

чения их устойчивости на больших глубинах: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.02. – Донецк, 2002. – 358 с.

3. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн – М.: Стройиздат, 1977. – 131 с.

4. Пат. № 97006, МПК E21D 11/00 (2006.01), F42B 1/00 (2006.01), F42D 3/04 (2006.01), E21C 41/18 (2006.01) Спосіб охорони гірничих виробок і пристрій для його здійснення / М.М. Касьян, І.Г. Сахно (Україна). – а201002611; заявл. 09.03.2010, опубл. 26.12.2011, бюл. № 24. – 16с.:ил.

Рукопись поступила в редакцию 16.02.12

УДК 622.28.5

Ю.А ПЕТРЕНКО, А.О НОВИКОВ, д-р техн. наук, доц., А.В РЕЗНИК, инженер,  
И.Н. ШЕСТОПАЛОВ, ассистент, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## РАВНОРАДИУСНАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КРЕПЬ НАПРАВЛЕННОЙ ПОДАТЛИВОСТИ

Приведен анализ причин деформирования металлической арочной податливой крепи, а также результаты лабораторных и аналитических исследований изменения работоспособности крепи при различных углах залегания вмещающих выработок пород. Предложена универсальная конструкция крепи, обеспечивающая длительную устойчивость поддерживаемых выработок.

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Многолетний опыт крепления выработок металлической рамной податливой крепью показывает, что оно не обеспечивает их нормальное эксплуатационное состояние в течении срока службы. Предпринятые в последние десятилетия попытки улучшить состояние выработок путем применения более мощных профилей и уплотнения крепи положительных результатов не дали, а привели лишь к росту материальных и трудовых затрат на поддержание.

**Анализ основных исследований и публикаций.** Ежегодно протяженность подготовительных выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, увеличивается на 1-2 % (табл. 1).

Таблица 1

Состояние подготовительных выработок на шахтах Донецко-Макеевского района Донбасса

По состоянию на:	Протяженность выработок, км	Протяженность участков, не удовлетворяющих требованиям Правил Безопасности	
		км	%
2000	845,77	144,66	17,1
2002	643,38	127,41	19,8
2006	530,28	102,27	19,3
2007	480,15	92,7	19,3
2009	426,07	89,69	21,0
2010	419,92	93,27	22,2

Проведенный анализ состояния выработок, закрепленных различными видами крепи (табл. 2), показал, что преобладающим видом крепи на шахтах Донбасса остается металлическая арочная податливая крепь, которой закреплено около 90% горных выработок.

Таблица 2

Объем применения и состояние крепи горных выработок

Вид крепи	2004		2006		2008		2010	
	1*	2	1	2	1	2	1	2
Металлическая податливая	90,2	70,4	90,4	71,6	90,5	71,9	90,6	73,2
Бетонная и железобетонная	4,4	32,2	3,5	34,3	2,7	31,8	2,5	30,9
Смешанная	3,2	43,4	2,8	41,6	2,85	42,0	2,8	41,2
Комбинированная на основе анкерной	1,5	20,3	2,6	21,1	3,1	20,8	3,2	21,2
Анкерная	0,3	10,2	0,5	12,1	0,7	11,7	0,8	11,9
Другие виды	0,4	50,2	0,2	49,3	0,15	48,1	0,1	46,0
Итого	100		100		100		100	

\* – объем применения крепи, %; 2 – деформировано крепи, %

Опыт эксплуатации выработок, закрепленных арочной крепью, показывает [1], что основным фактором, снижающим устойчивость выработок, является несовпадение направления по-

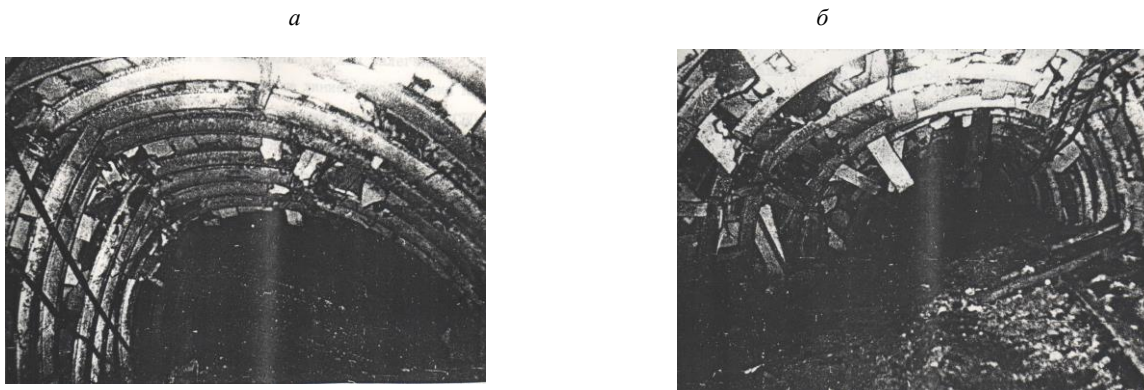
датливости постоянной крепи с преобладающими смещениями породного контура, которое отмечено в 59 % обследованных выработок.

Опыт эксплуатации выработок, закрепленных арочной крепью, показывает [1], что основным фактором, снижающим устойчивость выработок, является несовпадение направления податливости постоянной крепи с преобладающими смещениями породного контура, которое отмечено в 59 % обследованных выработок.

В выработках, пройденных по простиранию, преобладают смещения контура в направлении, нормальном к напластованию, т.е. большие деформации кровли в сечении наблюдаются со стороны падения пород, а почвы – со стороны восстания. Как в пластовых, так и в полевых штреках замок податливости срабатывает, как правило, со стороны падения пород, а со стороны восстания верхняк и стойка теряют соосность, податливость не реализуется, срез стойки развальцовывается и происходит разрыв хомутов.

Описанный характер деформаций крепи и неравномерное по ширине выработки пучение почвы отмечено при обследовании 8-го западного полевого штрека гор. 840 м шахты «Новодружеская» (рис. 1а) и 7-го западного полевого вентиляционного штрека пласта  $m_3^H$  гор. 650 м шахты им. Г.Г. Капустина (рис. 1б) и других штреках, проведенных в слоистых породах. При угле падения пород более 10-15° влияние направления преобладающих смещений на устойчивость системы «крепь-массив» проявляется практически во всех случаях, при меньших углах возможно одновременное срабатывание узлов податливости и сохранение симметричной формы выработки при условии качественного заполнения закрепного пространства, что, однако, в практике крепления выработок встречается редко.

**Изложение материала и результатов.** В выработках пройденных вкрест простирания, а также по падению и восстанию пород (всего в 12% обследованных) преобладающие смещения контура, отличные от направления податливости, проявляются при расположении продольной оси выработок в диапазоне углов 30-60° к линии простирания пород.



**Рис. 1.** Проявление неравномерности смещений пород по контуру выработок: а – в 8-м западном полевом штреке гор. 840 м шахты «Новодружеская», б – в 7-м западном полевом вентиляционном штреке пласта  $m_3^H$  гор. 650 м шахты им. Г.Г. Капустина



**Рис. 2.** Стенд для испытаний работоспособности арочной крепи: 1 – пространственная рама; 2 – модель трехзвенной крепи; 3 – нагрузочный рычаг; 4 – место крепления рычага к пространственной раме; 5 – калиброванная шкала в местах соединения несущих элементов крепи; 6 – замок (узел) №1; 7 – замок (узел) №2

Для оценки работоспособности арочной крепи, в зависимости от направления наибольших смещений, были проведены лабораторные исследования.

Для проведения исследований был разработан и изготовлен специальный стенд (рис. 2).

Конструкция стенда следующая. В пространственной раме 1 устанавливалась модель АПК (трехзвенной) из СВП-27 - 2 в масштабе 1:20. нагрузку на крепь создавали с помощью рычага 3. Моделировались углы приложения нагрузки 0,5,10,15,20,25 и 30°, для чего менялось место распо-

ложения узла крепления рычага 3 к пространственной раме. Перемещения несущих элементов крепи в замках измерялись с помощью калиброванной шкалы, нанесенной на несущих элементах в районе расположения замков. Результаты измерений в относительных единицах представлены в табл. 3.

Таблица 3

Угол залегания пород, град	Результаты измерений	
	Податливость узла №1	Податливость узла №2
0	1,0	1,0
5	1,0	1,0
10	1,1	0,9
15	1,6	0,8
20	2,0	0,4
25	2,2	0,25
30	2,2	0,2

Как видно из приведенных данных, уже при угле падения пород  $10^\circ$  наблюдается неравномерность деформации узлов податливости. При этом при угле падения пород  $15^\circ$  (наиболее типичный угол для условий Донбасса) податливость узла №2 уменьшается на 20 %, а при угле  $30^\circ$  – на 80 %. После этого рама переходит в жесткий режим работы, практически не используя свои потенциальные возможности. Таким образом, проведенные исследования показали, что для повышения работоспособности арочной крепи необходимо изменить место расположения узлов податливости, с учетом угла залегания пород.

Для этого была поставлена и решена следующая задача.

Известно, что элементы трехзвенной арочной крепи соединяются с помощью замков податливости. Действующие в поперечных сечениях рамы внутренние силы, обусловленные действием внешней нагрузки, обеспечивают работу замковых соединений. Тогда логично предположить, что в сечениях рамы, где возникают наименьшие поперечные силы, будут обеспечены наилучшие условия для взаимного перемещения элементов крепи и работы замков податливости.

Для установления местоположения этих сечений были проведены расчеты арочной крепи. Рассматривались две расчетные схемы: двухшарнирная и бесшарнирная арочная крепь.

Проведенные расчеты показали, что сечения рамы, в которых действуют наибольшие продольные силы, а поперечные силы равны нулю, располагаются друг от друга на расстоянии  $\beta R$  ( $\beta$  - угол между радиусами  $R$ , проведенными через эти сечения).

Величина угла  $\beta$  в зависимости от угла залегания пород составляет от  $70$  до  $100^\circ$ . Ось симметрии этих сечений повернута относительно вертикальной оси рамы на  $10-15^\circ$  в сторону нормали к напластованию пород.

Выполненные исследования позволили разработать и запатентовать конструкцию крепи [2] (рис. 3).

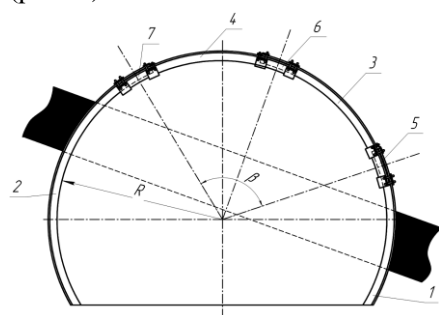


Рис. 3. Предлагаемая конструкция крепи: 1,2 - стойки крепи; 3 - элемент составного верхняка; 4 - верхняк; 5,6 и 7 - узлы соединения несущих элементов

В предлагаемой конструкции элементы, образующие составной верхняк, в месте их соединения верхним узлом податливости располагаются так, что их концы расположены параллельно напластованию, вследствие чего данный узел работает при воздействии на него только боковых нагрузок. Боковые узлы податливости работают только при воздействии на них нагрузок, действующих перпендикулярно напластованию.

Дифференцированная и согласованная работа узлов податливости исключает возникновение косонаправленных нагрузок в узлах податливости, а также обеспечит их длительную согласованную работу.

В разработанной конструкции боковые узлы податливости равноудалены от верхнего. Вследствие этого элементы составного верхняка имеют одинаковые размеры, причем их размер остается неизменным при любом залегании пород - изменяться будут только размеры стоек. Стандартизация при изготовлении элементов составного верхняка, позволит снизить затраты на их изготовление.

Сборка металлической податливой крепи осуществляется следующим образом. Вначале соединяют стойку 1 с элементом составного верхняка 3 при помощи узла податливости 5. Затем бурят лунки для стойки 2 и для собранной ранее части конструкции. Устанавливают стойки в проект-

ное положение. После этого поднимают элемент составного верхняка 4 в проектное положение и соединяют элементы крепи в единую конструкцию при помощи узлов податливости 6 и 7.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Использование предлагаемой конструкции позволит за счет согласованной работы всех узлов податливости обеспечить длительную работоспособность крепи, повысит устойчивость выработки, снизит затраты на ее поддержание и изготовление элементов крепи.

Другим возможным направлением повышения работоспособности металлической арочной крепи является применение комбинированных крепей, в том числе на основе использования анкерных систем.

#### *Список литературы*

1. Кошелев К.В., Перенко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
2. Касьян М.М., Новіков О.О., Петренко Ю.А., Шестопапов І.М., Рєзнік А.В. Металева податливе кріплення – Патент на корисну модель №64368, зареєстр. 10.11.2011р. – 7с.  
Рукопись поступила в редакцию 16.03.12

УДК 622.831.3

О.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, Р.М. ТЕРЕЩУК, канд. техн. наук, доц.  
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

### **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОХИЛИХ ВИРОБОК В УМОВАХ ПАТ «ДТЕК ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ»**

На основі математичного моделювання методом скінчених елементів встановлені закономірності розподілу напружень в межах масиву навколо похилих виробок. Виявлені закономірності зміни розмірів області непружних деформацій навколо виробок залежно від гірничо-геологічних умов шахт ПАТ «ДТЕК Добропіллявугілля» та визначені граничні розміри таких зон.

**Вступ.** Стан панельних капітальних гірничих виробок залежить від багатьох обставин, серед яких важливе значення має стійкість породного масиву у запобіжних ціликах, що охороняють такі виробки і покликані запобігти взаємному впливу і впливу опорного тиску, викликаного очисними роботами, на вантажний або людський ходки. Розрахунковий запас міцності ціликів і стан масиву у їх межах навколо виробки є базовими параметрами для оцінки стану всієї системи і визначають заходи з її охорони, а саме тип і параметри кріплення, місце розташування виробки тощо.

Найбільш точними методами, що дозволяють встановити причинно-наслідкові зв'язки між силами, діючими на систему, і кінцевим розподілом напружень у породному масиві, а також оцінити такі залежності кількісно є такі, що засновані на аналізі результуючої картини напружено-деформованого стану породного середовища навколо виробки.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Більшість дослідників [1,2 та ін.] пропонують рішення задачі про напружено-деформований стан породного масиву, використовуючи методи механіки суцільного середовища. Їх залучення дозволяє у кожному конкретному випадку, залежно від типу порід, що вміщують виробки, найбільш адекватно відбити фізико-механічні властивості і особливості деформації матеріалів. У свою чергу, при побудові підсумкової картини розподілу напружень слід враховувати нелінійність зміни характеристик елементів масиву, і, передусім, пружно-пластичну деформацію порід. Для побудови картини напружено-деформованого стану масиву досить виділити декілька параметрів, що найбільш впливають на його поведінку, і шляхом комплексного аналізу або моделювання отримати результуючу картину розподілу напружень. Метод аналізу пружно-деформованого стану повинен забезпечувати високу точність результатів рішень.

Методами, що задовольняють усім цим вимогам, є так звані наближені чисельні методи, що отримали протягом останніх декількох років широке поширення. Такі методи дозволяють з достатньою мірою точності отримати кількісну оцінку параметрів стану масиву гірських порід, а також наочно показати якісну картину його напружено-деформованого стану.

При рішенні завдань геомеханіки найбільше застосування отримав метод скінчених елементів (МСЕ). МСЕ має ряд переваг, які істотно полегшують рішення завдань геомеханіки при найбільш точних результатах.