНОК НА МОДЕЛЯХ  
ІЗ ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Zaitsev M.S.**, M. S. (Tech.),  
**Kolomiets A.N.**, Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Researcher  
**Shmatovskiy L.D.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**METHODS FOR EXPERIMENTAL STUDYING OF CONSOLIDATED  
ROCK CASING BEHAVIOUR BY MODELS MADE OF EQUIVALENT  
MATERIALS**

**Аннотация.** Разработаны основные методические положения для проведения экспериментальных исследований поведения, упрочненного анкерной крепью и инъекцией расширяющимся тампонажным раствором контура выработки. Так как поставленная задача состоит в установлении на моделях из эквивалентных материалов влияния армопородных образований на конвергенцию контура выработки, то основными физико-механическими характеристиками, играющим определяющую роль в данном процессе, являются условия подобия материала модели и моделируемой толщи пород по прочностным характеристикам и условия подобия по процессам упругих деформаций. Результаты этих исследований необходимы для разработки технологии повышения устойчивости выработок посредством упрочнения приконтурных пород выработки и вовлечение их в процесс противодействия горному давлению.

**Ключевые слова:** горная порода, анкерная крепь, инъекционное упрочнение, моделирование, метод эквивалентных материалов, бетонная смесь.

Исследование проявлений горного давления на моделях из эквивалентных материалов будут иметь научное и практическое значение лишь в том случае, если при разработке методики моделирования геомеханических процессов будут удовлетворены следующие условия:

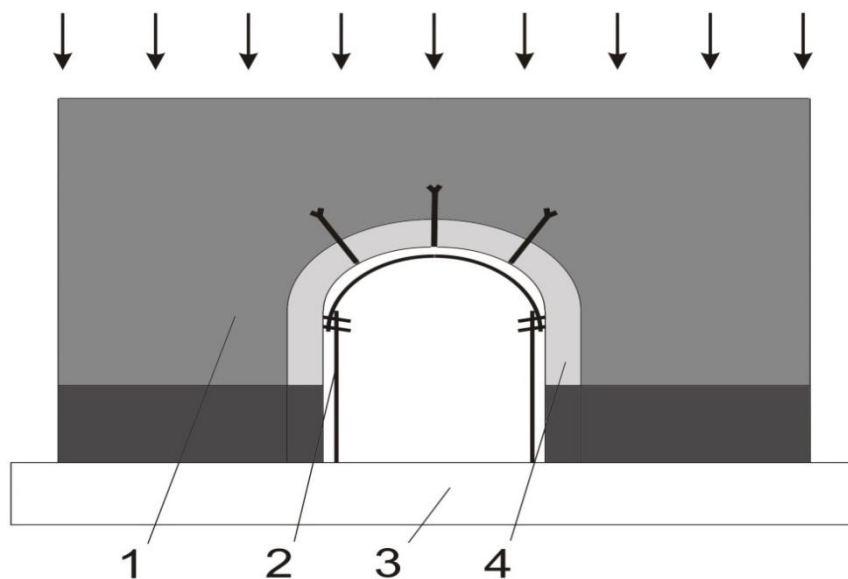
- определены тип, масштаб и количество моделей для определения закономерностей геомеханических процессов в окрестности горной выработки;
- физико-механические характеристики материалов модели соответствуют характеристикам моделируемого массива горных пород;
- граничные условия на внешних сторонах моделей соответствуют тем условиям, которые имеют или могут иметь место в натуре.

Исходя из перечисленных выше условий процесс исследования поведения армопородных оболочек из эквивалентных материалов подразделяется на следующие этапы, от качественного и точного выполнения которых зависит достоверность полученных результатов:

- а) постановка задачи и проектирование моделей;
- б) воспроизведение в модели свойств массива горных пород (подбор эквивалентных материалов);
- в) изготовление и подготовка моделей к испытанию;
- г) испытание моделей и проведение измерений.

**Постановка задачи и проектирование моделей.** Рассмотрим напряженно-деформированное состояние блока модели, содержащего штольнеобразную выработку (рис. 1) будем предполагать, что блок модели деформируется в результате действия на его верхнюю грань  $z=h$  ( $h$  – высота блока) абсолютно жесткого тела в виде плиты размером 600х600 мм.

Задача состоит в установлении влияния упрочнения массива горных пород анкерной крепью и инъекцией самонапрягающегося цементно-песчаного раствора с добавкой фосфогипсо-известковых спеков и золы уноса на конвергенцию контура выработки без и при наличии рамной крепи в сечении блока модели  $y=b/2$  от нагрузки, действующей на верхнюю грань модели (рис. 1).

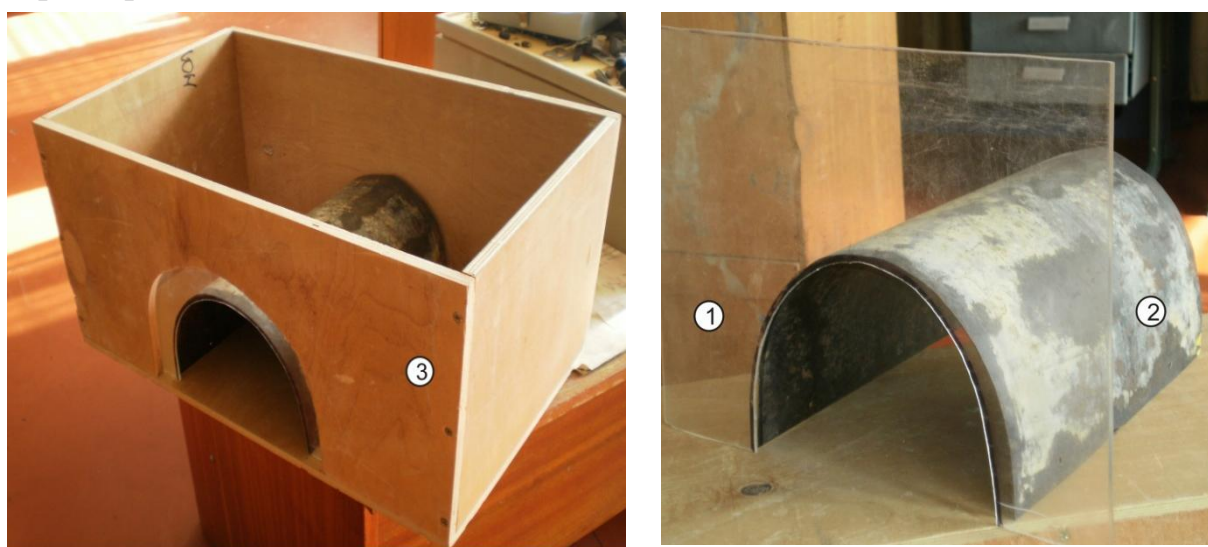


- 1- модель массива; 2 - рамная податливая крепь; 3 - модель почвы;  
4 — модель армопородной оболочки

Рисунок 1 — Схема нагружения блока модели в сечении  $y=b/2$

С целью предотвращения боковых деформаций материала моделей и реализации таким образом плоского напряженно-деформированного состояния в сечении  $y=b/2$  ( $b$  – ширина модели) испытание моделей производится в упругих формах (рис. 2).

К работам по упрочнению порез в проводимой выработке приступают в том случае, когда вокруг нее сформировалась зона нарушенных и трещиноватых пород [1-4, 6]. Первая ближайшая к выработке зона сильно нарушенных пород имеет мощность примерно 1,6 м. Наличие трещиноватости в массиве существенно изменяет его физико-механические характеристики. В связи с этим при подборе материалов, эквивалентным горным породам в натуре, следует учитывать коэффициент структурного ослабления прочностных характеристик  $K_c$ .



1 — оргстекло; 2 — оболочка для образования выработанного пространства;  
3 - форма для изготовления моделей

Рисунок 2 — Форма и оболочка для изготовления и испытания моделей

Значения коэффициентов  $K_c$  структурного ослабления прочности для некоторых горных пород приведены в монографии Фисенко, Г.Л. «Предельные состояния горных пород вокруг выработок»:

- песчаник -  $K_c = 0,55$ ;
  - алевролит -  $K_c = 0,48$ ;
  - аргиллит, уголь -  $K_c = 0,4$ .
- (1)

Коэффициент структурного ослабления  $K_u$  пород, упрочненных цементно-песчаным тампонажным раствором, примерно равен 0,7 (Кондратов, А.Б. Исследование и прогнозирование основных физико-механических свойств породного массива при его инъекционном упрочнении / А.Б. Кондратов, А.А. Барях // ФТПРПИ. - 1981. - № 5. - С. 29-37.).

**Подбор и изготовление эквивалентных материалов.** Поскольку изучение процессов конвергенции упрочненного анкерной крепью и инъекцией самоупрочняющегося тампонажного раствора контура выработки

осуществляется на объемных моделях  $M=1:40$ , то в качестве эквивалентных материалов, моделирующих горные породы, могут быть использованы бетонные смеси, а для угля - цементно-известковый раствор.

При подборе материалов-эквивалентов в качестве исходных инертных материалов возьмем речной песок, щебень соответствующих горных пород (ДСТУ Б.В.2.7.-43-96).

В качестве вяжущих веществ возьмем портландцемент  $M:400$  и  $M:200$ . Так как в пределах ближайшей к выработке зоне породный массив разбит на отдельные блоки, ограниченные вертикальными трещинами с расстоянием  $0,1-0,3$  м [5], то при моделировании породобетонных оболочек применим щебень в виде фракций  $20-40$  мм. При моделировании углевмещающей толщи массива горных пород применяется щебень в виде фракций  $10-20$  мм.

Точное соблюдение всех условий подобия при изготовлении бетонной смеси в качестве материала моделей представляет большие трудности и практически подойти к удовлетворению указанных требований лишь с известными приближениями.

Так как поставленная задача состоит в установлении на моделях из эквивалентных материалов влияния армопородных образований на конвергенцию контура выработки, то основными физико-механическими характеристиками, играющим определяющую роль в данном процессе, являются условия подобия материала модели и моделируемой толщи пород по прочностным характеристикам и условия подобия по процессам упругих деформаций.

При подборке бетонных смесей, которые бы удовлетворяли условиям механического подобия при моделировании процессов деформаций упрочненного контура выработок  $M=1:40$ , можно пользоваться следующими условиями (Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев [и др.]. - М.: Недра, 1968. - 280 с.).

Условия подобия процессов разрушения

$$\begin{aligned}
 (\sigma_{сж})_M &= \frac{K_{и}}{40} \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_H} (\sigma_{сж})_H ; \\
 (\sigma_{изг})_M &= \frac{K_{и}}{40} \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_H} (\sigma_{изг})_H ; \\
 (\sigma_p)_M &= \frac{K_{и}}{40} \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_H} (\sigma_p)_H .
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Условия подобия процессов упругих деформаций

$$\begin{aligned}
 E_M &= \frac{1}{40} \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_H} E_H \\
 \gamma_M &= \gamma_H
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

В формулах (1) и (2) обозначено  $(\sigma_{сж})_м$  и  $(\sigma_{сж})_н$ ,  $(\sigma_{изг})_м$  и  $(\sigma_{изг})_н$ ,  $(\sigma_p)_м$  и  $(\sigma_p)_н$  - пределы прочности на сжатие, изгиб, растяжение соответственно материала модели и моделируемых горных пород;

$E_м$  и  $E_н$ ,  $\gamma_м$  и  $\gamma_н$  - модули Юнга и коэффициенты Пуассона материала модели и моделируемых горных пород соответственно;

$K_и$  - коэффициент структурного ослабления прочности заинъекцированных пород ( $K_и \approx 0,7$ ).

Полагая в формулах (2) и (3)  $\gamma_м = \gamma_н$ ,  $K_и = 0,7$  и воспользовавшись результатами исследования физико-механических свойств пород и угля (табл. 1), вычисляем необходимые прочностные и деформационные характеристики материала модели. Ввиду того, что угольный пласт в сечении выработки по известным причинам не может в полной мере упрочняться цементно-песчаным раствором, то при определении прочности материала, характеризующего в модели уголь, коэффициент структурного ослабления следует принять равным 0,5. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты вычисления прочностных и деформационных характеристик, необходимых для удовлетворения условий подобия

Моделируемая порода	Прочность материала модели, МПа			Модуль Юнга $E$ , ГПа	Коэффициент Пуассона $\gamma$
	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{изг}$	$\sigma_p$		
Песчаник	0,92	0,22	0,095	0,82	0,22
Аргиллит	0,43	0,15	0,04	0,45	0,25
Алевролит	0,68	0,17	0,07	0,48	0,27
Уголь	0,1	0,02	0,01	0,12	0,3

По приведенным выше (табл. 1) прочностным и упругим характеристикам, при которых обеспечивается механическое подобие материала модели и моделируемой толщи углепородного массива, осуществляется расчет бетонных смесей, используемых для изготовления объемных моделей.

**Подбор состава бетонной смеси.** Расчет состава бетона заключается в установлении соотношения между составляющими его материалами (цементом, водой, песком и щебнем), которые должны обеспечивать бетонной смеси требуемую подвижность, а также приобретение бетоном прочностных и упругих характеристик, представленных в табл. 1.

Наиболее удобным и распространенным является метод расчета состава бетона по абсолютным объемам его составляющих (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с., и «Руководство по подбору состава тяжелых бетонов» - М.: Стройиздат, 1979. - 61 с.).

Более подробно рассмотрим расчет состава бетона для моделирования пород кровли выработки, представленных слоем песчаника.

Для этого требуется рассчитать состав бетона с пределом прочности на сжатие  $R_{сж} = 0,92$  МПа на щебне из дробленого песчаника с максимальной крупностью 40 мм и песке средней крупности. Характеристики материалов следующие:

портландцемент –  $R_u = 40$  МПа;  $\gamma^u = 3,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{0H}^u = 1,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;

песок –  $\gamma^u = 2,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{0H}^u = 1,45 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $W_n = 4$  %;

щебень –  $\gamma^u = 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{0H}^u = 1,51 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $V_{пуст} = 42$  %;  $W_{щ} = 1$  %.

Здесь  $\gamma^u$  и  $\gamma^u$ ,  $\gamma_{0H}^u$  и  $\gamma_{0H}^u$ ;  $W_n$  и  $W_{щ}$  - соответственно объемная масса песка и щебня, насыпная масса песка и щебня, влажность песка и щебня в процентах;

$V_{пуст}$  - пустотность щебня, доли единицы;

$R_u$  - предел прочности цементного камня на сжатие.

1. Подвижность бетонной смеси в соответствии с табл. 60 (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.) принимаем равной 12 см.

2. Водопотребность бетонной смеси в соответствии с табл. 61 (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.)  $B = 200$  л/м<sup>3</sup>.

3. Водоцементное отношение определяем по формуле

$$\frac{B}{Ц} = \frac{A \cdot R_u}{R_{\sigma} + 0,5 \cdot A \cdot R_u'}$$

где  $A$  - коэффициент, характеризующий качество заполнителя. При заполнителе среднего качества  $A = 0,6$ ;  $R_{\sigma}$  - предел прочности бетона на сжатие.

В нашем случае

$$\frac{B}{Ц} = \frac{0,6 \cdot 40}{0,92 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 40} = 1,86$$

4. Расход цемента

$$Ц = \frac{B}{1,86} = \frac{200}{1,86} = 108 \text{ кг}$$

5. Расход крупного заполнителя (щебня) в кг на 1 м<sup>3</sup> вычисляется по формуле (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.)

$$Щ = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_{щ}^u} + V_{пуст} \frac{a}{\gamma_{0H}^u}}$$

где  $V_{\text{пуст}}$  - пустотность щебня;  $a$  - коэффициент раздвижки зерен (принимается по табл. 65 (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.),  $a = 1,22$

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{1}{2,5} + 0,42 \cdot \frac{1,22}{1,51}} = 1353 \text{ кг}$$

6. Расход песка на  $1 \text{ м}^3$  бетона определяется по формуле

$$\text{П} = \left[ 1 - \left( \frac{\text{Ц}}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{\text{Щ}}{\gamma_{\text{щ}}} + \text{В} \right) \right] \gamma^{\text{п}}$$

$$\text{П} = \left[ 1 - \left( \frac{108}{3,1 \cdot 10^3} + \frac{1353}{2,5 \cdot 10^3} + 0,2 \right) \right] 2,61 \cdot 10^3 = 585 \text{ кг}$$

Расчет составляющих бетонной смеси, используемой для моделирования углевмещающих пород, представленных аргиллитом и алевролитом, осуществляется по аналогии с рассмотренным выше.

Результаты расчета состава бетона, обеспечивающего подобие материала модели и моделируемой толщи породного массива приведены, в таблице 2.

Таблица 2 — Результаты расчета бетонов для изготовления моделей

Состояние	Моделируемая порода	Состав бетона, кг/м <sup>3</sup>				Соотношение по массе Ц:В:П:Щ
		Цемент (Ц)	Вода (В)	Песок (П)	Щебень (Щ)	
Заинъецированные породы	песчаник	108	200	585	1353	1:1,85:5,42:12,5
	алевролит	106	200	586	1353	1:1,89:5,5:12,8
	аргиллит	104	200	588	1353	1:1,93:5,7:13,0
Естественные породы	песчаник	100	180	585	1350	1:1,8:5,85:13,5
	алевролит	96	180	598	1350	1:1,87:6:14
	аргиллит	98	180	596	1350	1:1,82:5,9:13,7

**Подбор состава цементно-песчаного раствора.** Требуется установить состав смешанного цементно-известкового раствора для моделирования слоя угля, предел прочности которого на сжатие равен 0,07 МПа. Подвижность раствора характеризуется погружением конуса на 7 см. Вяжущее — портландцемент  $M = 200$ . Песок - средней крупности объемной массой  $\gamma^{\text{п}} = 2,61 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и влажностью 4 %, неорганическая добавка  $\gamma_{\text{из}} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Состав смешанного цементно-известкового раствора определяется на  $1 \text{ м}^3$  песка по эмпирическим формулам (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.).

1. Расход цемента в кг на  $1 \text{ м}^3$  песка

$$Q_{\text{ц}} = \frac{R_p}{0,8R_{\text{ц}}} \cdot 1000 = \frac{0,07}{0,8 \cdot 20} \cdot 1000 = 4,2 \text{ кг}$$

С поправкой на влажность  $Q_{\text{ц}} = 4,2 \cdot 0,96$

$$Q_{\text{ц}} = 4 \text{ кг}$$

2. Расход известкового теста

$$V_{\text{из}} = 170(1 - 0,002Q_{\text{ц}}) = 169 \text{ л}$$

По массе

$$P_{\text{из}} = 169 \cdot 1,4 = 237 \text{ кг}$$

3. Расход воды

$$B = 0,65(Q_{\text{ц}} + P_{\text{из}}) = 0,65(4 + 237) = 156 \text{ л}$$

Соотношение по массе на  $1 \text{ м}^3$  песка

$$\text{Ц:}P_{\text{из}}\text{:}B = 1:59:39 \quad (4)$$

### **Определение прочностных и упругих характеристик материала модели.**

Для проверки физико-механических свойств бетонных смесей (табл. 2) и цементно-известкового раствора (4) было изготовлено 12 образцов (по 3 для каждой породы и угля), представляющих собой балочки  $40 \times 40 \times 160$  мм. Через сутки образцы помещались в герметичную камеру с увлажненной средой для предотвращения от пересыхания, где содержались до срока их испытания.

Испытания образцов-балочек на прочность и определение их упругих характеристик производилось по методике, использованной при определении физико-механических свойств тампонажного камня (Чехов, А.П. «Справочник по бетонам и растворам» / А.П. Чехов, А.М. Сергеев. - К.: Будівельник, 1972. - 192 с.).

Усредненные результаты физико-механических свойств эквивалентных материалов приведены в табл. 3.

Сравнительный анализ результатов, приведенных в табл. 2 и 3, показал, что результаты экспериментальных и теоретических исследований отличаются в среднем на 13 %. Таким образом, использование результатов расчета состава

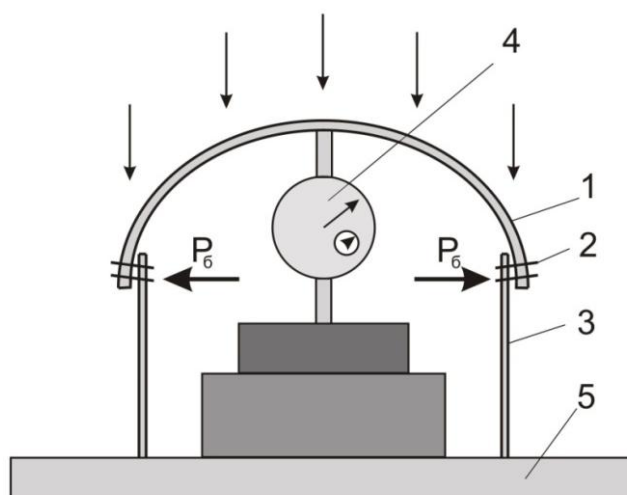


строительных смесей по эмпирическим формулам [5] вполне приемлемо при подборе эквивалентных материалов для моделирования процесса конвергенции упрочненного анкерной крепью и инъекцией самоупражняющимся тампонажным раствором контура выработки.

Таблица 3 — Результаты испытаний прочностных и упругих характеристик эквивалентных материалов

Моделируемая порода	Прочность материала модели, МПа			Модуль Юнга $E$ , ГПа	Коэффициент Пуассона $\gamma$
	$\sigma_{\text{изг}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_p$		
Песчаник	1,2	0,28	0,13	1,22	0,2
Аргиллит	0,86	0,22	0,09	0,92	0,24
Алевролит	0,74	0,20	0,06	0,84	0,25
Уголь	0,08	0,016	0,008	0,22	0,28

**Подбор модели податливой арочной крепи.** Работоспособность податливых крепей в значительной степени определяется характеристикой замковых соединений, которые должны обладать стабильным сопротивлением в режиме конструктивной податливости. Так как цель исследований состоит в установлении влияния упрочнения приконтурных пород на конвергенцию контура выработки без и при наличии крепи, то задача подбора модели арочной податливой крепи заключается в определении перемещений верхнего элемента арки в зависимости от величины нагрузки  $P_m$  (рис. 3).



1 — верхний элемент крепи; 2 — болтовое соединение; 3 — стойки;  
4 — индикатор часового типа; 5 — нижняя плита силовой установки

Рисунок 3 — Схема к определению податливости замковых соединений арочной крепи

Перемещения верхнего элемента возможны только в том случае, если усилия  $R_A$  и  $R_B$  в болтовом соединении модели крепи

$$R_A = R_B = \kappa P_{\sigma},$$

где  $\kappa$  - коэффициент трения;  $P_{\sigma}$  - усилие затяжки в болтовом соединении.

Таким образом, изменяя при помощи динамометрического ключа усилие в болтовом соединении  $P_{\sigma}$ , добиваемся подобия модели крепи и крепи в натуре по податливости в замковом соединении.

Модели арочных крепей испытывались в комплекте из трех штук (рис.4), соединенных между собой двумя межрамными стяжками на стойках и одной на верхнем элементе, на гидравлическом прессе ПСУ-500.



1 — модели арочных крепей; 2 — межрамные стяжки

Рисунок 4 — Комплект моделей арочных крепей для испытаний на податливость в замковом соединении

Для предотвращения боковых деформаций стоек за арками устанавливались ограничители, состоящие из двух толстостенных пластинок и деревянных затяжек, которые укладываются между арками и пластинками. Пластинки соединены между собой металлическими стяжками. Нагрузка на арки передается в двух местах, примерно  $\frac{1}{4}$  пролета от их оси через деревянные прогоны, которые служат связью между моделями арок (рис. 5).

При проведении испытаний комплект из трех моделей трехэлементных арочных крепей размещаем между стальными плитами пресса таким образом, чтобы ось средней арочной крепи была совмещена с центром нижней плиты. Нагружение плиты осуществляем в соответствии с действующим ГОСТом 21153.2-84 со скоростью 0,1 кН/сек.

По показателям индикатора часового типа и силоизмерителя пресса записываем величину смещений верхняка и величину нагрузки на комплект моделей арочной крепи.

Испытания показали, что в пределах конструктивной податливости замковых соединений в пределах конструктивной податливости 4,4 мм элементы модели арочной крепи работали без деформаций.



1 – индикатор часового типа; 2 – арочная податливая крепь; 3 – ограничители боковых перемещений; 4 верхняя плита силовой установки

Рисунок 5 — Силовая установка для определения податливости замковых соединений арочной крепи

Результаты изучения податливости замковых соединений модели арочной крепи в зависимости от усилия  $P_b$  болтовых соединениях модели приведены в табл. 4.

Таблица 4 — Результаты испытаний податливости замковых соединений модели

Коэффициент трения, $\kappa$	Усилие затяжки болтов $P_b$ , кН	Нагрузка на верхний элемент арки $P_m$ , кН	Показатель индикатора, мм
0,4	0,2	0,15	0,00
		0,30	0,05
		0,45	0,28
		0,60	2,3
		0,75	4,4
0,4	0,4	0,15	0,00
		0,30	0,01
		0,45	0,15
		0,60	1,6
		0,75	3,4

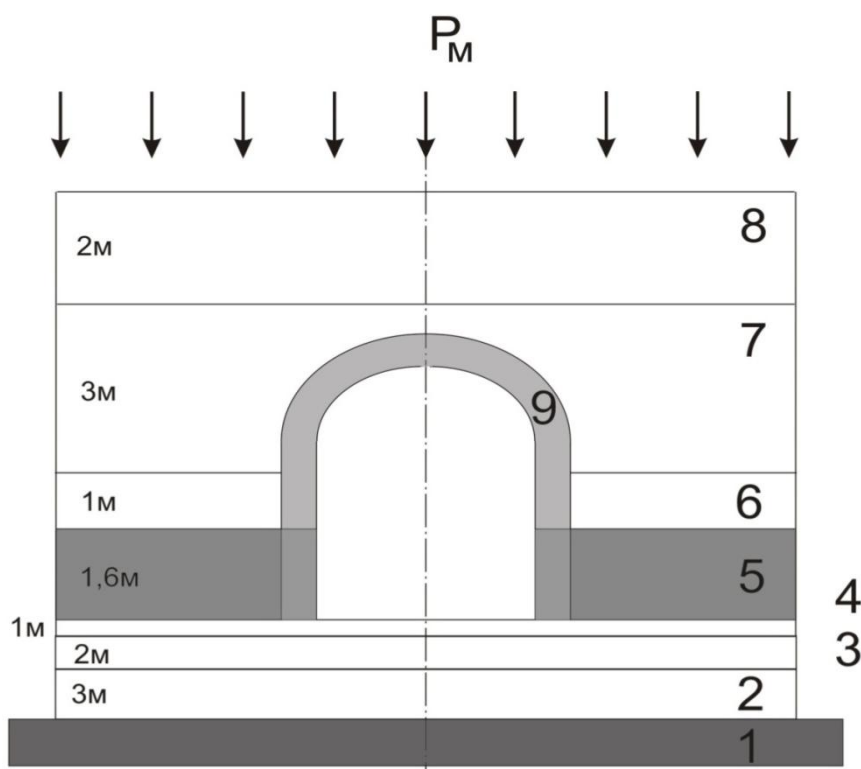
Данные, приведенные в табл. 4, будут использованы при изучении влияния инъекционного упрочнения пород самонапрягающимся цементно-песчаным

тампонажным раствором на характер взаимодействия контура выработки и податливой рамной крепи.

**Изготовление и подготовка моделей к испытаниям.** Геологический разрез углевмещающей толщи горных пород задается согласно плану горных работ по пласту  $m_3$  шахты им. Засядько (рис. 3.5).

Для исследования конвергенции контура выработки было изготовлено 4 модели. В двух из них при изготовлении бетонной смеси, используемой для изготовления в модели упрочненной зоны нарушенных пород 9, использовался портландцемент с добавками фосфогипсо-известковых спеков, а в двух оставшихся — бездобавочный портландцемент. При приготовлении бетонной смеси в смеситель, согласно рецептуре (табл. 2), сначала высыпается отвешенное количество песка, затем портландцемента с добавками или без них и тщательно перемешиваем. В полученную смесь в один прием выливается отвешенное количество воды. После того как вода впитывается, смесь перемешивается в течение 10 мин, а затем в нее высыпается отвешенное количество щебня. Полученную таким образом массу тщательно перемешивают в течение 15 минут.

Готовая бетонная смесь послойно укладывается в предварительно смазанную тонким слоем минерального масла опалубку согласно геологическому разрезу моделируемой толщи горных пород (рис. 6).



1 — нижняя плита пресса; 2,3,4 — соответственно слои песчаника, аргиллита и алевролита в почве; 5 — слой угля; 6 — слой алевролита; 7 — слой песчаника; 8 — слой алевролита; 9 -зона нарушенных пород; 10 — анкерная крепь

Рисунок 6 — Схематический геологический разрез модели

Интервал между укладкой и закаткой слоев составляет 30 минут. Анкера длиной 70 мм устанавливаются в процессе укладки в модели слоя, характеризующего упрочненную зону 9 нарушенных приконтурных пород, под углом  $75^{\circ}$  к плоскости ХУ.

Для предохранения от пересыхания модели накрываются тканью, которая до 28 суток с момента изготовления увлажнялась один раз в сутки, а после — через 5 суток.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка метода расчета параметров самонапряжения тампонажного камня / Л.Д. Шматовский, А.Н. Коломиец, М.С. Зайцев [и др.] // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 110. – С. 219-230.
2. Перепелица, В.Г. Особенности напряженного состояния горного массива в процессе проведения выработки / В.Г. Перепелица, А.Н. Коломиец, Л.Д. Шматовский // Доповіди НАН України. – 2012. - № 5. – С. 57-61.
3. Методика и оборудование для экспериментальных исследований сопротивляемости напряженных горных пород механическому разрушению / Л.Д. Шматовский, А.Н. Коломиец, М.С. Зайцев [и др.] // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 111. – С. 213-221
4. Пат. СА2670181 (A1), МКВ E21B10/567, E21B41/00. Discrete element modeling of rock destruction under high pressure conditions, Ledgerwood Leroy W [US], Baker Hughes Inc [US], 05.06.2008.
5. Зорин, А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / А.Н. Зорин, Ю.М. Халимендик, В.Г. Колесников. - М.: Недра, 2001. - 413 с.
6. Bedard, C. Aitcin pierri-Claude: A la recherché d'un beton de 150 MPa // Ganadian journal of civil Engineering. – 2003. – Vol. 21. - № 4. – P. 600-613.

---

#### REFERENCES

1. Shmatovsky, L.D., Kolomietc, A.N., Zaitsev, M.S. et all (2013), “Method for computing parameters of grouting rock self-stress”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 110, pp. 219-231.
2. Perpelitsa, V.G., Kolomietc, A.N. and Shmatovsky, L.D. (2012), “Features stress state in the rock mass in the process of event generation”, *Dopovidi NAN Ukrainy*, vol. 5, pp. 57-61.
3. Shmatovsky, L.D., Kolomietc, A.N. and Zaitsev, M.S. et all (2013), “Method and equipment for experimental studying of the stressed rock resistibility to mechanical breaking”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 111, pp. 213-223.
4. Ledgerwood Leroy W, Baker Hughes Inc, “Discrete element modeling of rock destruction under high pressure conditions”, Pat. № CA2670181
5. Zorin, A.N., Khalimendik, Y.M., and Kolesnikov V.G. (2001), *Mekhanika razrusheniya gornogo massiva i ispolzovanie ego energii pri dobyche poleznykh iskopaemykh* [Fracture mechanics of the rock mass and the use of its energy for production of mineral resources], Nedra, Moscow, Russia.
6. Bedard, C. (2003), “Aitcin pierri-Claude: A la recherché d'un beton de 150 Mpa”, *Ganadian journal of civil Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 600-613.

---

#### Об авторах

**Зайцев Максим Станиславович**, магистр, младший научный сотрудник отдела Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

**Коломиец Александр Николаевич**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

*Шматовский Леонид Дмитриевич*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

#### About the authors

*Zaitsev Maxim Stanislavovich*, Master of Science, Junior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

*Kolomiets Alexander Nikolaevich*, Candidate of Physics and Mathematics (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

*Shmatovsky Leonid Dmitrievich*, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

**Анотація.** Розроблено основні методичні положення для проведення експериментальних досліджень поведінки, зміцненого анкерним кріпленням і ін'єкцією розширюється тампонажним розчином контуру виробки. Так як поставлена задача полягає у встановленні на моделях з еквівалентних матеріалів впливу армопорідних утворень на конвергенцію контуру виробки, то основними фізико-механічними характеристиками, що відіграють визначальну роль у даному процесі, є умови подібності матеріалу моделі і модельованого товщі порід за характеристиками міцності, та умови подібності з процесів пружних деформацій. Результати цих досліджень необхідні для розробки технології підвищення стійкості виробок за допомогою зміцнення приконтурних порід виробки та залучення їх у процес протидії гірського тиску.

**Ключові слова:** гірська порода, анкерне кріплення, ін'єкційне зміцнення, моделювання, метод еквівалентних матеріалів, бетонна суміш.

**Abstract.** Behaviour of longwall contours consolidated by the roof bolting and by injecting of expanding grouting mortar were experimentally studied with the help of specially elaborated key methodological principles. As an assigned task is to study interdependence between consolidated rock formations and convergence of the longwall contour with the help of models of equivalent materials, therefore, key physical and mechanical characteristics which play a determining role in this process include: (a) condition of similarity of the model materials and simulated rock thickness by their strength properties and (b) condition of similarity of simulated processes of elastic deformations. Results of these studies are required for further designing of technologies for improving longwall stability by way of consolidation of marginal rocks with involving them into the process of resistance to the rock pressure.

**Keywords:** rocks, roof bolting, consolidating injection, modeling, method of equivalent materials, concrete mix.

*Статья поступила в редакцию 24.09.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.И. Дырдой*