

Математическое моделирование стендовых испытаний арочных крепей податливой конструкции

Д. Н. Макшанкин,

соискатель кафедры разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГОУ КузГТУ

В. А. Гоголин,

д. т. н., профессор кафедры прикладной математики ГОУ КузГТУ

А. В. Ремезов,

д. т. н., профессор кафедры РМПИ ГОУ КузГТУ

Арочные податливые крепи предназначены для крепления в горизонтальных и наклонных выработках, проводимых в породах с коэффициентом крепости $f = 3 \div 9$, находящихся как в зоне влияния очистных работ, так и зоне установившегося горного давления, при условии отсутствия пучащих пород в почве выработки. Величина расчетной податливости крепи должна соответствовать величине ожидаемых смещений; арочная трехзвенная крепь может быть применена в выработках, смещение кровли в которых не превышает 300 мм, пятизвенная – при смещении кровли более 300 мм. В Кузбассе применяют подковообразную арочную трехзвенную крепь из шахтного спецпрофиля СВП различных типоразмеров. Такие крепи лучше сопротивляются боковым смещениям и нагрузкам, характерным для крутых пластов.

Арка трехзвенной податливой крепи состоит из верхняка и двух стоек. Все звенья арки соединены между собой скобами с планками и гайками (Рис. 1). Податливость крепи достигается за счет сдвигания концов звеньев одного в другой в местах их соединения, которые называются замками. Таким образом, трехзвенная крепь имеет два замка, причем проектная величина ее податливости составляет до 300 мм. Величина податливости определяется усилием, приложенным при затягивании гаек на скобах. Вдоль выработки каждая арка соединяется с соседней аркой тремя межрамными стяжками, располагаемыми в кровле и по бокам выработки.

Промышленное использование арочных крепей возможно только после стендовых испытаний, которые должны подтвердить их работоспособность. Стендовые испытания выполняются согласно ГОСТу Р 50910-96 «Крепи металлические податливые рамные» [1]. В натурных стендовых испытаниях крепь нагружается вертикально по центральной точке верхняка до нагрузки, когда крепь теряет несущую способность. На стенде КузНИИшахтоостроя для этой цели используются гидроцилиндры от комплекса 2-ОКП-70. Потеря несущей способности фиксируется падением давления в манометрах, регистрирующих давление в гидроцилиндрах. Согласно ГОСТу, испытания проводятся в двух режимах: 1) пассивном, когда гидроцилиндры, горизонтально расположенные на высоте 1 м от концов стоек, удерживают стойки крепи от горизонтальных смещений; 2) активном, когда на эти гидроцилиндры подается нагрузка (см. рис. 1а).

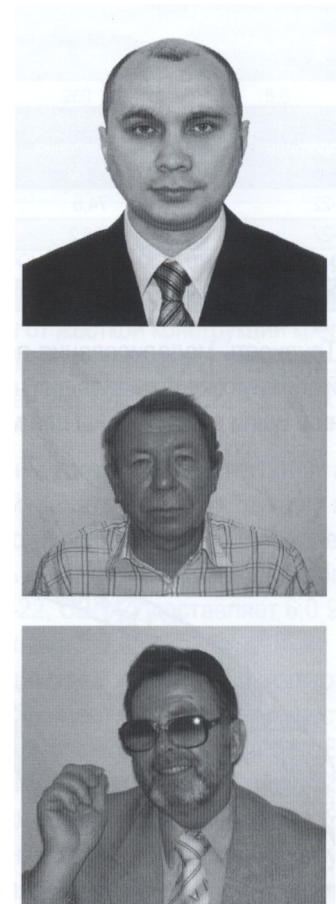
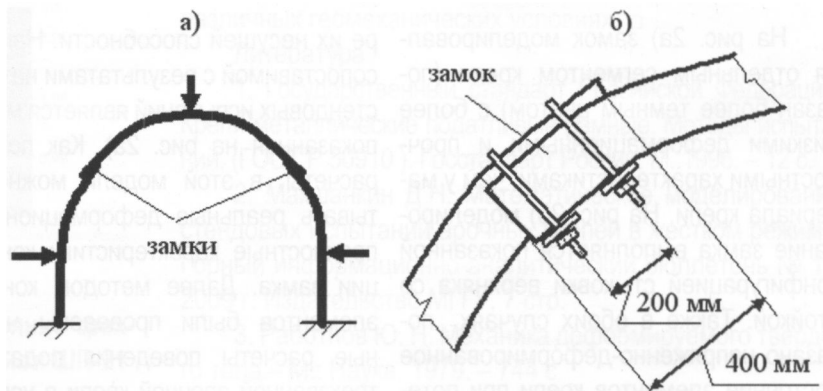


Рис. 1. Схема трехзвенной податливой крепи и ее стендовых испытаний (а); место соединения звеньев (б)



В работе [2] описано моделирование испытаний арочных крепей жесткой конструкции, без элементов податливости. Установлено следующее:

- 1. Математическое моделирование методом конечных элементов является альтернативой экспериментальным стендовым испытаниям арочных крепей жесткой конструкции.
- 2. Арочная крепь жесткой конструкции, изготовленная из нового профиля ШП, имеет более высокую

несущую способность по сравнению с крепью из профиля СВП на 6–10 %. Поэтому профиль ШП может быть использован при изготовлении арочных крепей с сортаментом 21, 26.

- 3. Арочные трехзвенные крепи, изготовленные из профиля ШП-21, 26, могут быть применены на практике для крепления подготовительных выработок.
- Для анализа поведения податливой арочной трехзвенной крепи, изготов-

ленной из нового профиля ШП, также было проведено математическое моделирование стендовых испытаний. Как и в работе [2], профили изучаемых крепей были эквивалентно заменены на приведенные профили прямоугольного сечения. Размеры сечений прямоугольных профилей рассчитывались по равенству площадей поперечных сечений и моментов сопротивления в соответствии с [3]. Эти результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Геометрические характеристики профилей крепей и их приведенных сечений

Тип профиля	Момент сопротивления, W_x , см ³	Площадь сечения профиля, F , см ²	Вертикальный размер приведенного сечения, R , см	Горизонтальный размер приведенного сечения, L , см
СВП-22	74,8	27,91	16,08	1,74
СВП-27	100,2	34,37	17,49	1,96
ШП-21	75,45	26,68	16,97	1,57
ШП-26	104,6	33,47	18,75	1,79

Трудность моделирования поведения податливой арочной крепи заключается в том, что замок крепи представляет собой сложную конструкцию для численного и, тем более, аналитического описания его напряженно-деформированного состояния. Были рассмотрены две математические модели замка, имитирующие податливый режим работы крепи (рис. 2).

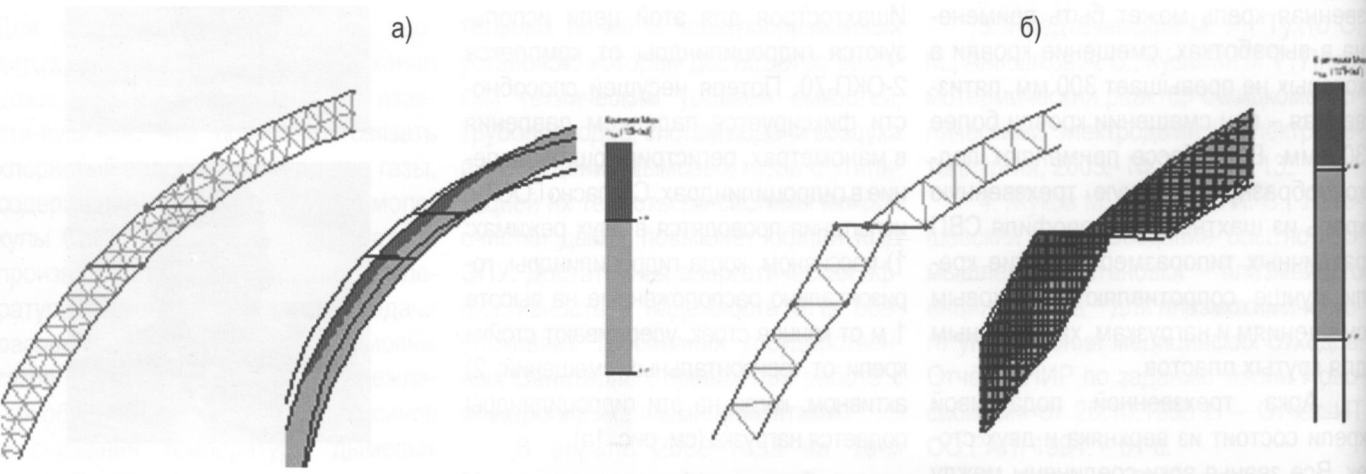


Рис. 2. Математические модели замков трехзвенной арочной крепи и их кинематическое и прочностное состояние в предельном режиме нагружения

На рис. 2а) замок моделировался отдельным сегментом крепи (показан более темным цветом) с более низкими деформационными и прочностными характеристиками, чем у материала крепи. На рис. 2б) моделирование замка выполняется показанной конфигурацией стыковки верхняка со стойкой. Также в обоих случаях показано напряженно-деформированное состояние элементов крепи при поте-

ре их несущей способности. Наиболее сопоставимой с результатами натурных стендовых испытаний является модель, показанная на рис. 2а). Как показали расчеты, в этой модели можно учитывать реальные деформационные и прочностные характеристики конструкции замка. Далее методом конечных элементов были проведены численные расчеты поведения податливой трехзвенной арочной крепи в условиях

стендовых испытаний с выбранной моделью замка. Так как конструктивные элементы крепей изготавливаются из горячекатанной стали, то при расчетах были приняты соответствующие деформационные и прочностные характеристики этого материала: модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м², коэффициент поперечных деформаций $\nu = 0,25$, прочность на растяжение $4 \cdot 10^8$ Н/м² [4]. Эти па-

параметры для модели податливого узла были следующими: модуль упругости $E = 109 \text{ Н/м}^2$, коэффициент поперечных деформаций $\nu = 0,27$. Прочность на растяжение составляет 107 Н/м^2 . Данные числовые значения деформационных параметров были выбраны из сопоставления результатов начальных

стадий стендовых испытаний и результатов численных расчетов. Результаты сопоставления стендовых испытаний и численных расчетов основных параметров рассматриваемых крепей приведены в табл. 2.

Поведение трехзвенных арочных крепей можно характеризовать по за-

висимости прогиба верхняка I от вертикальной нагрузки P . Эти зависимости представлены на рис. 3.

Из этого графика видно, что при соответствующих типоразмерах профилей арочных крепей, крепь с профилем ШП имеет повышенную несущую способность.

Таблица 2

Результаты стендовых испытаний и численных расчетов арочных податливых крепей

Тип профиля	Несущая способность по стендовым испытаниям, Кн	Несущая способность по расчетам, P , Кн	Погрешность расчета несущей способности, %	Прогиб верхняка по стендовым испытаниям, мм	Прогиб верхняка по расчетам, I , мм	Погрешность расчета смещений верхняка, %
СВП-22	302	312	9,7	274	260	5,0
СВП-27	405	381	6,0	382	350	8,4
ШП-21	-	364	-	-	263	-
ШП-26	-	412	-	-	356	-

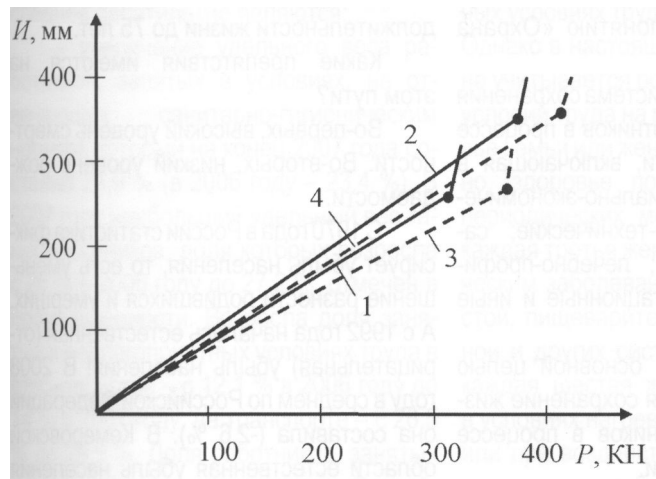


Рис. 3. Зависимость прогиба верхняка I от вертикальной нагрузки P для профилей СВП-22 (1), СВП-27 (2), ШП-21 (3), ШП-26 (4)

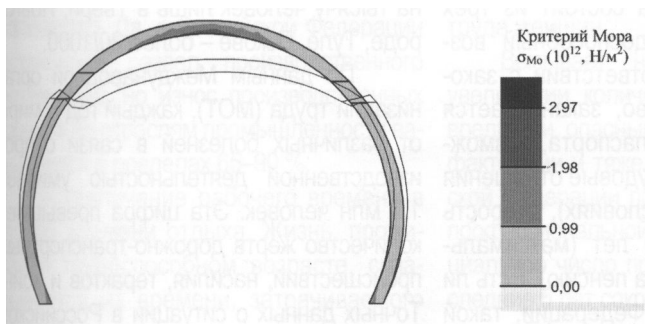


Рис. 4. Кинематическое и прочностное состояние трехзвенной податливой арочной крепи из профиля ШП-21

Кинематическое и прочностное состояние трехзвенной арочной крепи из профиля ШП-21 показано на рис. 4. Откуда видно, что в отличие от жесткой конструкции крепи [2], потеря несущей способности податливой крепи происходит в первую очередь в элементах податливости – замках.

Основные выводы:

1. Экспериментальные стендовые испытания арочных трехзвенных крепей податливой конструкции могут быть математически смоделированы методом конечных элементов. Погрешность расчетов несущей способности крепей с профилем СВП-22, СВП-27 составляет 6,0, 9,7 %, а величины прогиба верхняка 5,0, 8,4 %.

2. Арочная крепь податливой конструкции, изготовленная из нового профиля ШП, имеет более высокую несущую способность по сравнению с крепью из профиля СВП на 5,3, 9,2 %. Поэтому профиль ШП может быть использован при изготовлении арочных крепей с сортаментом 21, 26.

3. Арочные трехзвенные крепи податливой конструкции, изготовленные из профиля ШП-21, 26, могут быть применены на практике для крепления подготовительных выработок.

4. Важной дальнейшей задачей является рассмотрение поведения таких крепей во взаимодействии с массивом горных пород в подготовительных выработках при различных геомеханических условиях. □

Литература

1. Государственный стандарт Российской Федерации. Крепи металлические податливые рамные. Методы испытаний. (ГОСТ Р 50910). Госстандарт России. М.:1996. – 12 с.

2. Макшанкин Д.Н. Математическое моделирование стендовых испытаний арочных крепей в жестком режиме. Горный информационно-аналитический бюллетень № 11, 2009 г. Издательство МГГУ, 7 стр.

3. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела.– М.: Наука, 1979. – 744 с.