

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-3-68-74

УДК 622.831

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАСЧЕТА КРЕПИ С ТАМПОНАЖЕМ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА**FORMULATION OF THE PROBLEM OF CALCULATION OF THE SUPPORT WITH FILLING OF THE SPACE BEHIND THE SUPPORT**

Тациенко Виктор Прокопьевич,
доктор техн. наук, e-mail: ipeb@kuzstu.ru
Victor P. Tatsienko, Dr. Sc. in Engineering

Гоголин Вячеслав Анатольевич,
доктор техн наук, профессор, e-mail: gva.pv@kuzstu.ru
Vyacheslav A. Gogolin, Dr. Sc. in Engineering

Ермакова Инна Алексеевна,
доктор техн наук, профессор, e-mail: cia.pm@kuzstu.ru
Inna A. Ermakova, Dr. Sc. in Engineering

Лесин Юрий Васильевич,
доктор техн наук, профессор,
Yury V. Lesin, Dr. Sc. in Engineering

Лисковец Александр Сергеевич,
старший научный сотрудник, e-mail: promsnab_kmr@mail.ru
Alexander S. Liskovets, senior research scientist

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennyaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

Применение тампонажа закрепного пространства подготовительных выработок позволяет полностью изолировать выработку и оказывает влияние на несущую способность крепи. Существующие методики расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород при тампонаже закрепного пространства не полностью учитывают взаимодействие блоков системы «крепь – тампонажный слой – массив горных пород». В данной работе приводится постановка задачи расчета крепи, учитывающая взаимодействие блоков системы. Рассматривается осесимметричное состояние системы в гидростатическом поле напряжений. Записаны уравнения равновесия в напряжениях в блоках кольцевой формы для расчетной области. Приведены зависимости радиальных и окружных напряжений в кольцевой области. Напряжения зависят от давления на внутреннюю и внешнюю границы кольцевой области и ее радиусов. Для применения полученных зависимостей арочная трехзвенная крепь заменялась крепью кольцевого вида. Для такой замены потребовалось рассчитать эквивалентные размеры поперечного сечения крепи и усредненный модуль упругости. Эквивалентные размеры крепи прямоугольного сечения установлены по условиям равенства площадей поперечного сечения крепи и равенства моментов инерции. Рассчитан усредненный модуль упругости крепи с различным профилем СВП. Расчет выполнен на основе сравнения результатов стендовых испытаний и расчетных данных по несущей способности крепи и смещению верхняка. Расчет напряженно-деформированного состояния крепи выполнен методом конечных элементов по лицензионной программе ELCUT. Полученные результаты позволяют корректно проводить расчеты крепи с тампонажем закрепного пространства.

Ключевые слова: арочная крепь, тампонажный слой, закрепное пространство, напряженно-деформированное состояние.

Abstract:

Use filling of the space behind the support in preliminary development allows to completely isolate development and changes capacity of the support. The existing methods for calculating the stress-strain state of rocks with filling of the space behind the support do not fully take into account the interaction of the blocks of the « support-filling layer - rock mass » system. The article presents the formulation of the problem of calculation of the support, taking into account the interaction of the system units. The axisymmetric state of the system in a hydrostatic stress field is considered. Equilibrium equations in stresses are written for blocks of annular form in the computational domain. Radial and circumferential stresses depend on the pressure on the inner and outer boundaries of the annular region and its radii. Arched three-piece support was replaced by a ring support to apply the dependencies. Such a replacement required the calculation of the equivalent cross-sectional dimensions of the support and the generalized modulus of elasticity. Equivalent dimensions of the support of rectangular cross section are established by the conditions of equality of the cross-sectional areas of the support and equality of the moments of inertia. The generalized modulus of elasticity was calculated for support of different profile. Comparison of the results of bench tests and calculated data on the carrying capacity of support and offset of the upper member was carried out. The calculation of the stress-strain state of the support is performed by the finite element method according to the licensed program ELCUT. The results obtained make it possible to correctly carry out calculations of support with the filling of the space behind the support.

Key words: arched support, filling layer, space behind the support, stress-strain state.

Задача расчета крепи подготовительных и капитальных выработок является одной из основных задач геомеханики. Для решения этой задачи использовались экспериментальные и теоретические подходы.

Результаты экспериментальных исследований представлены в многочисленных работах, обобщены в монографиях [1, 2, 3], в указаниях для

выполнения проектных работ [4, 5], а также в учебных пособиях [6]. Выполнить полный обзор этих исследований является большой самостоятельной задачей. Областью применения полученных расчетных формул по нагрузкам на крепь, смещениям крепи и ее несущей способности являются только те горно-геологические и горнотехнические условия, в которых проводились экспериментальные

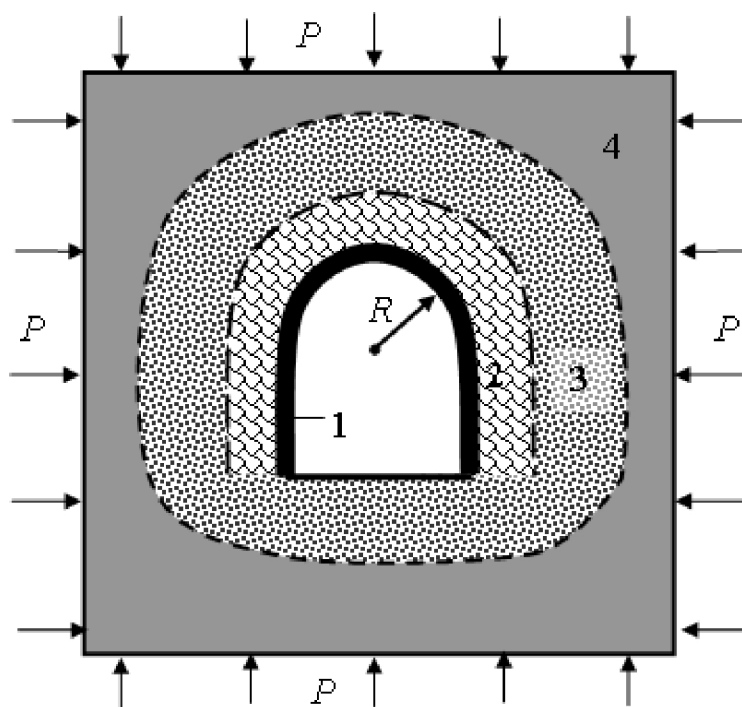


Рис. 1. Расчетная схема: 1 – крепь; 2 – тампонажный слой; 3 – частично разрушенные породы; 4 – вмещающие породы

Fig. 1. Calculation scheme: 1 – support; 2 – filling layer; 3 – partly broken ground; 4 – host rock

замеры. Стремление учесть все возможные факторы, влияющие на состояние крепи, приводит к появлению эмпирических коэффициентов, число которых доходит до десяти. Достаточно приближенное определение эмпирических коэффициентов заметно снижает точность расчетных формул, так что чем меньше используется эмпирических коэффициентов, тем точнее расчетные формулы, но в более узкой области их применения.

Теоретический подход позволяет получить более общие закономерности геомеханического состояния крепи и массива горных пород, а также уточнить эмпирические формулы. Одно из направлений теоретических расчетов крепи основано на знании предполагаемых нагрузок на крепь и дальнейшем использовании расчетных методов сопротивления материалов и строительной механики [7]. Однако значения нагрузок на крепь можно выяснить только после решения задачи о взаимодействии крепи с массивом горных пород. Такой подход реализован в ряде работ, в которых исследовались различные виды крепей [8, 9, 10].

Теоретическая оценка влияния тампонажа закрепленного пространства на напряженно-деформированное состояние массива горных пород выполнена в работе [11]. Однако давление на крепь заранее задавалось как рабочее сопротивление крепи, которое заранее неизвестно.

В данной работе рассматривается постановка задачи о расчете напряженно-деформированного состояния системы «рамная крепь – тампонажный слой – массив горных пород».

Общая схема расчета представлена на рис. 1.

Рассматривается напряженно-деформированное состояние расчетной области при взаимодействии верхняка крепи с тампонажным слоем и массивом горных пород. Расчет проводится для круговой выработки с радиусом R , равным радиусу верхняка крепи. Если известна площадь сечения выработки S , то рассматривается приведенный радиус $R = \sqrt{S/\pi}$. Расчетная область состоит из четырех блоков.

Блок 1 – крепь с деформационными и прочностными характеристиками: E_k – модуль деформаций; ν_k – коэффициент поперечных деформаций; σ_k – прочность материала крепи (стали) на растяжение.

Блок 2 – слой тампонажного камня с деформационными и прочностными характеристиками: E_t – модуль деформаций; ν_t – коэффициент поперечных деформаций; σ_t – прочность тампонажного камня на сжатие.

Блок 3 – зона частично разрушенных пород (запредельного деформирования), в которой окружные и радиальные напряжения пропорциональны.

Блок 4 – зона вмещающих пород, находящихся в упругом состоянии с деформационными и прочностными характеристиками: E – модуль деформаций пород; ν – коэффициент поперечных

деформаций; $\sigma_{сж}$ – прочность на сжатие.

Границы зон сохраняют непрерывность, поэтому при переходе через границы зон радиальные смещения и напряжения должны быть непрерывными.

Уравнение равновесия в напряжениях для осесимметричной задачи имеет следующий вид [12]:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0. \quad (1)$$

Здесь r – расстояние от центра выработки; σ_r , σ_θ – радиальное и окружное напряжение.

Данное уравнение применимо к каждому блоку расчетной области.

Внутреннее и внешнее давление на блок p_1 , p_2 заданы, и граничные условия имеют вид

$$\begin{cases} \sigma_r(R_1) = p_1; \\ \sigma_r(R_2) = p_2. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь R_1 , R_2 – внутренний и внешний радиус кольцевой зоны.

Общее решение этого уравнения для упругого (линейно-деформированного) поведения материала крепи и горных пород имеет следующий вид [11]:

$$\begin{cases} \sigma_r(r) = \frac{p_2 \cdot R_2^2 - p_1 \cdot R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} - \frac{R_2^2 \cdot R_1^2 \cdot (p_2 - p_1)}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}; \\ \sigma_\theta(r) = \frac{p_2 \cdot R_2^2 - p_1 \cdot R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{R_2^2 \cdot R_1^2 \cdot (p_2 - p_1)}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}, \end{cases} \quad (3)$$

где r – расстояние от центра выработки.

На внутренней границе области со стороны выработки давление на крепь отсутствует: $\sigma_r(R) = 0$.

На удаленном расстоянии от выработки распределение напряжений в массиве горных пород принимается гидростатическим: $\sigma_r(\infty) = \sigma_\theta(\infty) = p$. В частности, $p = \gamma H$, где γ – удельный вес пород, H – глубина заложения выработки.

Рассмотрим кольцевую крепь с внутренним радиусом R и внешним радиусом R_1 . Высота крепи составляет $R_1 - R = h_k$. Внутренняя поверхность крепи не нагружена, внешняя поверхность испытывает давление со стороны тампонажа q . Поэтому граничные условия имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \sigma_r(R) = 0; \\ \sigma_r(R_1) = q. \end{cases} \quad (4)$$

В соответствии с общим решением (3) с учетом граничных условий (4) получаем распределение напряжений в крепи:

$$\begin{cases} \sigma_r(r) = \frac{q \cdot R_1^2}{R_1^2 - R^2} - \frac{R^2 \cdot R_1^2 \cdot q}{R_1^2 - R^2} \cdot \frac{1}{r^2}; \\ \sigma_\theta(r) = \frac{q \cdot R_1^2}{R_1^2 - R^2} + \frac{R^2 \cdot R_1^2 \cdot q}{R_1^2 - R^2} \cdot \frac{1}{r^2}. \end{cases} \quad (5)$$

Напряжения на внутренней поверхности крепи при $r = R$ находятся из выражений (5).

$$\begin{cases} \sigma_r(R) = 0; \\ \sigma_\theta(R) = \frac{2 \cdot q \cdot R_1^2}{R_1^2 - R^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Окружная деформация крепи для осесимметричного состояния в соответствии с [12] имеет вид:

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E_k} \cdot [\sigma_\theta \cdot (1 - \nu_k^2) - (\nu_k + \nu_k^2) \cdot \sigma_r],$$

(7)

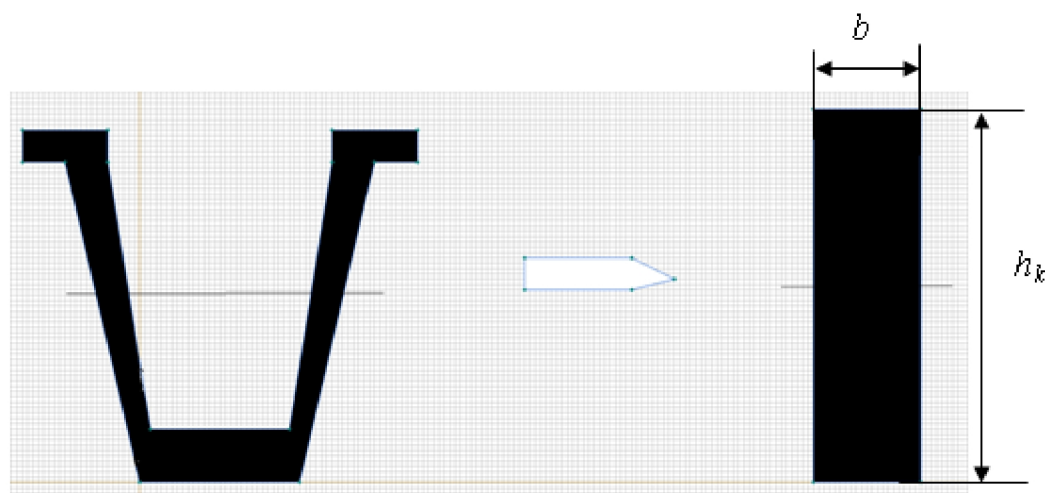


Рис. 2. Преобразование профиля крепи к эквивалентному сечению
Fig. 2. Profile conversion lining to equivalent cross section

Таблица. Эквивалентные размеры поперечного сечения крепи для различных профилей СВП [4]
Table. Equivalent cross-sectional support dimensions for different SVP profiles [4]

Номер профиля	Площадь поперечного сечения S^* , см ²	Момент инерции I^* , см ⁴	Эквивалентная высота h_k , см	Эквивалентная ширина b , см
СВП-17	21,73	243,4	11,59	1,87
СВП-19	24,44	322,8	12,59	2,22
СВП-22	27,91	428,6	13,57	2,06
СВП-27	34,37	646,1	15,02	2,29
СВП-33	42,53	999,5	16,79	2,53

* Значения площадей и моментов инерции профилей СВП взяты по [«Профили для крепи горных выработок (шахтные стойки)» http://www.tc-evraz.com/products/industrial/pit_props].

где E_k – модуль линейных деформаций; ν_k – коэффициент поперечных деформаций материала крепи.

Подставляя выражение (6) в (7), с учетом того, что $\nu_k = 0,2 \div 0,3$ и $\nu_k^2 = 0,04 \div 0,09$ малы, получаем:

$$\varepsilon_\theta(R) = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{2 \cdot q \cdot R_1}{R_1^2 - R^2} = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{2 \cdot q \cdot R_1}{(R_1 - R) \cdot (R_1 + R)} \\ = [R_1 \approx R] = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{q \cdot R}{h_k}.$$

Вертикальное смещение (прогиб) верхняка крепи вычисляется как

$$u(R) = \varepsilon_\theta(R) \cdot R = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{q \cdot R^2}{h_k}. \quad (8)$$

Для вычисления этих смещений необходимо знать эквивалентную высоту крепи h_k и усредненный модуль линейных деформаций материала крепи E_k .

Для определения эквивалентных размеров сечения крепи заменим профиль СВП прямоугольником высотой h_k и шириной b (рис. 2).

Значения этих размеров находим из равенства площадей профиля S и прямоугольника и из равенства их моментов инерции I относительно среднего

сечения по высоте. Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} b \cdot h_k = S; \\ \frac{b \cdot h_k^3}{12} = I. \end{cases}$$

Решение этой системы имеет вид:

$$\begin{cases} h_k = \sqrt{\frac{12 \cdot I}{S}}; \\ b = \frac{S}{h_k}. \end{cases} \quad (9)$$

Полученные по формулам (9) значения эквивалентных размеров сечения крепи даны в таблице.

Усредненный модуль линейных деформаций крепи позволяет заменить для расчетов конструкцию крепи из верхняка, стоек и замков одним элементом – сплошной однородной крепью с эквивалентными размерами и той же податливостью.

Для определения усредненного модуля линейных деформаций крепи были использованы результаты стендовых испытаний крепей, проведенных в испытательной лаборатории ОАО «Кузнецкий завод». В работе [13] результаты стендовых

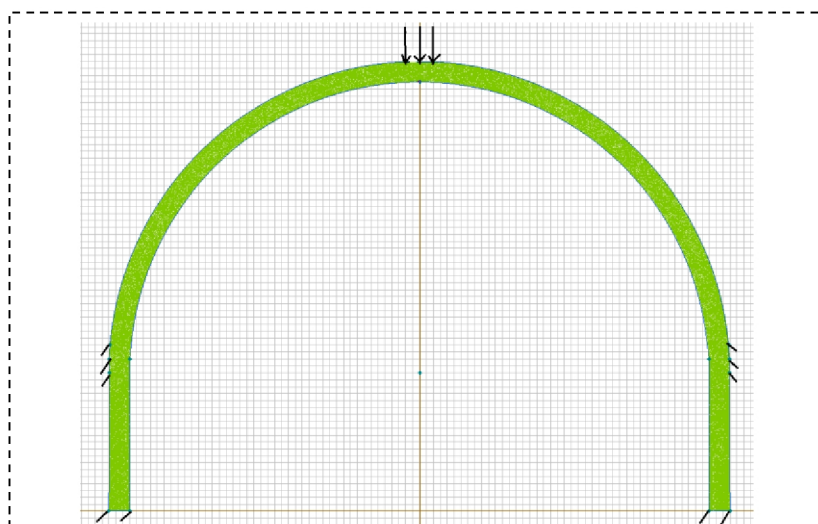


Рис. 3. Схема стендовых испытаний крепи по ГОСТ Р 50910-96 в пассивном режиме

Fig. 3. The bench test scheme in accordance with GOST R 50910-96 in the passive mode

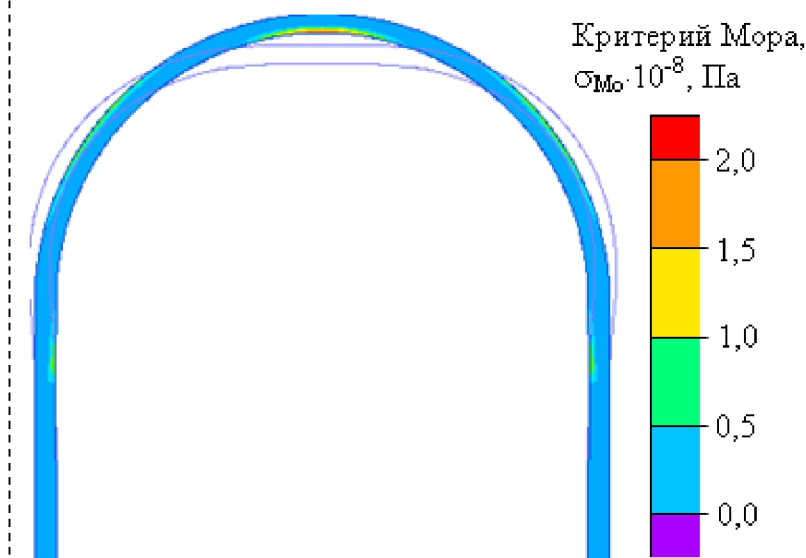


Рис. 4. Смещения крепи и распределение значений критерия Мора в предельном состоянии при потере несущей способности

Fig. 4. Displacement support and the distribution of the values of the Mohr criterion for the limit state with loss of bearing capacity

испытаний использовались для определения усредненного модуля упругости замков. В первую очередь было проверено соответствие расчетных результатов с результатами стендовых испытаний крепей для двух типоразмеров профилей: СВП-22, СВП-27. Результаты стендовых испытаний были предоставлены администрацией института «Кузниишахтострой» (Протокол № 17 стендовых сертификационных испытаний металлической податливой трехзвенной крепи арочной формы типа АКП, эллиптической формы типа КАПЭ и металлической жесткой коробовой формы типа КЖК, изготовленной на Шахтинском ремонтно-механическом заводе ОАО «Ростовшахтострой» от 30 июля 2007 г.)

Стендовые испытания выполняются согласно ГОСТ Р 50910-96 «Крепи металлические податливые рамные» [13]. В стендовых испытаниях крепь нагружается вертикально по центральной точке верхняка до той нагрузки, когда крепь теряет несущую способность. На стенде Кузниишахтострой 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. Общая схема стендовых испытаний приведена на рис. 3.

Значение усредненного модуля линейных деформаций определялось из условия равенства расчетных и натурных значений прогибов верхняка при потере рамой своей несущей способности. Для крепи АКП-9,8 с профилем СВП-22 потеря несущей способности рамы составила 352 кН, а прогиб верхняка при этом равнялся 284 мм. Для крепи АКП-12,2 с профилем СВП-27 потеря несущей способности рамы составила 424 кН, а прогиб верхняка равнялся 302 мм.

Крепь рассчитывалась как конструкция, находящаяся в плоском напряженном состоянии. Такое решение связано с тем, что горизонтальный размер эквивалентного сечения на порядок меньше вертикального размера. Расчетная схема (см. рис 3) соответствовала схеме стендовых испытаний.

Расчет напряженно-деформированного состояния крепи проводился по методу конечных элементов с использованием лицензионной программы ELCUT.

Прочность крепи оценивалась по критерию прочности Мора:

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_{сж}} \cdot \sigma_2 > \sigma_p,$$

где σ_1, σ_2 – главное наименьшее и наибольшее напряжение; $\sigma_p, \sigma_{сж}$ – пределы прочности на растяжение и сжатие материала крепи. По [12]: $\sigma_p = 4 \cdot 10^8$ Н/м², а $\sigma_p/\sigma_{сж} = 0,1$.

На рис. 4 показаны результаты расчетов смещений крепи и значений критерия Мора в предельном состоянии при потере несущей способности.

Расчетные значения обобщенного модуля линейных деформаций крепи, удовлетворяющие стендовым значениям несущей способности и податливости крепи, составили $2 \cdot 10^9$ Н/м² и $4 \cdot 10^9$ Н/м². Коэффициент поперечных деформаций задавался таким же, как и для горячекатаной стали профиля [16], и составлял 0,25.

В предложенной постановке задачи расчета крепи физически корректно учитывается наличие тампонажного слоя в закрепном пространстве при его взаимодействии с крепью и массивом горных пород.

Выводы

1. Наличие тампонажного слоя в закрепном пространстве оказывает существенное влияние на методику расчета крепи. Для адекватного математического моделирования взаимодействия системы «крепь – тампонажный слой – массив горных пород» предложена осесимметричная постановка задачи расчета крепи.

2. При математическом моделировании арочная трехзвенная крепь адекватно заменяется крепью в виде кольца с эквивалентными поперечными размерами профиля крепи СВП и рассчитанным усредненным модулем линейных деформаций.

3. Значения усредненного модуля линейных деформаций крепи, соответствующей по несущей способности трехзвенной арочной крепи с профилями СВП-22, СВП-27, находятся в пределах $(2 \div 4) \cdot 10^9$ Н/м².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штумпф Г.Г. Горное давление в подготовительных выработках угольных шахт / Г. Г. Штумпф, П.В. Егоров, А.И. Петров, Б.В. Красильников М.: Недра, 1996. – 353 с.
2. Якоби О. Практика управления горным давлением М.: Недра, 1987. – 566 с.
3. Основные виды крепления горных выработок и методика расчета технических параметров / А.В. Ремезов, В.Г. Харитонов, Д.Н. Макшанкин, А.Ф. Брынько, В.В. Ермак. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2007. – 306 с.
4. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб., Науч.-исслед.ин-т горн. геомех. и маркшейд.дела, 1991. – 125 с.
5. ГОСТ Р 51748-2001. Крепи металлические податливые рамные. Крепь Арочная. Общие технические условия. -М., 2001.
6. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.
7. Шаламанов В.А. Расчет крепей горных выработок/ В.А. Шаламанов, В.В. Першин, М.Н. Будников//Учебное пособие для студентов специальности 130406 «Шахтное и подземное строительство». – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 86 с.
8. Кондратенко В.Е. Строительная механика. Расчет рамной трапециевидной крепи методом перемещений [Электронный ресурс] / В.Е. Кондратенко, В.В. Девятьярова, А.А. Герасимова – М.: МИСиС, 2017. – 17 с. Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/misis_0017.html
9. Черданцев С.В. Математическая модель управления процессом формирования зон нарушения сплошности вокруг выработок с винтовой крепью. / С.В. Черданцев // ГИАБ, 2006. – № 11, с. 390–395.
10. Карасев В.А. Разработка и обоснование параметров многозвенной спиральной крепи восстающих горных выработок. Дис. к-та техн. наук. – Кемерово, 1998. – 128 с.
11. Макшанкин Д.Н. Геомеханическое обоснование крепления горных выработок металлической крепью с профилем ШП. Дис. к-та техн. наук – Кемерово, 2012. – 168 с.
12. Клыков А.Е. Дилатансия горных пород и смещения в выработке в зависимости от состояния закрепного пространства // Форум гірників – 2013: матеріали міжнар. конф., 2-5 жовтня 2013 р. – Дніпропетровськ, 2013. – Т.2. – С. 264–271.
13. Тимошенко С.П. Теория упругости.// С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер.– Наука, 1975.– 576 с.
14. Государственный стандарт Российской Федерации. Крепи металлические податливые рамные. Методы испытаний. (ГОСТ Р 50910). Госстандарт России. М.:1996. – 12 с.

15. Макшанкин Д.Н. Возможность моделирования стендовых испытаний арокных крепей/ Д.Н. Макшанкин, А.В. Ремезов, В.А. Гоголин // Вестник КузГТУ, 2009. – №3. – С. 50–56.
16. Тациенко В.П. Увеличение несущей способности рамной крепи путем полного заполнения закрепного пространства тампонажным материалом / В.П. Тациенко., А.С. Лисковец, М.В. Саблин // Вестник КузГТУ, 2018 – №2. – С. 45–52.
17. Государственный стандарт СОЮЗА ССР. Профили горячекатаные СВП для крепи горных выработок. Сортамент. (ГОСТ 18662–83). М.:1983. – 3 с.

REFERENCES

1. Shtumpf G.G. Gornoe davlenie v podgotovitel'nyh vyrabotkah ugol'nyh shaht / G. G. Shtumpf, P.V. Egorov, A.I. Petrov, B.V. Krasil'nikov M.: Nedra, 1996. – 353 p.
2. Yakobi O. Praktika upravleniya gornym davleniem M.: Nedra, 1987. – 566 p.
3. Osnovnye vidy krepneniya gornyh vyrabotok i metodika rascheta tekhnicheskikh parametrov / A. V. Remezov, V.G. Haritonov, D.N. Makshankin, A.F. Bryn'ko, V.V. Ermak. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2007. – 306 p.
4. Instrukciya po vyboru ramnyh podatlivykh krepej gornyh vyrabotok. Izd. 2-e, pererab. i dop. SPb., Nauch.-issled.in-t gorn, geomekh. i markshejd.dela, 1991. – 125 p.
5. GOST R 51748-2001. Krepi metallicheskie podatlivye ramnye. Krep' Arochnaya. Obshchie tekhnicheskie usloviya. -M., 2001.
6. Ukazaniya po racional'nomu raspolzheniyu, ohrane i podderzhaniyu gornyh vyrabotok na ugol'nyh shahtah. – M.: Izdatel'stvo «Gornoe delo» ООО «Kimmerijskij centr», 2011. – 216 p.
7. Shalamanov V.A. Raschet krepej gornyh vyrabotok/ V.A. Shalamanov, V.V. Pershin, M.N. Budnikov //Uchebnoe posobie dlya studentov special'nosti 130406 «SHAhtnoe i podzemnoe stroitel'stvo». – Kemerovo: KuzGTU, 2011. – 86 p.
8. Kondratenko V.E. Stroitel'naya mekhanika. Raschet ramnoj trapecevidnoj krepi metodom peremeshchenij [Elektronnyj resurs] / V.E. Kondratenko, V.V. Devyat'yarova, A.A. Gerasimova – M.: MISiS, 2017. – 17 s.
Rezhim dostupa: http://www.studentlibrary.ru/book/misis_0017.html
9. Cherdancev S.V. Matematicheskaya model' upravleniya processom formirovaniya zon narusheniya sploshnosti vokrug vyrabotok s vintovoj krep'yuu. / S.V. Cherdancev // GIAB, 2006. – № 11, pp. 390–395.
10. Karasev V.A. Razrabotka i obosnovanie parametrov mnogozvennoj spiral'noj krepi vosstayushchih gornyh vyrabotok. Dis. k-ta tekhn. nauk. – Kemerovo, 1998. – 128 p.
11. Makshankin D.N. Geomekhanicheskoe obosnovanie krepneniya gornyh vyrabotok metallicheskoj krep'yuu s profilem SHP. Dis. k-ta tekhn. nauk – Kemerovo, 2012. – 168 p.
12. Klykov A.E. Dilatatsiya gornyh porod i smeshcheniya v vyrabotke v zavisimosti ot sostoyaniya zakrepnogo prostranstva // Forum gornikov – 2013: materialy mizhnar. konf., 2-5 zhovtnya 2013 r. – Dnipropetrovsk, 2013. – T.2. – pp. 264–271.
13. Timoshenko S.P. Teoriya uprugosti. // S.P. Timoshenko, Dzh. Gud'er. – Nauka, 1975. – 576 p.
14. Gosudarstvennyj standart Rossijskoj Federacii. Krepi metallicheskie podatlivye ramnye. Metody ispytaniy. (GOST R 50910). Gosstandart Rossii. M.:1996. – 12 p.
15. Makshankin D.N. Vozmozhnost' modelirovaniya stendovykh ispytaniy arochnykh krepej/ D.N. Makshankin, A.V. Remezov, V.A. Gogolin // Vestnik KuzGTU, 2009. – №3. – pp. 50–56.
16. Tacienco V.P. Uvelechenie nesushchej sposobnosti ramnoj krepi putem polnogo zapolneniya zakrepnogo prostranstva tamponazhnym materialom / V.P. Tacienco., A.S. Liskovec, M.V. Sablin // Vestnik KuzGTU, 2018 – №2. – S. 45–52.
17. Gosudarstvennyj standart SOYUZA SSR. Profili goryachekataneye SVP dlya krepi gornyh vyrabotok. Sortament. (GOST 18662–83). M.:1983. – 3 p.

Поступило в редакцию 22.06.2019

Received 22 June 2019