

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
ВК «Кузбасская ярмарка»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 9 - 2023

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2023. - № 9. – 390 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоемких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 6-9 июня 2023 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	298
2 – ООО «Горэлектросеть», г. Новокузнецк, Россия.....	298
3 – ООО «Фаза», г. Новокузнецк, Россия	298
ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	301
ВЕРОЯТНОСТЬ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ В ЗОНЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ	303
д.т.н. Греков С.П., к.т.н. Головченко Е.А., Карасёва В.В.	303
НИИ «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк, Донецкая народная республика, Россия	303
РАСЧЁТ ИЗОЛИНИЙ ТЕМПЕРАТУР И КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ПОРОДНОМ ОТВАЛЕ	306
Пашковский О.П., к.т.н. Головченко Е.А.	306
НИИ «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк, Донецкая народная республика, Россия	306
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПРИ ПОЖАРАХ	309
д.т.н. Агеев В.Г., к.т.н. Агарков А.В., Мавроди А.В.....	309
НИИ «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк, Донецкая народная республика, Россия	309
ПОТЕРИ РАСХОДА АЗОТА ПРИ ИЗОЛЯЦИИ И ТУШЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ	313
Коврижкин О.И.	313
Оперативный военизированный горноспасательный отряд МЧС ДНР, г. Донецк, Донецкая народная республика, Россия	313
СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УВЛАЖЕНИЯ ПЛАСТА НА ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНОГО УГЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННОГО ГОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА	317
к.т.н. Плаксин М.С., Родин Р.И., Рябцев А.А., Альков В.И.....	317
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	317
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ПО ВЫРАБОТКАМ И ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИНЖЕНЕРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ	322
¹ к.т.н. Говорухин Ю.М., ^{1,2} д.т.н. Домрачев А.Н., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	322
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия	322
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	322
3 – Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия	322
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛИРУЮЩИХ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК	333
¹ к.т.н. Говорухин Ю.М., ^{1,2} д.т.н. Домрачев А.Н., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	333
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия	333
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	333
3 – Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия	333
КОНТРОЛЬ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ	336
Малышков С.Ю., к.т.н. Гордеев В.Ф., Поливач В.И.	336
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия	336
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ РАЗРЕЗА «АНГРЕНСКИЙ», КАК ОБЪЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННО–ОХРАННОГО ЗНАЧЕНИЯ	341

20. Яковлев Ю.С. Гидродинамика взрыва. – Л.: Судпромгиз, 1961. – 312 с.
21. Jasac H. Error Analysis and Estimation for the Finite Volume Method with Application to Fluid Flows : Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Imperial College. – June 1996. – 396 p.
22. Moukalled F., Mangani L., Darwish M. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab. – Springer, 2016. – 817 p.

УДК 622.868:622.81

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛИРУЮЩИХ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

¹к.т.н. Говорухин Ю.М., ^{1,2}д.т.н. Домрачев А.Н., ¹к.т.н. Криволапов В.Г.,
^{1,3}д.т.н. Палеев Д.Ю.

1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия

2 – Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

3 – Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия

Аннотация. Сформирована методика расчёта толщины изолирующих взрывоустойчивых перемычек, возводимых при изоляции пожарных участков, на основе действующих на них избыточных давлений во фронте падающей и отражённой ударной воздушной волны.

Ключевые слова: горные выработки, взрыв газовоздушной смеси и угольной пыли, ударная воздушная волна, давление, взаимодействие, перемычка.

С целью обеспечения промышленной безопасности и предотвращения разрушения действующих горных выработок ударной воздушной волной (далее – УВВ), образующейся при взрывах газовоздушных смесей (далее – ГВС) и угольной пыли, возводятся изолирующие взрывоустойчивые перемычки, способные воспринимать без разрушения повышенные ударные воздействия. Согласно требованиям федеральных норм и правил в области промышленной безопасности [1, 2] данные инженерные сооружения на горных предприятиях опасных по газу и/или пыли возводятся при изоляции:

- действующих пожаров;
- газодренажных выработок и выработанных пространств выемочных участков, проветриваемых по схемам с изолированным отводом метана с помощью газоотсасывающих установок;
- горных выработок на шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонные к самовозгоранию.

Это обусловлено тем, что в изолируемых пространствах, вследствие сокращения расхода воздуха на объектах проветривания или полного прекращения их проветривания, существует угроза формирования зон взрывоопасных скоплений газов (метана, оксида углерода, предельных и непредельных углеводородов) вблизи источников высокой температуры [8, 9]. При потенциальной опасности возникновения взрыва основным параметром, определяющим взрывоустойчивость перемычки, является её толщина. В связи с этим авторами предлагается следующая методика для расчёта данного параметра от действующих на них избыточных давлений.

Место установки перемычки не должно быть от зоны взрыва ближе пяти длин исходной зоны загазования, которую можно определить согласно [7, 10]. Желательно в зону

изоляции включать все существующие местные сопротивления (обрушения, загромождения и т. п.), так как это будет снижать избыточное давление во фронте набегающей УВВ.

Затухание избыточного давления во фронте УВВ ΔP_x , МПа, возможно оценить по формуле, предложенной для проектирования защитных сооружений гражданской обороны в подземных горных выработках [3-6, 11-13, 15, 16]

$$\Delta P_x = \Delta P_{\text{фн}} e^{-K_3 \frac{x}{R_{\text{гидр}}}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{фн}}$ – избыточное давление в месте отрыва УВВ от продуктов взрыва на прямолинейном участке выработки, либо в начальном её сечении после местного сопротивления, МПа. Согласно исследованиям, выполненным авторами, оно составляет 0,30 МПа при взрывах в выработках выемочного участка, а для подготовительных выработок – 0,40 МПа; K_3 – коэффициент затухания, зависящий от коэффициента аэродинамического сопротивления выработки (принимается согласно табличным значениям, приведённым в [4-6]); x – расстояние от начала выработки до поворота, её сужения и других изменений, м; $R_{\text{гидр}}$ – гидравлический радиус выработки, м.

Давление УВВ после прохождения местных сопротивлений выработок $\Delta P_{\text{пр}}$, МПа, определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{пр}} = K_{\text{зат}} \Delta P_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{зат}}$ – коэффициент затекания, учитывающий ослабление или увеличение интенсивности УВВ после прохождения сопряжений и углов поворота выработок (принимается согласно [4-6]); $\Delta P_{\text{н}}$ – начальное давление УВВ распространяющейся по местным сопротивлениям в выработках, МПа.

Давление отражения УВВ от инженерного сооружения при расположении преграды перпендикулярно направлению её распространения $\Delta P_{\text{отр}}$, МПа, определяется по формуле Крюссара – Измайлова [4-6, 11, 14]

$$\Delta P_{\text{отр}} = 2\Delta P_{\text{ф}} + \frac{6\Delta P_{\text{ф}}^2}{\Delta P_{\text{ф}} + 7,2 \cdot P_0}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{ф}}$ – избыточное давление во фронте УВВ, подходящей к перемычке, МПа; P_0 – атмосферное давление, МПа.

Также давления $\Delta P_{\text{ф}}$ и $\Delta P_{\text{отр}}$ возможно определить с использованием специализированного программного обеспечения на основе трёхмерной топологии сети выработок.

В источниках [4, 11] указывается, что для определения толщины перемычки необходимо использовать квазистатическую нагрузку $\Delta P_{\text{э}}$, МПа, эквивалентную полному давлению, определяемую по формуле

$$\Delta P_{\text{э}} = \Delta P_{\text{отр}} \cdot k_{\text{д}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности.

Значения коэффициента динамичности для преград, подвергающихся ударным воздействиям при взрывах, выбираются в диапазоне от 1 до 2. При этом, чем меньше длительность ударного импульса, тем большее значение коэффициента динамичности должно быть использовано для вычисления эквивалентной нагрузки. Данные значения получены опытным путём в результате исследований, выполненных при проведении атмосферных и подводных взрывов [16]. В подземных горных выработках же УВВ приобретают большую длину и оказывают воздействие на перемычку более 1 с [12]. Это можно охарактеризовать как гидростатическое, а не динамическое, воздействие на изолирующую взрывоустойчивую перемычку. Таким образом, для условий подземных горных выработок можно принять $k_{\text{д}} = 1$.

Изолирующая взрывоустойчивая безврубная перемычка рассчитывается как шарнирно опёртая плита прямоугольной формы высотой h , м, и шириной w , м, равных соответствующим параметрам горной выработки.

Минимальная толщина m_1 , м, обеспечивающая прочность при изгибе плиты монолитной перемычки под действием эквивалентного давления, при $h < w$ определяется по формуле

$$m_1 = h \sqrt{\Delta P_3 \frac{3-2 \cdot (h/w)^2}{4R_{\text{раст}}k_3}}, \quad (5)$$

а при $h > w$ формула имеет вид

$$m_1 = w \sqrt{\Delta P_3 \frac{3-2 \cdot (w/h)^2}{4R_{\text{раст}}k_3}}, \quad (6)$$

где $R_{\text{раст}}$ – нормативное сопротивление на растяжение при изгибе, МПа; k_3 – коэффициент запаса прочности для материала перемычки (изменяется в пределах 0,8 – 1,0).

Минимальная толщина m_2 , м, обеспечивающая прочность закрепления плиты перемычки по контуру, при $R_{\text{адг}} < R_{\text{сдв}}$ определяется по формуле

$$m_2 = \frac{\Delta P_3 \cdot wh}{2(w+h)R_{\text{адг}}k_3}, \quad (7)$$

где $R_{\text{адг}}$ – нормативная адгезионная прочность, МПа; $R_{\text{сдв}}$ – нормативное сопротивление при сдвиге, МПа, $R_{\text{сдв}} = 0,24R_{\text{сж}}$; $R_{\text{сж}}$ – нормативное сопротивление при сжатии, МПа.

При $R_{\text{адг}} > R_{\text{сдв}}$ в формуле (7) $R_{\text{адг}}$ заменяется на $R_{\text{сдв}}$.

Минимальная толщина безврубовой перемычки m , м, принимается равной максимальному значению из двух расчётных величин m_1 и m_2 по формуле

$$m = \max\{m_1, m_2\}. \quad (8)$$

Вывод. По результатам исследований, выполненных авторами, предложена методика расчёта параметров изолирующих взрывоустойчивых перемычек, возводимых в подземных горных выработках при изоляции пожарных участков. Данная методика позволяет определять величину избыточного давления при взаимодействии УВВ с инженерными сооружениями и выполнить расчёт минимально необходимой толщины перемычки в зависимости от материала её изготовления.

Список литературы

1. Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы : приказ Ростехнадзора от 11.12.2020 № 520 : зарег. в Минюсте России 21.12.2020 № 61628. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372027
2. Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт : приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 506 : зарег. в Минюсте России 29.12.2020 № 61918. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372974
3. О введении в действие Методики газодинамического расчёта параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли : распоряж. Ростехнадзора от 27.04.2004 № Р-7. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=331468#019248400577640212>
4. СНиП 2.01.54-84. Защитные сооружения гражданской обороны в подземных горных выработках / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 20 с.
5. Устав ВГСЧ по организации и ведению горно-спасательных работ. – М.: Недра, 1986. – 254 с.
6. Устав военизированной горноспасательной части (ВГСЧ) по организации и ведению горноспасательных работ на предприятиях угольной и сланцевой промышленности. – М., 1997. – 201 с.
7. О методе оценки объёмов загазования взрывоопасной метановоздушной смесью горных выработок угольных шахт / Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Д.Ю. Палеев // Безопасность технологических процессов и производств: тр. III междунар. науч.-практ. конф. 26 мая 2021 г., Екатеринбург / отв. редактор В.А. Елохин; Урал гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2021. – С. 13-18.
8. Моделирование газодинамических процессов при изоляции выработок аварийных участков с использованием гидрозатворов / Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов, М.Г. Коряга, Д.Ю. Палеев // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 376-380.

9. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. Анализ существующих алгоритмов оценки дебитов метана из разрабатываемых пологих пластов с целью определения структуры газового баланса выемочных участков // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С. 445-448.

10. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. О способе внесения в модель топологии объёмов загазования в закреплённом пространстве выемочных участков при расчётах взрывобезопасных расстояний // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 373-375.

11. Мясников А.А., Миллер Ю.А., Комаров Н.Е. Вентиляционные сооружения в угольных шахтах. – М.: Недра, 1983. – 270 с.

12. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах / Д.Ю. Палеев, И.М. Васенин, В.Н. Костеренко [и др.]. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 312 с.

13. Плотников В.М. Обеспечивается ли безопасность труда горноспасателей при угрозе взрыва газа и пыли в угольных шахтах? // Безопасность труда в промышленности. – 1992. – № 1. – С.29-33.

14. Савенко С.К., Гуринов А.А., Малый П.С. Ударные воздушные волны в подземных горных выработках. – М.: Недра, 1973. – 152 с.

15. Чеховских А.М., Гладков Ю.А. О выборе безопасных мест ведения горноспасательных работ при угрозе взрыва газов и пыли в шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 1992. – № 1. – С.33-34.

16. Яковлев Ю.С. Гидродинамика взрыва. – Л.: Судпромгиз, 1961. – 312 с.

УДК 550.83.045

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Малышков С.Ю., к.т.н. Гордеев В.Ф., Поливач В.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
г. Томск, Россия

Аннотация. Для обеспечения промышленной и экологической безопасности горных предприятий, контроля геомеханических процессов и прогноза оползней в работе предложен метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли. Дано обоснование возможности его применения для этих целей и результаты внедрения систем мониторинга экзогенных процессов на промышленных объектах.

Ключевые слова: геомеханические процессы, естественное импульсное электромагнитное поле Земли.

В приказе Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.11.2020 №439 «ФНП ПБ правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» установлены требования - по результатам инженерно-геологического изучения массива горных пород для объектов горной промышленности составлять геомеханическую модель месторождения (участка недр), в которой, наряду с другими, отражается:

- основные и второстепенные структуры (разломы, напластование, складчатость, системы трещин);
- физические и деформационные характеристики пород и массива;
- параметры природного поля напряжений.

Причем, по мере развития открытых горных работ, но не реже одного раза в год,

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 23.05.2023 г.

Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 23,18 Уч.-изд. л. 24,74 Тираж 1000 экз. Заказ 114

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ