

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-2-97-102

УДК 622.831

**ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ НА КРЕПЬ И
СМЕЩЕНИЯ ВЕРХНЯКА КРЕПИ ПРИ ТАМПОНАЖЕ ЗАКРЕПНОГО
ПРОСТРАНСТВА**

**ENGINEERING METHOD FOR CALCULATING PRESSURE AT THE SUPPORT
AND DISPLACEMENT OF CROWN WITH FILLING OF THE SPACE BEHIND
THE SUPPORT**

Лисковец Александр Сергеевич,
старший научный сотрудник, e-mail: promsnab_kmr@mail.ru

Alexander S. Liskovets, senior research scientist

Тащиенко 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: eia.pm@kuzstu.ru

Inna A. Ermakova, Dr. Sc. in Engineering

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

Аннотация:

Интенсификация горных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» требует своевременного восполнения очистного фронта, а также обеспечения огнестойкости выработок, пройденных по уголю, и устойчивости выработок, пройденных в сложных горно-геологических условиях. Применяемые способы проходки выработок и их крепления обуславливают образование в закрепном пространстве зазоров, ширина которых достигает 0,2÷0,3 м.

Применение тампонажа закрепного пространства подготовительных выработок позволяет увеличить несущую способность крепи и полностью изолировать выработку. Применение подобной технологии затруднено, в частности, из-за отсутствия доступной методики расчета параметров рамной крепи с тампонажем закрепного пространства.

В статье приводится инженерная методика и пример расчета давления на крепь и смещения верхняка крепи при тампонаже закрепного пространства. Методика расчета учитывает взаимодействие блоков «крепь – тампонажный слой – слой нарушенных горных пород – массив ненарушенных горных пород». Проверка прочностного состояния крепи производится путем сравнения рассчитанной нагрузки и несущей способности крепи.

Ключевые слова: крепь, тампонажный слой, давление на крепь, смещение верхняка, несущая способность крепи.

Abstract:

The fire resistance of workings driven in coal and the stability of workings driven in difficult mining and geological conditions are necessary for the intensification of mining operations at the mines of SUEK-Kuzbass JSC.

The applied methods of workings development and support cause the formation of space behind the support, the width of which reaches 0,2÷0,3 m. Filling of the space between the support and development working allows

to increase the load-bearing capacity of the support and completely isolate the development working. The lack of available methods for calculating the parameters of the arched support with filling of the space between the support and development working makes it difficult to use this technology.

The article provides an engineering method and an example of calculating the pressure on the support and the displacements of support crown with filling of the space behind the support. The calculation method takes into account the interaction of the blocks of the «support- filling layer - rock mass system». The strength state of the support is checked by comparing the calculated load and the bearing capacity of the support.

Key words: support, filling layer, pressure on support, displacement of the support crown, bearing capacity of the support.

Интенсификация горных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» требует своевременного восполнения очистного фронта, а также обеспечения огнестойкости выработок, пройденных по углям, и устойчивости выработок, пройденных в сложных горно-геологических условиях. Применяемые способы проходки выработок и их крепления обуславливают образование в закрепном пространстве зазоров, ширина которых достигает 0,2÷0,3 м.

Мероприятия по упрочнению пород вокруг выработок путем нагнетания в них цементных растворов или смол являются эффективным средством повышения устойчивости пород, снижения смещений и нагрузок на крепь, и, следовательно, обеспечения возможности применения более легкой крепи и повышения темпов сооружения выработки [1]. Кроме этого, создание изолирующего слоя между угольным массивом и крепью повышает огнестойкость выработок.

Применение подобной технологии затруднено, в частности, из-за отсутствия доступной методики расчета параметров рамной крепи с тампонажем закрепного пространства.

Существующий метод расчета изложен в «Инструкции по выбору рамных податливых крепей горных выработок» [2], утвержденной в 1991 г., и рекомендуется в работах [3, 4, 5].

Порядок выбора размеров сечений и расчета параметров крепи для конкретной горной выработки следующий:

а) выбирают размеры расчетного поперечного сечения выработки в свету, учитывая требования по различным условиям;

б) приближенно определяют размеры поперечного сечения выработки в проходке с учетом толщины и податливости крепи и толщины забутовочного материала;

в) рассчитывают ожидаемые смещения пород дифференцированно в кровле, боках и почве выработки с учетом влияния геологических и горнотехнических факторов;

г) по величине максимальных смещений пород на контуре выработки определяют нормативную и расчетную нагрузки на крепь, выбирают ее тип, конструкцию и с учетом сопротивления рамной крепи рассчитывают плотность установки.

Согласно «Своду правил СП 91.13330.2012 «Подземные горные выработки» [6] смещения, компенсируемые за счет сжатия забутовочного материала, зависят от сжимаемости материала, толщины забутовочного слоя и расчетной нагрузки на крепь и определяются опытным путем. Для забутовочного материала из дробленых пород при отсутствии опытных данных допускается принимать равным 25% толщины забутовочного слоя.

Таким образом, существующая методика расчета основана на применении значительного количества поправочных коэффициентов, номограмм, опытных данных для учета конкретных горно-геологических и горнотехнических условий.

Экспериментальные исследования несущей способности крепи с применением тампонажа закрепного пространства приведены во многих работах и показывают его эффективность [7–11] по сравнению с забутовкой. Однако эти наблюдения проводились в конкретных горно-геологических условиях и определенных характеристиках тампонажного раствора, это не позволяет распространить выводы авторов на более широкие условия.

Как показал обзор зарубежной литературы, в ней акцент делается на закладку выработанного пространства, уменьшение напряжений и перемещений от ранее отработанных пластов [12, 13]. Этот опыт неприменим при расчете давления на крепь с тампонажем закрепного пространства.

Поэтому создание современной методики расчета параметров крепи с тампонажем закрепного пространства является актуальной задачей.

Авторами разработана методика расчета крепи, учитывающая взаимодействие блоков «крепь – тампонажный слой – слой нарушенных горных пород – массив ненарушенных горных пород». Расчетная схема показана на рисунке.

Выработка проводится на глубине H , м. Выработка не попадает в зону ПГД, начальное горное давление $p = \gamma H = 0,025 \cdot H$, МПа.

Площадь сечения выработки равна S , м². Приведенный радиус выработки $R = \sqrt{S/\pi}$, м.

Используется крепь АКП с профилем СВП-17÷33 с эквивалентной высотой h_k , м, значение

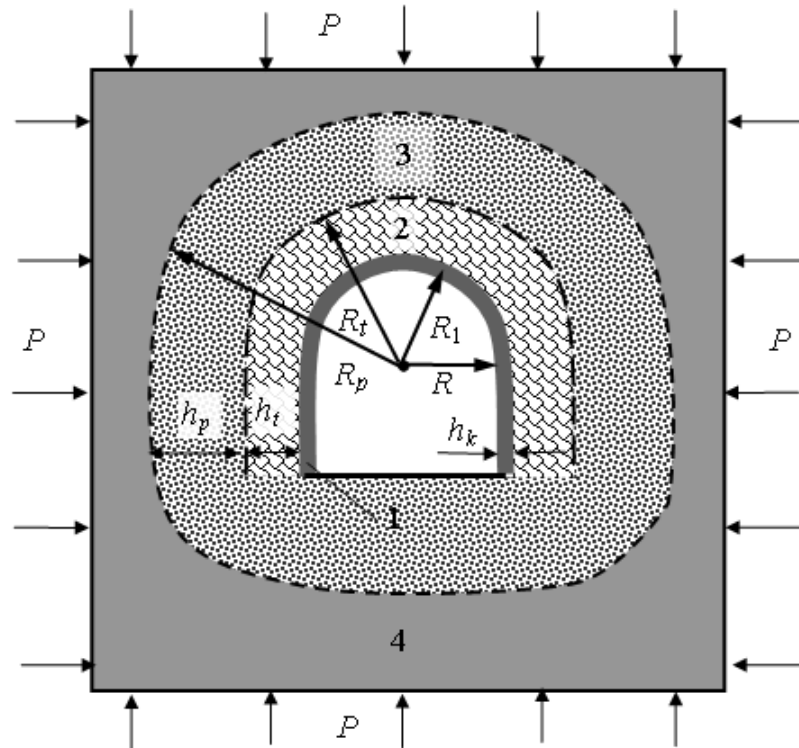


Рис. 1. Расчетная схема: 1 – крепь; 2 – тампонажный слой; 3 – частично разрушенные породы; 4 – вмещающие породы
Fig. 1. Calculation scheme: 1 – support; 2 – filling layer; 3 – partly broken ground; 4 – host rock

Таблица 1. Эквивалентные размеры поперечного сечения крепи для различных профилей СВП [14]
Table 1. Equivalent cross-sectional support dimensions for different SVP profiles [14]

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].

Таблица 2. Деформационные и прочностные характеристики бетона
Table 2. Deformation and strength characteristics of concrete

БЕТОН	Класс (марка) бетона										
	B10 (M150)	B15 (M200)	B20 (M250)	B25 (M350)	B30 (M400)	B35 (M450)	B40 (M550)	B45 (M600)	B50 (M700)	B55 (M700)	B60 (M800)
Расчетное сопротивление сжатию осевое, R_b , МПа (кгс/см ²)	6,0 (61,2)	8,5 (86,6)	11,5 (117)	14,5 (148)	17,5 (173)	19,5 (199)	22,5 (224)	25,0 (255)	27,5 (280)	30,0 (306)	33,0 (336)
Расчетное сопротивление растяжению осевое, R_{bt} , МПа (кгс/см ²)	0,56 (5,7)	0,75 (7,6)	0,90 (9,2)	1,05 (10,7)	1,15 (11,7)	1,30 (13,3)	1,40 (14,3)	1,50 (15,3)	1,60 (16,3)	1,70 (17,3)	1,80 (18,3)
Начальный модуль упругости E_b 10 ⁻³ , МПа (кгс/см ²)	19,0 (194)	24,0 (245)	27,5 (280)	30,0 (306)	32,5 (331)	34,5 (352)	36,0 (367)	37,0 (377)	38,0 (387)	39,0 (398)	39,5 (403)

которой выбирается по таблице 1.

Модуль деформаций крепи $E_k = (2 \div 4) \cdot 10^3$ МПа.

Для пород: модуль деформаций E , коэффициент поперечных деформаций ν , прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ и коэффициент структурного ослабления k_c устанавливаются для

конкретных горно-геологических условий.

Тампонажный слой возводится с применением бетона В-15, 25 с модулем деформации E_b , который выбирается по таблице 2.

При расчете на кратковременные нагрузки модуль упругости бетона E_b следует умножать на коэффициент 0,85,

При расчете на длительные нагрузки:
– для колонн и стен - на коэффициент 0,6;
– для плит (при отсутствии трещин) - на коэффициент 0,3;
– для плит (при наличии трещин) - на коэффициент 0,2.

Ширина тампонажного слоя составляет h_t , м.
Радиус выработки с крепью равен $R_1 = R + h_k$.
Радиус выработки с тампонажным слоем равен $R_t = R_1 + h_t$.

Последовательно рассчитываются параметры, определяющие давление на крепь и смещение верхняка:

1) $c = \frac{1-\nu}{\nu}$ – коэффициент, определяющий величину максимального окружного напряжения;

2) $k = \frac{2cP+k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)}{2P-k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)}$ – безразмерный коэффициент, определяющий распределение напряжений в зоне разрушенных пород;

3) $\sigma_m = \frac{2cP+k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)}{c+1}$ – максимальное окружное напряжение вмещающих пород;

4) $\beta = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{E_t \cdot R \cdot (R_t^2 - R_1^2)}{E_k \cdot h_k \cdot R_t^2} + \frac{R_t^2 + R_1^2}{R_t^2} + \nu_t \cdot \frac{R_t^2 - R_1^2}{R_t^2} \right]$ – коэффициент пропорциональности между давлением на крепь и давлением на тампонажный слой;

5) $\alpha = \frac{\beta^2 \cdot (R_t^2 + R_1^2) - 2 \cdot \beta \cdot R_1^2}{R_t^2 - R_1^2} - \nu_t \cdot \beta^2$ – коэффициент, определяющий давление на крепь.

Давление на крепь вычисляется по формуле

$$q = \frac{\sigma_m}{2} \cdot \left(\frac{E_t \cdot \beta}{E \cdot \alpha} + \sqrt{\left(\frac{E_t \cdot \beta}{E \cdot \alpha} \right)^2 + \frac{4 \cdot E_t}{E \cdot k \cdot \alpha}} \right),$$

Смещение верхняка крепи находится как

$$u = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{q \cdot R^2}{h_k}.$$

Найденная величина давления q позволяет рассчитать нагрузку на крепь:

$$P_k = q \cdot b \cdot L = q \cdot b \cdot 1,5\pi \cdot \sqrt{S/\pi},$$

где q – давление на крепь, Па;

b – эквивалентная ширина сечения крепи, м (см. таблицу 1); L – суммарная длина стоек и верхняка крепи, $L = \frac{3}{4} \cdot 2\pi R = 1,5\pi R$, м;

R – приведенный радиус крепи, $R = \sqrt{S/\pi}$, м;
 S – площадь сечения выработки, м².

Рассчитанная нагрузка на крепь P_k сравнивается с несущей способностью крепи N_s [2], которая составляет 300, 330 и 370 кН/раму для профилей СВП-22, СВП-27 и СВП-33 соответственно.

В случае, если $P_k < N_s$, то крепь сохраняет прочностное состояние.

Радиус зоны разрушенных пород

$$R_p = R_t \cdot \left(\frac{2P}{(k+1)p_t} \right)^{\frac{1}{k-1}},$$

где R_t – радиус выработки с тампонажным слоем, $R_t = R + h_k + h_t$;

p_t – давление на тампонажный слой со

стороны крепи, $p_t = \beta \cdot q$.

Ширина зоны разрушения $h_p = R_p - R_t$.

Пример расчета крепи.

Выработка проводится на глубине $H=200$ м. Выработка не попадает в зону ПГД, начальное горное давление $p = \gamma H = 0, 025 \cdot 200 = 5$ МПа.

Площадь сечения выработки $S=20$ м². Приведенный радиус выработки $R = \sqrt{20/\pi} = 2,52$ м.

Используется крепь АКП с профилем СВП-27 с эквивалентной высотой $h_k=0,15$ м, модуль деформаций крепи $E_k = 2 \cdot 10^3$ МПа.

Массив горных пород представлен аргиллитами с модулем деформаций $E=10^4$ МПа, коэффициент поперечных деформаций $\nu=0,25$, прочность на сжатие $\sigma_{сж} = 10$ МПа, коэффициент структурного ослабления $k_c = 0,6$.

Тампонажный слой возводится с применением бетона с модулем деформации $E_t = 20$ МПа. Ширина тампонажного слоя составляет $h_t = 0,2$ м.

Радиус выработки с крепью равен $R_1 = 2,52 + 0,15 = 2,67$ м.

Радиус выработки с тампонажным слоем равен $R_t = 2,67 + 0,2 = 2,87$ м.

Последовательно рассчитываются параметры, определяющие давление на крепь и смещение верхняка.

$$1) c = \frac{1-\nu}{\nu} = \frac{1-0,25}{0,25} = 3;$$

$$2) k = \frac{2cP+k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)}{2P-k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 5 + 0,6 \cdot 10 / (1+0,25)}{2 \cdot 5 - 0,6 \cdot 10 / (1+0,25)} = 6,69;$$

$$3) \sigma_m = \frac{2cP+k_c \cdot \sigma_{сж}/(1+\nu)}{c+1} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 5 + 0,6 \cdot 10 / (1+0,25)}{3+1} = 8,7 \text{ МПа};$$

$$4) \beta = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{E_t \cdot R \cdot (R_t^2 - R_1^2)}{E_k \cdot h_k \cdot R_t^2} + \frac{R_t^2 + R_1^2}{R_t^2} + \nu_t \cdot \frac{R_t^2 - R_1^2}{R_t^2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{20 \cdot 2,52 \cdot (2,87^2 - 2,67^2)}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,15 \cdot 2,87^2} + \frac{2,87^2 + 2,67^2}{2,87^2} + 0,25 \cdot \frac{2,87^2 - 2,67^2}{2,87^2} \right] = 0,9616;$$

$$5) \alpha = \frac{\beta^2 \cdot (R_t^2 + R_1^2) - 2 \cdot \beta \cdot R_1^2}{R_t^2 - R_1^2} - \nu_t \cdot \beta^2 = \frac{0,9616^2 \cdot (2,87^2 + 2,67^2) - 2 \cdot 0,9616 \cdot 2,67^2}{2,87^2 - 2,67^2} - 0,25 \cdot 0,9616^2 = 0,2195.$$

Вычислим давление на крепь:

$$q = \frac{\sigma_m}{2} \cdot \left(\frac{E_t \cdot \beta}{E \cdot \alpha} + \sqrt{\left(\frac{E_t \cdot \beta}{E \cdot \alpha} \right)^2 + \frac{4 \cdot E_t}{E \cdot k \cdot \alpha}} \right) =$$

$$= \frac{8,7}{2} \cdot \left(\frac{20 \cdot 0,9616}{10^4 \cdot 0,2195} + \sqrt{\left(\frac{20 \cdot 0,9616}{10^4 \cdot 0,2195} \right)^2 + \frac{4 \cdot 20}{10^4 \cdot 6,69 \cdot 0,2195}} \right) = 0,3614 \text{ МПа.}$$

Найдем смещение верхняка крепи:

$$u = \frac{1}{E_k} \cdot \frac{q \cdot R^2}{h_k} = \frac{1}{2 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,3614 \cdot 2,52}{0,15} = 0,0082 \text{ м.}$$

Проведем проверку прочностного состояния крепи. Рассчитаем нагрузку на крепь:

$$P_k = q \cdot b \cdot 1,5\pi \cdot R = 0,3614 \cdot 10^6 \cdot 0,02 \cdot 1,5 \cdot 3,14 \cdot 2,52 = 86 \text{ кПа/раму,}$$

Несущая способность крепи N_s составляет 330 кН/раму для профиля СВП-27.

Так как $P_k < N_s$, то крепь сохраняет прочностное состояние.

Вычислим радиус зоны разрушенных пород:

$$R_p = R_t \cdot \left(\frac{2P}{(k+1)p_t} \right)^{\frac{1}{k-1}} = 2,87 \cdot \left(\frac{2 \cdot 5}{(6,69+1) \cdot 0,3475} \right)^{\frac{1}{6,69-1}} = 3,62 \text{ м,}$$

где $p_t = \beta \cdot q = 0,9616 \cdot 0,3614 = 0,3475 \text{ МПа.}$

Найдем ширину зоны разрушения:

$$h_p = R_p - R_t = 3,62 - 2,87 = 0,75 \text{ м.}$$

Выводы.

1. Разработана инженерная методика расчета давления на крепь и смещения верхняка крепи при тампонаже закрепного пространства, учитывающая взаимодействие блоков «крепь – тампонажный слой – слой нарушенных горных пород – массив ненарушенных горных пород».
2. Исходными данными для расчета являются:
 - глубина проведения выработки и ее площадь;
 - модуль линейных деформаций крепи и номер профиля;
 - модуль линейных и поперечных деформаций, коэффициент структурного ослабления, прочность на сжатие вмещающих горных пород;
 - модуль линейной деформации и ширина тампонажного слоя.
3. Результатами расчета являются: смещение верхняка крепи, давление и нагрузка на крепь, ширина зоны разрушенных пород.
4. Проверка прочностного состояния крепи производится путем сравнения рассчитанной нагрузки и несущей способности крепи.
5. Разработанная методика позволяет осуществлять выбор крепи в различных горно-геологических и горнотехнических условиях применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат, 1983.–272 с.
2. 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.
3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах.– М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.
4. 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.
5. Ремезов А. В. 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: Кузбассвузиздат, 2007. – 306 с.
6. СНиП И-94-80. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция. М.:– 2012.– 49 с.
7. Литвинский Г.Г. Межрамные ограждения шахтной крепи//Г.И. Гайко, Н.В. Малеев, В.Б. Волошин – Алчевск, 2000.–84 с.
8. Тащиенко В.П. Увеличение несущей способности рамной крепи путем полного заполнения закрепного пространства тампонажным материалом / В.П Тащиенко., А.С. Лисковец, М.В. Саблин // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2018 – №2. – С. 45-52.
9. Росстальной Е.Б. Тампонаж закрепного пространства при проведении и поддержании горных выработок / Е.Б. Росстальной // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – №1. – С. 22–23.
10. Мартыненко И.И. Новые способы крепления выемочных выработок, основанных на использовании традиционно применяемых серийных крепей / И.И. Мартыненко и др. //Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2002.– №7. –С. 226-230.

11. Weiyi Cai, Zechao Chang, Dongsheng Zhang, Xufeng Wang, Yazhou Zhou. Roof filling control technology and application to mine roadway damage in small pit goaf. *International Journal of Mining Science and Technology* Volume 29, Issue 3 May 2019, pp. 477-482.
12. ZHU Jian-ming, MA Zhong-wen, XU Jin-hai, WU Ji-nan. Research on the technology of filling and repeated mining in thick coal seam affected by small mine gob area. – First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, *Procedia Engineering* 26 (2011) 1150 – 1156.
13. Zhiqiang Yang, Shuhua Zhai, Qian Gao, Maohui Li. Stability analysis of large-scale stope using stage subsequent filling mining method in Sijiaying iron mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 7, Issue 1, February 2015, Pages 87-94.
14. Макшанкин Д.Н. Возможность моделирования стеновых испытаний арокных крепей/ Д.Н. Макшанкин, А.В. Ремезов, В.А. Гоголин // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2009.– №3.– С. 50-56.

REFERENCES

1. Rukovodstvo po proektirovaniyu podzemnyh gornyh vyrabotok i raschyotu krepri. VNIMI, VNIOMSHS Minugleproma SSSR. – М.: Strojizdat, 1983.–272 p.
2. Instrukciya po vyboru ramnyh podatlivykh krepей gornyh vyrabotok. Izd. 2-e, pererab. i dop. SPb., Nauch.-issled.in-t gorn, geomekh. i markshejd.dela, 1991.– 125 p.
3. Ukazaniya po racional'nomu raspolozheniyu, ohrane i podderzhaniyu gornyh vyrabotok na ugol'nyh shahtah.– М.: Izdatel'stvo «Gornoe delo» OOO «Kimmerijskij centr», 2011. – 216 p.
4. Shalamanov V.A. Raschet krepей 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.
5. Remezov A. V. Osnovnye vidy krepleniya 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.
6. SNiP I-94-80. Podzemnye gornye vyrabotki. Aktualizirovannaya redakciya. М.:– 2012.– 49 p.
7. Litvinskij G.G. Mezhrannye ograzhdeniya shahtnoj krepri//G.I. Gajko, N.V. Maleev, V.B. Voloshin – Alchevsk, 2000.–84 p.
8. V.P. Tatsienko, A.S. Liskovets, and M.V. Sablin, Increase of the Capacity of the Frame Support by Full Filling of the Behind-Anchoring Space With Backfill Material, *Bulletin KuzSTU*, №2, pp.45-52, 2018. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-45-52
9. Rosstal'noj E.B. Tamponazh zakrepnogo prostranstva pri provedenii i podderzhanii gornyh vyrabotok / E.B. Rosstal'noj // Vestnik KuzGTU. – 2007. – №1. – pp. 22–23.
10. Martynenko I.I. Novye sposoby krepleniya vyemochnykh vyrabotok, osnovannykh na ispol'zovanii tradicionno primenyaemykh serijnykh krepей / I.I. Martynenko i dr. //Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'.– 2002.– №7. –pp. 226-230.
11. Weiyi Cai, Zechao Chang, Dongsheng Zhang, Xufeng Wang, Yazhou Zhou. Roof filling control technology and application to mine roadway damage in small pit goaf. *International Journal of Mining Science and Technology* Volume 29, Issue 3 May 2019, pp. 477-482
12. ZHU Jian-ming, MA Zhong-wen, XU Jin-hai, WU Ji-nan. Research on the technology of filling and repeated mining in thick coal seam affected by small mine gob area. – First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, *Procedia Engineering* 26 (2011) 1150 – 1156.
13. Zhiqiang Yang, Shuhua Zhai, Qian Gao, Maohui Li. Stability analysis of large-scale stope using stage subsequent filling mining method in Sijiaying iron mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 7, Issue 1, February 2015, pp. 87-94.
14. Makshankin D.N. Vozmozhnost' modelirovaniya stendovykh ispytaniy arochnykh krepей/ D.N. Makshankin, A.V. Remezov, V.A. Gogolin // Vestnik KuzGTU, 2009.– №3.– pp. 50-56.

Поступило в редакцию 25.03.2020
Received 25 March 2020