

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.45.002

УДК [622.868.42:622.81]:691.54

© Г.И. Пештибай, 2018

Г.И. ПЕФТИБАЙ

начальник отдела

НИИГД «Респиратор», г. Донецк

e-mail: niigd.osmas@mail.ru



ПАРАМЕТРЫ ШАХТНОЙ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Приведены результаты распределения нормальных и касательных напряжений в перемычках в относительных координатах под действием взрывной ударной волны (ВУВ), горного давления и температуры, определены максимальные напряжения, произведено сравнение с предельными их значениями при граничных условиях в виде жесткого закрепления и шарнирного опирания по контуру при различных исходных данных. Установлено, что преобладающими являются нормальные напряжения по высоте перемычек при шарнирном креплении, причем при действии ВУВ максимальные их значения возникают в средней части, под действием горного давления — в нижней части. Разработана номограмма для определения основной технической характеристики перемычки — толщины в зависимости от площади сечения, глубины (горного давления) выработки и температуры.

Впервые принята расчетная схема и разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния (НДС) взрывоустойчивой перемычки в виде анизотропной (изотропной) толстой пластины с радиусом кривизны, меняющимся по параболическому закону или полуокружности, с защемленными или шарнирно опертыми краями, под действием нагрузки от ВУВ, горного давления и температуры.

Ключевые слова: ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ВЗРЫВ, ПЕРЕМЫЧКА, ВЗРЫВНАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА, ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА, ТОЛЩИНА, ЦЕМЕНТНОЕ ВЯЖУЩЕЕ, НАПРЯЖЕНИЯ.

Введение

Подземные пожары, а также взрывы метановоздушных смесей в горных выработках шахт являются наиболее опасными авариями, в результате которых предприятиям наносится большой материальный ущерб, возникает угроза жизни и здоровью горнорабочих и горноспасателей [1].

В настоящее время для безопасного ведения работ по изоляции аварийных участков выработок горноспасатели применяют взрывоустойчивые перемычки, возводимые из

строительного или высокопрочного гипсового вяжущего, с проемными металлическими трубами [2].

Однако взрывоустойчивые перемычки из гипсового материала обладают некоторыми существенными недостатками: быстрое схватывание раствора приводит к ограничению дальности его транспортирования гидромеханическим способом, что усложняет эксплуатацию оборудования; низкая водостойкость материала снижает надежность работы конструкции и исключает возможность ее применения в обводненных выработках.

В качестве альтернативного материала для возведения изолирующих сооружений целесообразным является использование материалов на основе цементного вяжущего с наполнителем, которым могут быть отходы местного производства (доменный шлак, зола-унос), что позволит снизить стоимость их возведения и способствовать решению вопросов по охране окружающей среды, с обязательным добавлением ускорителя твердения.

В работе [2] приведена математическая модель НДС анизотропной (изотропной) взрывоустойчивой гипсовой перемычки в виде толстой пластины с радиусом кривизны, меняющимся по параболической зависимости или полуокружности под действием нагрузки от ВУВ и сжимающей — разрушенных пород в верхней ее части при жестком закреплении по остальному контуру. Для решения задачи использован прием, заключающийся в представлении полного прогиба в виде суммы двух составляющих — за счет изгиба и сдвига, которые требуют отыскания трех функций: двух для перемещений, а также усилий в срединной поверхности.

Кроме этого, не учтено воздействие на перемычку горного давления, температуры, граничное условие в виде шарнирного опирания по контуру, не обосновано влияние проемных

металлических труб на НДС, применение их креплений к горным выработкам.

В работе [3] на основании результатов экспериментальных исследований, используя метод эквивалентных материалов, установлено, что влиянием проемных металлических труб на НДС перемычки можно пренебречь, а их прочность обеспечена, поэтому крепление труб различными элементами к горной выработке является необязательным.

В работах [4, 5] приведены математические модели НДС анизотропной (изотропной) взрывоустойчивой гипсовой перемычки в виде толстой сплошной пластины с радиусом кривизны, меняющимся по параболической зависимости или полуокружности под действием нагрузки от ВУВ, горного давления, температуры с учетом шарнирного граничного условия и квадратичного закона распределения поперечных касательных сил и деформаций. Это позволило существенно упростить решение задачи, отыскивая две функции вместо трех. В работе [4] рассмотрена расчетная схема перемычки (рис. 1). Результирующие напряжения равны сумме напряжений, и решение задачи получено при рассмотрении двух этапов: на первом перемычка находится под действием горного давления, на втором — воздушной ударной волны и температуры.

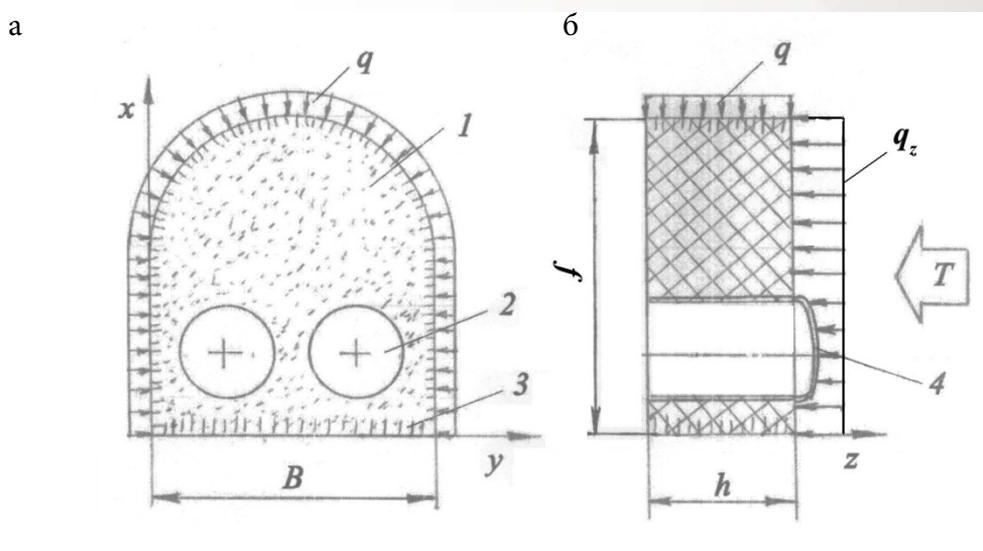


Рис. 1. Расчетная схема взрывоустойчивой перемычки:

а — в плане; б — вид сбоку; 1 — перемычка; 2 — проемная труба; 3 — контур заземления или шарнирного (свободного) крепления; 4 — люк; q — нагрузка от горного давления; q_z — нагрузка от ударной волны; T — температура

Определены состав и механические характеристики материала на основе цементного вяжущего [6], проведена апробация математической модели НДС перемычки по сравнению с зарубежными результатами [7].

Необходимо определить основную техническую характеристику перемычек — толщину в зависимости от условий возведения.

Целью исследований является определение толщины перемычек, возведенных из материала на основе цементного вяжущего с наполнителем в виде доменного шлака с ускорителем твердения (хлористый кальций) с защемленными и шарнирными граничными условиями по контуру, в зависимости от механических характеристик материала, площади сечения выработок и глубины возведения перемычек, действующих нагрузок ВУВ, горного давления и температуры.

Разработанный алгоритм и составленная программа позволяют выносить на печать распределение напряжений в относительных координатах (0,1) в плоском и двухмерном изображениях [7].

В качестве условия прочности использована теория, согласно которой максимальные нормальные и касательные напряжения не должны превышать соответствующих предельных их значений с коэффициентом запаса для материала перемычки, выполненной из гипсового или на основе цементного вяжущего.

Ранее в работе [6] получено, что напряжения в перемычках при шарнирном креплении значительно превосходят напряжения при жестком граничном условии, поэтому ниже приведены некоторые результаты исследований напряженного состояния перемычек для первого случая.

Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке, сооруженной из цементно-шлакового материала, с параболической кривизной, шарнирными краями при минимальных и максимальных значениях площади сечения, глубины возведения и нагрузке $q_x = 2,8$ МПа приведено на рис. 2 и 3, от горного давления $q = 1,5$ МПа (максимальной глубины возведения) и зависимости напряжений от перепада температур — рис. 4 и 5

соответственно. При этом нагрузки от действия горного давления меняли в пределах (0,1...1,5) МПа, что соответствует глубине возведения перемычки (200...1400) м [8].

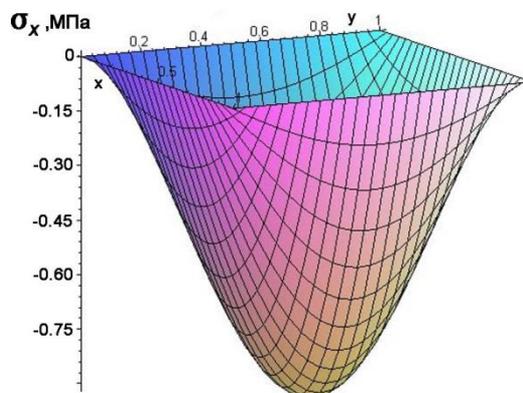


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке, сооруженной из цементно-шлакового материала, с параболической кривизной, шарнирными краями при площади сечения $S = 4$ м², глубине возведения $H = 400$ м, толщине $h = 2,0$ м, модуле упругости $E = 215$ МПа, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,22$, нагрузке $q_x = 2,8$ МПа

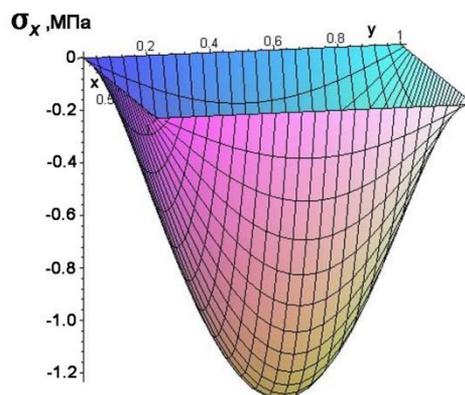


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке, сооруженной из цементно-шлакового материала, с параболической кривизной, шарнирными краями при площади сечения $S = 30$ м², глубине возведения $H = 1400$ м, толщине $h = 5,5$ м, модуле упругости $E = 215$ МПа, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,22$, нагрузке $q_x = 2,8$ МПа

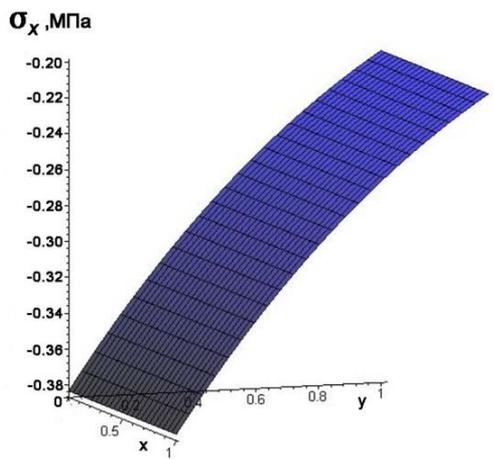


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений σ_x в перемычке, сооруженной из цементно-шлакового материала, с параболической кривизной, шарнирными краями при площади сечения $S = 30 \text{ м}^2$, глубине возведения $H = 1400 \text{ м}$ (горного давления $q = 1,5 \text{ МПа}$), $h = 2,0 \text{ м}$, модуле упругости $E = 215 \text{ МПа}$, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,22$

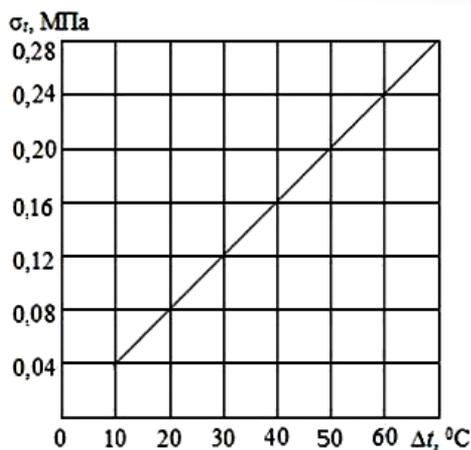


Рис. 5. Зависимость напряжений от перепада температур при коэффициенте линейного расширения материала цементно-шлаковой смеси $\alpha = 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$, модуле упругости $E = 215 \text{ МПа}$, коэффициенте Пуассона $\nu = 0,22$

Следует отметить, что температура, возникающая при изоляции пожарного участка, в том числе и при действии ВУВ на перемычки, влияет на НДС перемычки, что подтверждают некоторые отечественные и зарубежные авторы, но до настоящего времени исследования в этом направлении в открытой печати не публиковались.

Результаты исследований напряженного состояния перемычки, возведенной из цементно-шлаковой смеси, показывают, что максимальные напряжения при одинаковых условиях, но минимальной и максимальной площадях сечений, действию нагрузки от ВУВ практически одинаковы (см. рис. 2, 3), имея равные значения при растяжении и сжатии, они не достигают своих предельных значений (1,8 и 3,0 МПа соответственно), запас прочности которых равен 2,2 и 1,9 соответственно; максимальные напряжения при действии горного давления возникают в нижней части перемычки; суммарные напряжения от горного давления (глубины возведения) в средней части перемычки и максимальной температуры от максимальных изгибных напряжений при действии ВУВ составляют примерно 38 %; минимальный коэффициент запаса прочности при наихудших условиях эксплуатации равен 1,4.

Максимальные нормальные напряжения в перемычке, возведенной в виде полуокружности, примерно в 1,1 раза выше, чем с параболической зависимостью с запасом прочности, равным 1,3.

На основании результатов промежуточных расчетов разработана номограмма для оперативного определения толщины в зависимости от площади сечения выработки S , глубины возведения H (горного давления q), перепада температур ΔT (между конечной температурой, прогнозируемой по возможному тепловому воздействию, T и начальной T_0 в горной выработке соответственно) при нагрузке от ВУВ $q_x = 2,8 \text{ МПа}$ (рис. 6).

Таким образом, разработанные математические модели НДС взрывоустойчивых перемычек, возведенных из материала на основе цементного вяжущего, под действием горного давления, ВУВ и температуры, учитывающие геометрические параметры, механические характеристики материала, различные условия крепления, глубину возведения, позволяют определить толщину возводимой перемычки, обеспечивающую безопасную работу горноспасателей во время ликвидации пожаров и при взрывах в горных выработках угольных шахт.

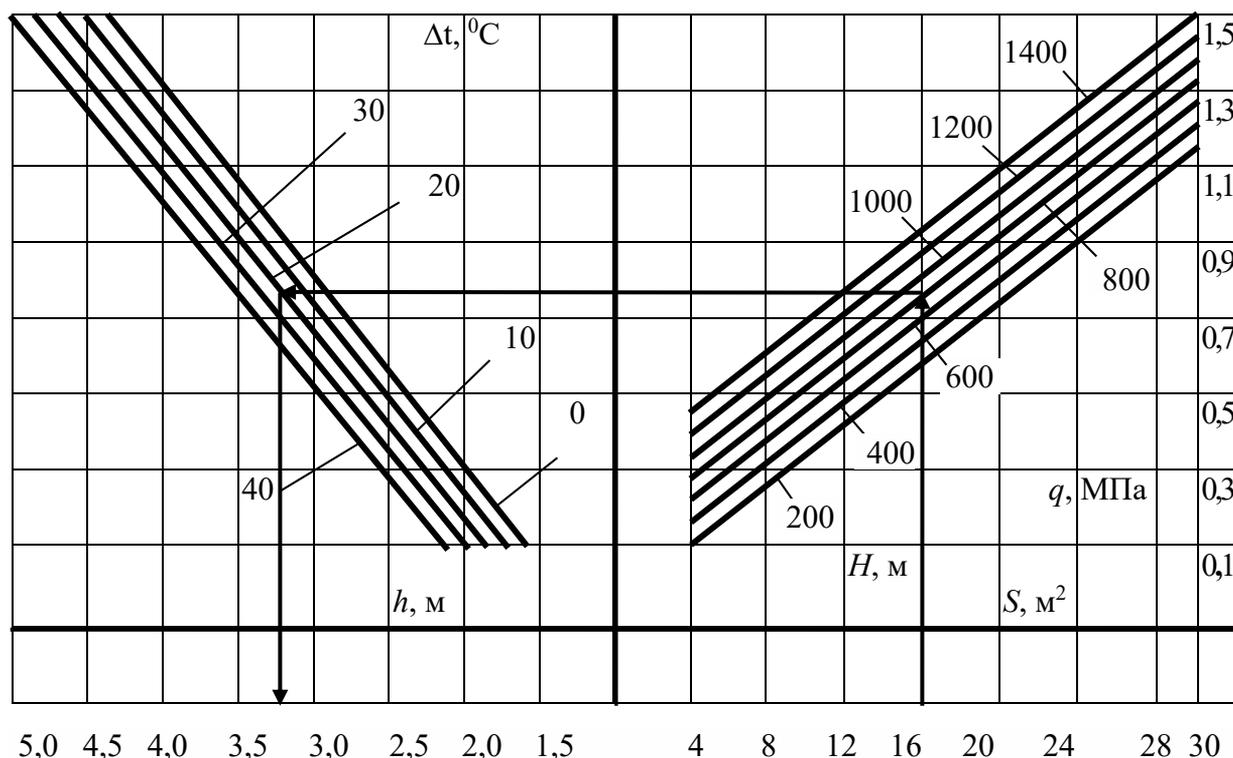


Рис. 6. Номограмма для определения толщины взрывоустойчивой перемычки h , возведенной с использованием смесей на основе цементных вяжущих, в зависимости от площади сечения выработки S , глубины возведения H (горного давления q), перепада температур ΔT (между конечной температурой, прогнозируемой по возможному тепловому воздействию, T и начальной T_0 в горной выработке соответственно) при нагрузке от воздушной ударной волны $q_x = 2,8$ МПа

Выводы

1. Приведены результаты исследований напряженного состояния перемычки с шарнирным креплением по контуру, возведенной из материала на основе цементного вяжущего, под действием нагрузок от ВУВ, горного давления и температуры.

2. Разработана номограмма для определения толщины перемычек в зависимости от

площади сечения выработки, глубины возведения и перепада температур.

3. Разработанные математические модели перемычек, учитывающие анизотропию материала, в дальнейшем возможно использовать для применения армирования моноблока перемычки, например, полипропиленовым волокном, позволяющим уменьшить их толщины при одинаковых нагрузках, что позволит сократить затраты и время возведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоланов С.Н., Голинько В.И., Мартиненко М.С. Изоляционные, вентиляционные и взрывоустойчивые перемычки. Днепропетровск: Наука и образование, 2002. 260 с.
2. Агеев В.Г. Взрывозащита при изоляции пожаров в угольных шахтах. Донецк: Арпи, 2014. 338 с.
3. Агеев В.Г., Пештибай Г.И., Марийчук И.Ф. Моделирование воздействия горного давления на взрывоустойчивую перемычку // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 2 (55). С. 44–52.
4. Агеев В.Г., Пештибай Г.И. Математическая модель напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки под действием ударных волн // Научный вестник НИИГД «Респиратор». Донецк, 2018. № 3 (55). С. 7–18.

5. Агеев В.Г., Пейтибай Г.И. Математическая модель напряженно-деформированного состояния взрывоустойчивой перемычки под действием горного давления без учета действия воздушной ударной волны // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2017. № 4. С. 68–74.

6. Пейтибай Г.И. Малокомпонентные быстротвердеющие цементные смеси для возведения взрывоустойчивых перемычек // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 1. С. 47–52.

7. Агеев В.Г., Пейтибай Г.И., Марийчук И.Ф. Апробация математической модели напряженного состояния шахтной взрывоустойчивой перемычки // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 4 (55). С. 7–14.

8. Агеев В.Г., Марийчук И.Ф. Математическое моделирование напряженного состояния шахтной взрывоустойчивой перемычки // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza Safety & Fire Technique. 2013. Vol. 31. № 3. P. 33–39.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.45.002

UDC [622.868.42:622.81]:691.54

© G.I. Peftibay, 2018

G.I. PEFTIBAY

Head of Department

NIIGD «Respirator» EMERCOM Donetsk People's Republic, Donetsk

e-mail: niigd.osmas@mail.ru

CHARACTERISTICS OF THE EXPLOSION-STABLE MINE STOPPING FROM MATERIALS BASED ON CEMENT BINDER

The paper presents the research results of the distribution of direct and shearing stresses in stoppings in relative coordinates under the explosion shock wave effect, rock pressure, temperature, maximum stress are determined, the comparison with their limiting values are made under the boundary conditions in the form of rigid fixing and hinge support along the contour with various source data. the direct stresses over the height of the stoppings with hinged fastening are found to be dominant, and under the under the explosion shock wave effect, their maximum values occur in the middle part, under the rock pressure effect of - in the lower part. A nomogram has been developed to determine the main technical characteristics of the stoppings — the thickness depending on the cross-sectional area, depth (rock pressure), and temperature. For the first time a design model was adopted and a mathematical model of the initial stress-strain state of an explosion-proof stoppings in the form of an anisotropic (isotropic) thick plate with a radius of curvature varying according to a parabolic or semicircle, with clamped or hingedly supported edges, under the action of a shock wave, rock pressure and temperature.

Keywords: MINE OPENING, EXPLOSION, STOPPING, EXPLOSION SHOCKWAVE, ROCK PRESSURE, TEMPERATURE, WIDTH, CEMENT BINDER, STRAINS.

REFERENCES

1. Smolanov S.N., Golinko V.I., Martinenko M.S. Isolation, ventilation and explosion-proof stoppings. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 2002. 260 p. (In Russ.).
2. Ageev V.G. Explosion protection during the fire isolation in coal mines. Donetsk: Arpi, 2014. 338 p. (In Russ.).
3. Ageev V.G., Peftibay G.I., Mariychuk I.F. Modelling the influence of the rock pressure on an

explosion-stable stopping. Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific bulletin of the NIIGD «Respirator». 2018. № 2 (55). pp. 44–52. (In Russ.).

4. Ageev V.G., Peftibay G.I. The dynamic deflected mode of an explosion-stable stopping under influence of shock waves. Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific bulletin of the NIIGD «Respirator». Donetsk, 2018. № 3 (55). pp. 7–18. (In Russ.).

5. Ageev V.G., Peftibay G.I. The mathematical model of initial stress-strain state of an explosion-proof stopping under the rock pressure without including air shock wave. Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti = Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety. 2017. № 4. pp. 68–74. (In Russ.).

6. Peftibay G.I. Low-compound rapid-setting cement mixtures for explosion-proof stoppings installation. Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti = Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety. 2018. № 1. pp. 47–52. (In Russ.).

7. Ageev V.G., Peftibay G.I., Mariychuk I.F. Testing of a mathematical model of the stress state of the mine explosion-proof stopping. Nauchnyy vestnik NIIGD «Respirator» = Scientific Bulletin of the NIIGD «Respirator». 2018. № 4 (55). pp. 7–14. (In Russ.).

8. Ageev V.G., Mariychuk I.F. The Mathematical Modelling of the Stress State of the Explosion-stable Mine Stopping. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza Safety & Fire Technique. 2013. Vol. 31. № 3. pp. 33–39. (In Russ.).