

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья

УДК [622.868.42:622.81]:001.891.572; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-8-20

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ АРМИРОВАННОЙ ФИБРОВОЛОКНОМ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

Кирьян Андрей Петрович;

✉ Пефтибай Георгий Иванович;

Галухин Николай Александрович.

«НИИ «Респиратор» МЧС России, г. Донецк, Россия

✉ g.peftibay@80.mchs.gov.ru

Аннотация. С изменением технологии угледобычи особую актуальность приобретает тушение развившихся пожаров, ликвидация которых приводит к необходимости изоляции аварийных участков. Для защиты людей, подземных сооружений и оборудования от воздействия ударных волн при изоляции аварийных пожарных участков выработок применяют взрывоустойчивые перемычки, возводимые различными способами, основным из которых является гидромеханический.

Объектом исследования являются механические процессы во взрывоустойчивой перемычке. Моноблок взрывоустойчивого сооружения подвергается статическим нагрузкам из-за действия горного давления, динамическим нагрузкам из-за действия воздушных ударных волн и термическим нагрузкам вследствие нагрева. В настоящей работе использован комплекс методов научного познания, включающий анализ и обобщение результатов, полученных в предыдущих исследованиях. При разработке математической модели напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки использованы аналитические методы исследований с применением классических основ и законов теории анизотропных (изотропных) толстых пластин, одного из основных методов решения краевых задач – энергетического метода с использованием вариационного исчисления.

Рассмотрена расчетная схема взрывоустойчивой перемычки, материал которой выполнен на цементной основе отходов промышленного производства с добавками полипропиленовой фибры в виде толстой пластины, радиус которой меняется по параболической зависимости или окружности под действием ударной волны и температуры. При этом согласно ранее проведенным экспериментальным исследованиям влияние проемных металлических труб и горного давления на напряженно-деформированное состояние перемычки не учитывается. Приведены распределения суммарных (с учетом температуры) максимальных нормальных напряжений при минимальном и максимальном сечении выработки под воздействием внешней нагрузки, зависимость напряжений от перепада температур при воздействии воздушных ударных волн.

Ключевые слова: угольная шахта, пожар, взрыв, взрывоустойчивая перемычка, вариационный метод, напряжения, прочность

Для цитирования: Кирьян А.П., Пефтибай Г.И., Галухин Н.А. Напряженно-деформированное состояние армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки в угольной шахте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 8–20. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-8-20.

Scientific article

STRESS-STRAIN STATE OF A FIBER-REINFORCED EXPLOSION-RESISTANT BULKHEAD IN A COAL MINE

Kiryan Andrey P.;

✉ Peftibay Georgy I.;

Galukhin Nikolay A.

Research institute «Respirator» of EMERCOM of Russia, Donetsk, Russia

✉ g.peftibay@80.mchs.gov.ru

Abstract. With changes in coal mining technology, extinguishing developing fires has become especially important, the elimination of which leads to the need to isolate emergency areas. To protect people, underground structures and equipment from the impact of shock waves during the isolation of emergency fire sections of workings, explosion-proof bulkheads are used, erected in various ways, the main one of which is hydromechanical.

The object of the study is mechanical processes in an explosion-proof bulkhead. The monoblock of the explosion-resistant structure is subject to static loads due to the action of rock pressure, dynamic loads due to the action of air shock waves and thermal loads due to heating. This work uses a set of methods of scientific knowledge, including analysis and generalization of the results obtained in previous studies. In developing a mathematical model of the stress-strain state of an explosion-resistant bulkhead, analytical research methods were used using classical principles and laws of the theory of anisotropic (isotropic) thick plates, one of the main methods for solving boundary value problems – the energy method using variational calculus.

The calculation scheme of an explosion-proof lintel is considered, the material of which is made on a cement base, industrial waste with additives of polypropylene fiber in the form of a thick plate, the radius of which changes according to a parabolic dependence or a circle, under the influence of a shock wave and temperature. In this case, according to previously conducted experimental studies, the influence of metal opening pipes and rock pressure on the stress-strain state of the bulkhead is not taken into account. The distributions of total (taking into account temperature) maximum normal stresses at minimum and maximum cross-sections of the workings under the influence of external loads, and the dependence of stresses on temperature differences under the influence of air shock waves are given.

Keywords: coal mine, fire, explosion, blast-proof bulkhead, variational method, stress, strength

For citation: Kiryan A.P., Peftibay G.I., Galukhin N.A. Stress-strain state of a fiber-reinforced explosion-resistant bulkhead in a coal mine // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 1 (73). P. 8–20. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-8-20.

Введение

С изменением технологии угледобычи и переходом на более глубокие горизонты особую актуальность приобретает тушение развивающихся пожаров, ликвидация которых приводит к необходимости изоляции аварийных участков. Удельный вес таких пожаров составляет около 10 %, однако они дают до 95 % всех убытков от аварий [1]. Кроме того, необходимо осуществлять мероприятия по предотвращению взрывов метановоздушных

смесей и угольной пыли, в результате которых в выработках угольных шахт возникают ударные волны и продукты горения, приводящие к значительному ущербу и потерям.

Для защиты горнорабочих и горноспасателей, подземных сооружений и оборудования от воздействия ударных волн [2–4] при изоляции аварийных пожарных участков выработок применяют взрывоустойчивые перемычки, возводимые различными способами, основным из которых является гидромеханический.

В работах [5–7] проведены исследования по выбору материалов взрывоустойчивых перемычек, технологии возведения, напряженно-деформированного состояния (НДС) этих сооружений. В результате ранее проведенных экспериментов разработан материал взрывоустойчивой перемычки [8] на основе цементного вяжущего и отходов местного производства, но при этом не применялось объемное армирование моноблока сооружения.

Кроме этого, ранее экспериментально установлено, что с добавкой полипропиленового фиброволокна (до 1,5 %) получены повышенные механические характеристики материала, в частности, предел прочности на растяжение увеличен, примерно в 1,2 раза [9]. Другие исследования проводились по определению теплофизических свойств бетона с добавкой полипропиленового фиброволокна при одностороннем нагреве опытных образцов, в результате которых получены аналитические зависимости для определения прочности бетона на сжатие в интервале температур 20–800 °C [10]. Однако эти работы проводились без изучения влияния объемного армирования и температуры на НДС сооружения.

В вышеприведенных научных работах не исследовалось влияние объемного армирования цементного материала на НДС массивного моноблока тела взрывоустойчивой перемычки под действием одновременно нескольких внешних факторов (температурного воздействия очага пожара, динамического воздействия воздушной ударной волны (ВУВ) и т.п.). Поэтому исследование влияния объемного армирования на НДС взрывоустойчивой перемычки является актуальной научной задачей, решение которой позволит увеличить ударную прочность цементного материала, повысить безопасность эксплуатации и герметичность (за счет исключения усадки бетона и усадочных трещин) изолирующих сооружений.

Целью статьи является исследование НДС армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки, находящейся под воздействием внешних факторов, с дальнейшим определением основной ее технической характеристики – толщины.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать расчетную схему взрывоустойчивой перемычки и разработать математическую модель ее НДС с объемным армированием с учетом влияния внешних воздействующих факторов;
- провести теоретические исследования по определению максимальных напряжений в моноблоке перемычки в зависимости от механических характеристик, сечения и нагрузок;
- провести оценку полученных результатов и определить перспективность проведения дальнейших работ.

Методика исследования

Объектом исследования являются механические процессы во взрывоустойчивой перемычке, предназначеннной для изоляции аварийных пожарных участков и защиты людей и оборудования от взрыва газопылевых смесей в угольных шахтах. Моноблок взрывоустойчивого сооружения подвергается статическим нагрузкам из-за действия горного давления, динамическим нагрузкам при действии ВУВ и термическим нагрузкам вследствие нагревания.

В работе [11] разработана математическая модель динамического воздействия ВУВ на перемычку, однако для получения результатов напряженного состояния необходимо провести экспериментальные исследования по определению частоты (периода) ее колебаний.

Наиболее целесообразным материалом, который широко применяется в последнее время для возведения взрывоустойчивых перемычек, являются быстротвердеющие цементные смеси, в состав которых входят различные модифицирующие добавки. Одной из таких добавок может служить фиброволокно (полипропиленовое, базальтовое, металлическое и др.), позволяющее увеличить ударную прочность материала перемычки, исключить усадочные трещины, повысить огнестойкость.

В настоящей работе использован комплекс методов научного познания, включающий анализ и обобщение результатов, полученных в предыдущих исследованиях. При разработке математической модели НДС взрывоустойчивой перемычки использованы аналитические методы исследований с применением классических основ и законов теории анизотропных (изотропных) толстых пластин, одного из основных методов решения краевых задач – энергетического метода с использованием вариационного исчисления [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения задачи используется функция полного прогиба w , м, в виде суммы двух составляющих – за счет изгиба w_0 и сдвига w_1 , то есть $w = w_0 + w_1$ (линейный закон поперечного сдвига, где w_0 и w_1 – деформации изгиба и сдвига, м).

Рассмотрим расчетную схему перемычки (рис. 1) с проемными трубами в виде толстой пластины (плиты) с радиусом кривизны, меняющимся по параболической зависимости и полуокружности, с шарнирно опретыми краями по контуру, под действием нормальной нагрузки q_z , Н (нагрузки от ВУВ) и температуры T , К, которая возникает вследствие действия ВУВ. При этом согласно ранее проведенным экспериментальным исследованиям [13] влияние проемных металлических труб на НДС перемычки не учитывается. Следует отметить, что горное давление воздействует на металлическую крепь и перемычку как сопряженные тела, пропорционально своим жесткостям на сжатие, а результаты расчета по определению влияния горного давления на перемычку показывают, что жесткость крепи больше чем в 10 раз жесткости перемычки, поэтому его влиянием также пренебрегаем.

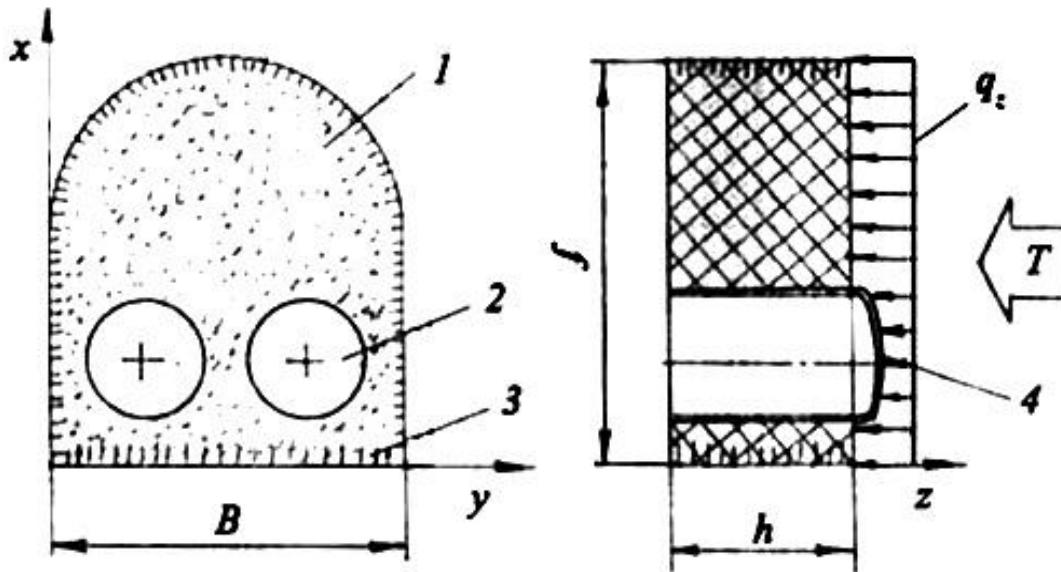


Рис. 1. Расчетная схема взрывоустойчивой перемычки:
 1 – перемычка; 2 – проемная труба; 3 – контур защемления или шарнирного крепления; 4 – люк;
 x, y, z – координаты высоты, ширины, толщины перемычки;
 B, f – ширина и максимальная высота выработки, м; h – толщина перемычки, м

Для перемычки с учетом условий ее применения использованы критерии прочности: максимальные нормальные σ_{\max} (МПа), и касательные τ_{\max} (МПа), напряжения на растяжение, сжатие и на сдвиг соответственно не должны превышать своих предельных напряжений,

то есть $\sigma_{\max}(p, c\&ж) < \sigma_n(p, c\&ж)$, $\tau_{\max} < \tau_n$. В свою очередь, максимальные напряжения представим в виде функциональной зависимости:

$$\sigma_{\max}(p, c\&ж), \tau_{\max} = F(B, f, h, R, E, \nu),$$

где R – радиус кривизны перемычки, м; E, ν – модуль нормальной упругости (МПа), и коэффициент Пуассона.

При этом максимальные напряжения не должны превышать своих предельных значений соответственно:

$$\sigma_{\max}(p, c\&ж) = [\sigma]/n \leq \sigma_n(p, c\&ж), \tau_{\max} = [\tau]/n \leq \tau_n, \quad (1)$$

где $[\sigma], [\tau]$ – допускаемые нормальные и касательные напряжения (МПа), соответственно; n – запас прочности; $\sigma_n(p, c\&ж)$ – предельное напряжение на растяжение, сжатие (МПа); τ_n – предельное напряжение на сдвиг (МПа).

В соответствии с принципом возможных перемещений вариация полной энергии $\delta\mathcal{E}$ (Дж), деформированной плиты равна нулю в состоянии равновесия:

$$\delta\mathcal{E} = \delta U + \delta V = 0,$$

где δU – вариация потенциальной энергии плиты, Дж; δV – вариация потенциальной энергии внешних сил, Дж.

Вариация потенциальной энергии внешних сил:

$$\delta V = -\delta \iint q_z w ds.$$

Интегралы вычисляются в пределах $0 \leq x \leq f, 0 \leq y \leq B$.

Используя, как и ранее, основные зависимости для перемещений (полный прогиб $w = w_0 + w_1$ – за счет изгиба и сдвига), деформаций, касательных, продольных усилий и моментов, в соответствии с принципом возможных перемещений, вариацию полной энергии деформированной плиты в состоянии равновесия, представляя искомые функции в виде:

$$w_0(x, y) = \sum_{j=1}^n a_j f_j(x) g_j(y);$$

$$w_1(x, y) = \sum_{j=1}^m c_j l_j(x) u_j(y),$$

где a_j, c_j – неопределенные параметры; f_j, \dots, u_j – заданные координатные функции, безразмерные величины и константы:

$$x = f\bar{x}; \quad y = B\bar{y}; \quad \rho_0 = \frac{q_z f^2}{D}; \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)};$$

$$k_0 = \frac{f}{B}; \quad k_1 = \frac{E}{f(1-\nu^2)}; \quad k_2 = k_0 k_1,$$

опуская черту в обозначениях безразмерных величин, получим систему линейных алгебраических уравнений относительно искомых функций и выражения для напряжений:

$$\sigma_x = -k_1 z \left[\sum_j^n a_j (f''_{jxx} g_j) + \nu k_0^2 (f_j g_j)''_{yy} \right];$$

$$\sigma_y = -k_1 z \left[\sum_j^n a_j (\nu f''_{jxx} g_j) + \nu k_0^2 (f_j g_j)''_{xx} \right];$$

$$\sigma_{xy} = k_2 z \sum_{j=1}^n a_j (f'_{jx} g_j)'_y;$$

$$\sigma_{xz} = k_0 G c_j u'_{jx}; \quad \sigma_{yz} = k_0 G c_j u'_{jy}; \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \text{ МПа.}$$

При этом координаты меняются в пределах от 0 до 1.

Координатные функции, представленные по методу Ритца или Бубнова-Галёркина, приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Коэффициенты полиномов f_i, g_i для условий перемычки с шарнирными краями

f_i, g_i	x^0, y^0	x^1, y^1	x^2, y^2	x^3, y^3	x^4, y^4	x^5, y^5
f_1, g_1	-1	2				
f_2, g_2	1	-6	6			
f_3, g_3	-1	12	-30	20		
f_4, g_4	1	-20	90	-140	70	
f_5, g_5	-1	30	-210	560	-630	252

Соответственно, по второму методу имеем:

$$f(x) = \frac{(8x^3 - 4x^4 + x)}{96}; \quad g(y) = \frac{(8y^3 - 4y^4 + y)}{96}.$$

Таблица 2

Коэффициенты полиномов l_j, u_j для шарнирного крепления перемычки

l_j, u_j	x^0, y^0	x^1, y^1	x^2, y^2	x^3, y^3	x^4, y^4	x^5, y^5
l_1, u_1	-1	1				
l_2, u_2	1	-3	2			
l_3, u_3	-1	7	-12	6		
l_4, u_4	1	-13	42	-50	20	
l_5, u_5	-1	21	-110	230	-210	70

В данном случае максимальные нормальные напряжения на растяжение и сжатие равны по модулю и возникают на наружной и внутренней поверхностях пластины, а касательные поперечные напряжения – в срединной поверхности.

При воздействии установившейся равномерно распределенной температуры в перемычке температурные напряжения, которые возникают при сжатии, в связи с отсутствием перемещений ее краев в плоскости за счет ограничения о твердые породы, согласно технологии возведения, определяем по зависимости:

$$\sigma_m = \frac{\alpha E \Delta T}{(1 - \nu)}; \quad \Delta T = T - T_0,$$

где α – коэффициент линейного расширения материала, 1/К; T_0 – начальная температура в горной выработке, К.

Следует отметить, что для подтверждения достоверности применяемого метода, в частности, ранее были получены результаты распределения максимальных нормальных напряжений в безразмерных координатах для перемычек с шарнирным креплением, возведенных в США и Польше при проведении натурных испытаний, которые приведены на рис. 2, 3 [14].

Следует отметить, что максимальными напряжениями являются σ_x , которые в первом случае (рис. 2) превышают предельные их значения на растяжение (1,8 МПа), то есть перемычка разрушится (что и произошло при натурных испытаниях). В то же время максимальные нормальные напряжения в перемычке во втором случае (рис. 3) не превышают предельных значений (перемычка не была разрушена).

Распределение суммарных (с учетом температуры) максимальных нормальных напряжений σ_x в перемычке из материала цементно-шлаковой смеси с параболической кривизной, шарнирными краями при минимальных толщинах $h = 1,5$ м и максимальных $h = 3,0$ м значениях площади сечения $S = 4$ м² и $S = 30$ м², нагрузке $q_z = 2,8$ МПа в безразмерных координатах приведено на рис. 4, 5.

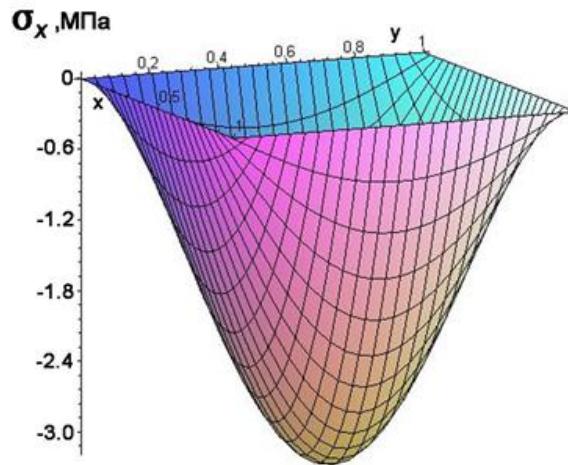


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке из строительного гипса с параболической кривизной, шарнирными краями при максимальной высоте $f = 2,0$ м, ширине $B = 6,0$ м, толщине $h = 1,0$ м, модуле упругости $E = 3 \cdot 10^3$ МПа, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,32$, нагрузке $q_z = 0,5$ МПа (США)

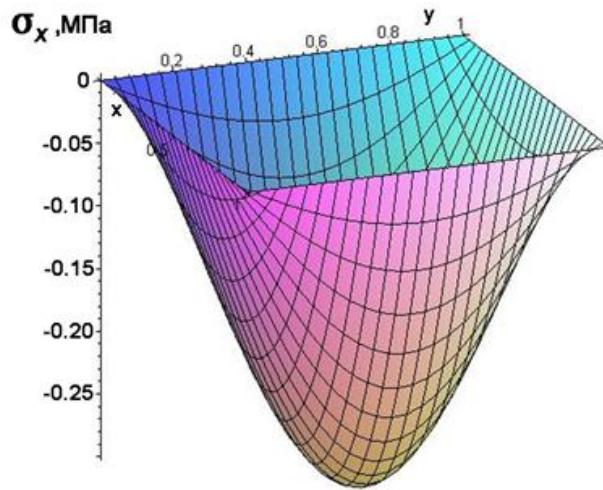


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке с параболической кривизной из строительного гипса с шарнирными краями при максимальной высоте $f = 5,0$ м, ширине $B = 6,0$ м, толщине $h = 3,0$ м, модуле упругости $E = 3 \cdot 10^3$ МПа, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,32$, нагрузке $q_z = 0,5$ МПа (Польша)

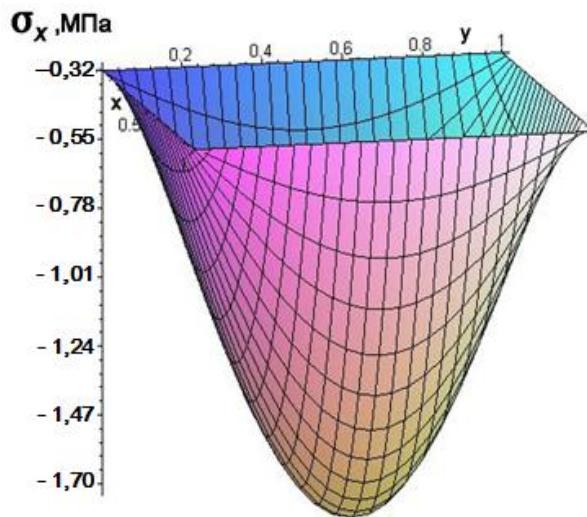


Рис. 4. Распределение максимальных (с учетом температуры) нормальных напряжений σ_x в перемычке из цементно-шлаковой смеси с параболической кривизной, шарнирными краями при площади сечения $S = 4 \text{ м}^2$, толщине $h = 1,5 \text{ м}$, модуле упругости $E = 3,2 \cdot 10^2 \text{ МПа}$, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,25$, пределе прочности на сжатие $\sigma_{cyc} = 3,5 \text{ МПа}$, пределе прочности на растяжение $\sigma_p = 2,2 \text{ МПа}$, нагрузке $q_z = 2,8 \text{ МПа}$

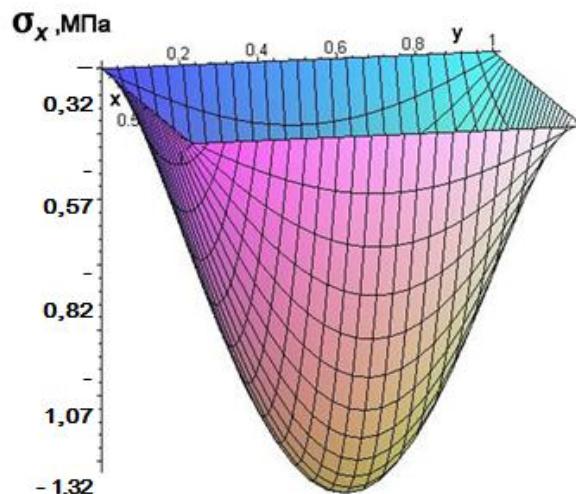


Рис. 5. Распределение максимальных (с учетом температуры) нормальных напряжений σ_x в перемычке из цементно-шлаковой смеси с параболической кривизной, шарнирными краями при площади сечения $S = 30 \text{ м}^2$, толщине $h = 3,0 \text{ м}$, модуле упругости $E = 3,2 \cdot 10^2 \text{ МПа}$, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,25$, пределе прочности на сжатие $\sigma_{cyc} = 3,5 \text{ МПа}$, пределе прочности на растяжение $\sigma_p = 2,2 \text{ МПа}$, нагрузке $q_z = 2,8 \text{ МПа}$

Зависимость напряжений от перепада температур при воздействии ВУВ при коэффициенте линейного расширения материала цементно-шлаковой смеси с добавкой 1,5 % полипропиленового фиброволокна с $\alpha = 0,75 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ представлена на рис. 6.

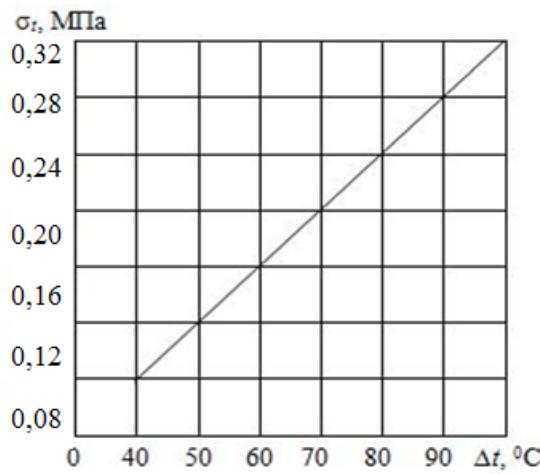


Рис. 6. Зависимость напряжений от перепада температур при воздействии ВУВ при коэффициенте линейного расширения материала цементно-шлаковой смеси с добавкой 1,5 % полипропиленового фиброволокна с $\alpha = 0,75 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$

При этом использованы данные механических характеристик материала, полученные на основании экспериментальных исследований, а для перемычки, периметр которой изменяется в виде полуокружности, максимальные суммарные напряжения увеличиваются в 1,2 раза.

Согласно зависимости (1) коэффициент запаса прочности практически равен 2, во втором случае – 1,7.

Полученные результаты теоретических исследований в дальнейшем позволят разработать номограмму для оперативного определения горноспасателями толщины перемычки, которая может быть уменьшена по сравнению с ранее возводимыми в 1,8 раза, что значительно снизит время и затраты на ее возведение.

Разработанная математическая модель НДС перемычки в зависимости от геометрических параметров, механических характеристик материала под действием ВУВ и температуры и результаты ее исследований позволяют определить основную техническую характеристику – толщину перемычки, обеспечивающую ее требуемую прочность.

Заключение

1. Рассмотрена расчетная схема армированной полипропиленовым фиброволокном взрывоустойчивой перемычки, материал которой выполнен на основе цементного вяжущего с использованием отходов промышленного производства в виде трехмерного тела (плиты) с радиусом кривизны, меняющимся по параболической зависимости, с шарнирно опертыми краями по контуру, под действием воздушной ударной волны и ее температуры.

2. С использованием энергетического метода решения краевых задач механики твердого деформированного тела с вариационным исчислением получены суммарные максимальные напряжения в перемычке с улучшенными механическими характеристиками за счет использования фиброволокна (предел прочности может быть увеличен примерно в 1,2 раза).

3. Научная новизна работы заключается в раскрытии закономерностей НДС армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки с параболической кривизной (в виде распределения нормальных напряжений), что позволяет научно обосновать исходные

данные для определения основной технической характеристики взрывоустойчивой перемычки – ее толщину, обеспечивающую безопасность и эффективность ведения аварийно-спасательных работ.

4. Выполненные исследования позволили определить состав и механические характеристики материалов взрывоустойчивых перемычек на основе цементного вяжущего с применением фиброволокна, а также, в дальнейшем, будут использованы для проведения экспериментальных работ по изучению характеристик материалов и разработки номограммы для определения толщины взрывоустойчивого сооружения, уменьшение которой позволит снизить затраты времени и стоимость ведения работ.

5. В перспективе необходимо продолжить исследования по определению динамического НДС армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки.

Список источников

1. Палеев Д.Ю. Состояние и перспективы научного обеспечения горноспасательных работ // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020. № 1. С. 22–28.
2. The gasdynamic method of calculation of explosion-proof distances after explosion during explosions of methane-air mixture in mines with regard to explosion protective structures / D.Yu. Paleev [et al.] // 30th International conference of safety in mines research institutes. Johannesburg, 2003.
3. Sarko M.J., Weiss E.S. Evaluation of new methods and facilities to test explosion resistant seals // 29-th International conference of safety in mines research institutes. Vol. 1. Poland: Szczyrk, 2001. P. 157–166.
4. Rathbun J., McLane D. Investigating planer propagation of a shockwave in a shock tunnel // Kaleidoscope. 2011. Vol. 10. Art. 24. URL: <https://uknowledge.uky.edu/kaleidoscope/vol10/iss1/24> (дата обращения: 07.10.2024).
5. Нургалиев Е.И. Технология возведения монолитных взрывоустойчивых перемычек с применением минеральной смеси «УГМ» // Ежегодная молодежная конференция ИУ СО РАН: сб. тр. конф. Кемерово: Ин-т угля СО РАН, 2015. С. 59–70.
6. Технология возведения изолирующих, водоупорных и взрывоустойчивых перемычек на шахтах ОАО «Южный Кузбасс» / И.А. Шундулиди [и др.] // Уголь. 2005. № 6. С. 33–35.
7. Ageev V.G., Mariychuk I.F. Mathematical modeling of the stress state of a mine explosion-resistant bulkhead // BiTP, Poland. 2013. Vol. 31. P. 33–39.
8. Прочностные характеристики цементно-шлакового материала взрывоустойчивой перемычки / Г.И. Пефтибай [и др.] // Подземная угледобыча XXI век-2. 2018. № 11 (2). С. 432–442.
9. Лабораторные испытания фибробетона / Н.Д. Барсук [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. Донецк, 2017. С. 91–94.
10. Прочностные и теплофизические свойства бетона с полипропиленовой фиброй в условиях температурного режима стандартного пожара / В.И. Голованов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. № 26 (5). С. 37–44.
11. Агеев В.Г., Пефтибай Г.И. Математическая модель напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки под действием ударных волн // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 3 (55). С. 7–18.
12. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. М.: Гостехиздат, 1997. 422 с.
13. Физическое моделирование воздействия горного давления на взрывоустойчивую перемычку / Г.И. Пефтибай [и др.] // Проблемы горного давления. 2017. № 32 (1). С. 20–31.
14. Агеев В.Г., Пефтибай Г.И., Марийчук И.Ф. Напряженное состояние шахтной взрывоустойчивой перемычки // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 4 (55). С. 7–14.

References

1. Paleev D.Yu. Sostoyanie i perspektivy nauchnogo obespecheniya gornospasatel'nyh rabot // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2020. № 1. S. 22–28.
2. The gasdynamic method of calculation of explosion-proof distances after explosion during explosions of methane-air mixture in mines with regard to explosion protective structures / D.Yu. Paleev [et al.] // 30th International Conference of safety in mines research institutes. Johannesburg, 2003.
3. Sarko M.J., Weiss E.S. Evaluation of new methods and facilities to test explosion resistant seals // 29-th International conference of safety in mines research institutes. Vol. 1. Poland: Szczyrk, 2001. P. 157–166.
4. Rathbun J., McLane D. Investigating Planer Propagation of a Shockwave in a Shock Tunnel // Kaleidoscope. 2011. Vol. 10. Art. 24. URL: <https://uknowledge.uky.edu/kaleidoscope/vol10/iss1/24> (data obrashcheniya: 07.10.2024).
5. Nurgaliev E.I. Tekhnologiya vozvedeniya monolitnyh vzryvoustojchivyh peremychek s primeneniem mineral'noj smesi «UGM» // Ezhegodnaya molodezhnaya konferenciya IU SO RAN: sb. tr. konf. Kemerovo: Ins-t uglya SO RAN, 2015. S. 59–70.
6. Tekhnologiya vozvedeniya izoliruyushchih, vodoupornyh i vzryvoustojchivyh peremychek na shahatah OAO «Yuzhnyj Kuzbass» / I.A. Shundulidi [i dr.] // Ugol'. 2005. № 6. S. 33–35.
7. Ageev V.G., Mariychuk I.F. Mathematical modeling of the stress state of a mine explosion-resistant bulkhead // ViTR, Poland. 2013. Vol. 31. P. 33–39.
8. Prochnostnye harakteristiki cementno-shlakovogo materiala vzryvoustojchivoj peremychki / G.I. Peftibaj [i dr.] // Podzemnaya ugledobycha XXI vek-2. 2018. № 11 (2). S. 432–442.
9. Laboratornye ispytaniya fibrobetona / N.D. Barsuk [i dr.] // Innovacionnye perspektivy Donbassa: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. T. 1: Problemy i perspektivi v gornom dele i stroitel'stve. Doneck, 2017. S. 91–94.
10. Prochnostnye i teplofizicheskie svojstva betona s polipropilenovoj fibroj v usloviyah temperaturnogo rezhima standartnogo pozhara / V.I. Golovanov [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. № 26 (5). S. 37–44.
11. Ageev V.G., Peftibaj G.I. Matematicheskaya model' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vzryvoustojchivoj peremychki pod dejstviem udarnyh voln // Nauchnyj vestnik NIIGD «Respirator». 2018. № 3 (55). S. 7–18.
12. Mihlin S.G. Variacionnye metody v matematicheskoy fizike. M.: Gostekhizdat, 1997. 422 s.
13. Fizicheskoe modelirovanie vozdejstviya gornogo davleniya na vzryvoustojchivyyu peremychku / G.I. Peftibaj [i dr.] // Problemy gornogo davleniya. 2017. № 32 (1). S. 20–31.
14. Ageev V.G., Peftibaj G.I., Mariychuk I.F. Napryazhennoe sostoyanie shahtnoj vzryvoustojchivoj peremychki // Nauchnyj vestnik NIIGD «Respirator». 2018. № 4 (55). S. 7–14.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 02.12.2024; одобрена после рецензирования: 22.01.2025;
принята к публикации: 03.02.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 02.12.2024; approved after review: 22.01.2025;
accepted for publication: 03.02.2025

Информация об авторах:

Кириян Андрей Петрович, начальник «НИИ «Респиратор» МЧС России» (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), кандидат технических наук, e-mail: respirator@80.mchs.gov.ru, SPIN-код: 7096-8499

Пефтибай Георгий Иванович, начальник научно-исследовательского отдела специальных средств ведения аварийно-спасательных работ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), кандидат технических наук, e-mail: g.peftibay@80.mchs.gov.ru, SPIN-код: 6982-0099

Галухин Николай Александрович, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела специальных средств ведения аварийно-спасательных работ «НИИ «Респиратор» МЧС России» (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), e-mail: n.galuhin@80.mchs.gov.ru, SPIN-код: 6004-0555

Information about the authors:

Kiryan Andrey P., head of «Research institute «Respirator» of EMERCOM of Russia» (283048, Donetsk, Artema str., 157), candidate of technical sciences, e-mail: respirator@80.mchs.gov.ru, SPIN: 7096-8499

Peftibay Georgy I., head of the research department of specialized equipment for conducting emergency rescue operations of «Research institute «Respirator» of EMERCOM of Russia» (283048, Donetsk, Artema str., 157), candidate of technical sciences, e-mail: g.peftibay@80.mchs.gov.ru, SPIN: 6982-0099

Galukhin Nikolay A., senior researcher research department of specialized equipment for conducting emergency rescue operations of «Research institute «Respirator» of EMERCOM of Russia» (283048, Donetsk, Artema str., 157), e-mail: n.galuhin@80.mchs.gov.ru, SPIN: 6004-0555