



Государственный научно-исследовательский институт
горноспасательного дела, пожарной безопасности
и гражданской защиты «Респиратор»
Министерства по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий Донецкой Народной Республики

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИГД «РЕСПИРАТОР»

Научно-технический журнал

№ 1(58)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2021. – № 1(58). – 112 с.

Изложены результаты исследований в области защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях, техногенной безопасности, предупреждения и тушения пожаров на шахтах, создания горноспасательной техники, спасения людей при подземных авариях. Журнал внесен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (приказ МОН ДНР от 01.11.2016 № 1134).

Публикуемые материалы рассчитаны на ученых и специалистов, занимающихся вопросами предупреждения чрезвычайных ситуаций, борьбы с их последствиями, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, работников различных отраслей промышленности.

Учредитель и издатель – Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук	В.Г. Агеев – главный редактор
д-р техн. наук	В.В. Мамаев – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	Ю.Ф. Булгаков
д-р техн. наук	С.П. Греков
д-р техн. наук	С.Е. Гулько
д-р техн. наук	А.Ф. Долженков
д-р техн. наук	С.Г. Ехилевский (Республика Беларусь)
д-р техн. наук	В.Г. Игишев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	В.А. Канин
д-р техн. наук	А.П. Ковалев
д-р техн. наук	В.П. Коптиков (Российская Федерация)
д-р техн. наук	К.Н. Лабинский
д-р техн. наук	Д.Ю. Палеев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	Г.П. Стариков
д-р мед. наук	В.В. Черкесов
д-р хим. наук	В.В. Шаповалов

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (договор от 23.03.2016 № 157-03/2016).

Подписан к печати по рекомендации ученого совета НИИГД «Респиратор» (протокол от 25.02.2021 № 1).

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

Свидетельство о регистрации печатной версии журнала от 14.12.2016 ААА № 000086.

Свидетельство о регистрации сетевого издания от 20.04.2017 ААА № 000121.



The “Respirator” State Scientific Research Institute
of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection
of the Ministry of the Donetsk People’s Republic
for Civil Defence, Emergencies and Elimination
of Consequences of Natural Disasters

SCIENTIFIC BULLETIN

OF THE NIIGD “RESPIRATOR”

Scientific-technical journal

No. 1(58)

Published quarterly

Founded in 1970

Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal. – Donetsk, 2021. – No. 1(58). – 112 p.

The results of investigations in the field of protection of population and territories in emergencies, of anthropogenic safety, prevention and fighting the fires at the mines, creation of the mine-rescue equipment, life-saving the people by underground accidents are expounded. The journal is included in the list of reviewed scientific publications in which the basic scientific results of dissertations for degrees of doctor and candidate of sciences should be published (order of the Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic from 01.11.2016 no. 1134).

The materials being published are intended for scientists and specialists concerning with the problems of prevention of emergencies, fighting their consequences, lecturers, postgraduate students and students of institutes of higher education, workers of various industries.

Founder and publisher – The "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters.

Editorial board:

Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Ageyev – editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	V.V. Mamayev – deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	Yu.F. Bulgakov
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Grekov
Dr. Sci. (Tech.)	S.Ye. Gul'ko
Dr. Sci. (Tech.)	A.F. Dolzhenkov
Dr. Sci. (Tech.)	S.G. Yekhilevskiy (Republic of Belarus)
Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Igishev (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	V.A. Kanin
Dr. Sci. (Tech.)	A.P. Kovalyov
Dr. Sci. (Tech.)	V.P. Koptikov (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	K.N. Labinskiy
Dr. Sci. (Tech.)	D.Yu. Paleyev (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	G.P. Starikov
Dr. Sci. (Med.)	V.V. Cherkesov
Dr. Sci. (Chem.)	V.V. Shapovalov

The journal is included in the database of the "Russian Science Citation Index" (РИИЦ) (contract from 23.03.2016 no. 157-03/2016).

Approved for printing according to the reference of the academic council of the NIIGD "Respirator" (proceeding from 25.02.2021 no. 1).

Registered by the Ministry of Information of the Donetsk People's Republic.

Registration certificate of the printing version of the journal from 14.12.2016 AAA no. 000086.

Registration certificate of the network publication from 20.04.2017 AAA no. 000121.

СОДЕРЖАНИЕ***I. Пожарная и промышленная
безопасность***

**Агеев В.Г., Галухин Н.А.,
Болдырев М.Н., Ефименко В.Л.**
Динамика движения жидкости в стволе
импульсного пожаротушающего
устройства

7

Греков С.П., Орликова В.П.
Реакционная поверхность угля
и эндогенная пожароопасность

17

Лебедева В.В., Непочатых И.Н.
Покрывание для огнезащиты деревянных
конструкций

27

Булгаков Ю.Ф., Подвигин К.К.
Математическая модель процессов
теплообмена воздушной струи
при контакте со льдом

34

***II. Безопасность в чрезвычайных
ситуациях***

Агарков Ан.В.
Применение симплекс-решетчатого
метода при исследовании сорбционной
емкости сорбентов

40

**Долженков А.Ф., Князева Т.В.,
Мороз Т.О., Лопатина Е.В.**
Оценка эффективности защиты
спасателей

51

**Новиков А.О., Дрипан П.С.,
Старикова И.Г.**
Бесклеевой способ закрепления анкера
под действием статической нагрузки

59

TABLE OF CONTENTS***I. Fire and industrial safety***

**Ageyev V.G., Galukhin N.A.,
Boldyrev M.N., Yefimenko V.L.**
Dynamics of liquid motion in a nozzle
of an impulse fire-extinguishing device

Grekov S.P., Orlikova V.P.
Reaction surface of coal and spontaneous
fire hazard

Lebedeva V.V., Nepochatykh I.N.
Coating for fire protection of wooden
constructions

Bulgakov Yu.F., Podvigin K.A.
Mathematical model of heat exchange
processes between air stream and ice

II. Safety in emergencies

Agarkov An.V.
Application of the simplex-lattice method
in investigation of sorption capacity
of sorbents

**Dolzhenkov A.F., Knyazeva T.V.,
Moroz T.O., Lopatina Ye.V.**
Assessment of efficiency of the rescuers'
protection

**Novikov A.O., Dripan P.S.,
Starikova I.G.**
Dry method of anchor fastening
under the static load

**Хацько М.С., Никитюк Н.А.,
Дикенштейн И.Ф., Тохташ Н.А.**
Формирование профессиональных
качеств сотрудников газодымозащитной
службы МЧС ДНР в области
человеческого фактора

68

**Медгаус В.М., Папазова О.В.,
Попов Н.Н., Шлома В.В.**
Время хранения охлаждающих
элементов (ОЭ-2) при повышенной
температуре окружающей среды

77

**Khats'ko M.S., Nikityuk N.A.,
Dikenshteyn I.F., Tokhtash N.A.**
Formation of professional skills
of members of the MChS DPR gas-smoke
rescue service with regard to human factor

**Medgaus V.M., Papazova O.V.,
Popov N.N., Shloma V.V.**
Storage time of the ОЭ-2 cooling elements
in elevated temperature
of ambient environment

III. Охрана труда и экологическая безопасность

**Плетенецкий Р.С., Зборщик Л.А.,
Чапкович А.В., Францев В.И.**
Процессы тепломассообмена тепловой
камеры для испытания дыхательных
аппаратов

84

**Симонов А.М., Карнаух Н.В.,
Агарков Ал.В., Захлебн В.В.**
Контроль за выделением вредных газов
на земную поверхность

94

**Гуржий В.В., Березин А.А.,
Свердил Д.К.**
Признаки локального нагрева
в контактных соединениях
электроустановок

102

III. Labor protection and environmental safety

**Pletenetskiy R.S., Zborshchik L.A.,
Chapkovich A.V., Frantsev V.I.**
Heat and mass exchange processes
of a heat chamber for testing breathing
apparatuses

**Simonov A.M., Karnaukh N.V.,
Agarkov Al.V., Zakhlebin V.V.**
Monitoring of the emission of harmful
gases on the ground surface

Gurzhiy V.V., Berezin A.A., Sverdil D.K.
Marks of local heating in contact couplings
of electrical installations

І. Пожарная и промышленная безопасность

УДК [614.844.2:62-181.4]:[522.525.2:001.891.572]

Владимир Григорьевич Агеев, д-р техн. наук, директор; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Николай Александрович Галухин, ст. науч. сотр.; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;

Михаил Никитович Болдырев, зав. сектором; e-mail: mihnik68@mail.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,

пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-36

Виталий Леонидович Ефименко, ассистент; e-mail: lydaefim81@mail.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Академия гражданской защиты» МЧС ДНР

283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34а. Тел. (+38 062) 304-43-76

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В СТВОЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШАЩЕГО УСТРОЙСТВА

Цель. Разработка математической модели движения жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства и определение его основных параметров.

Методы. Аналитические методы с использованием уравнения Бернулли для неустановившегося потока, уравнения неразрывности потока и уравнений технической гидромеханики.

Результаты. Разработана математическая модель движения жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства. Получены закономерности изменения массового расхода, скорости жидкости в стволе и на срезе насадка, установлено время истечения жидкости.

Научная новизна. Получено нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее движение жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства, отличающееся тем, что сопротивление резинового насадка рассматривалось как сопротивление отверстия в тонкой стенке со скругленной входной кромкой.

Практическая значимость. Предложенная математическая модель позволяет упростить расчет основных параметров динамического процесса движения огнетушащей жидкости в стволе устройства; установить связи между конструктивными и режимными параметрами огнетушащего устройства. Полученные расчетным путем динамические характеристики: закон движения жидкости в стволе, скорость и ускорение жидкости, массовый расход жидкости, реактивная сила отдачи, время истечения жидкости, могут быть использованы для сравнительной оценки различных типов ранцевых пожаротушающих устройств.

Ключевые слова: *ранцевое устройство; динамика; математическая модель; основные параметры; ствол.*

Постановка проблемы. Ранцевые пожаротушающие устройства нашли широкое применение для тушения пожаров в начальной стадии возгорания, когда тепловая мощность еще не достигла стационарного значения. Именно в этот период эффективность тушения пожара максимальна, а вторичный материальный ущерб от самого тушения – минимален [1, 2]. Носимые ранцевые пожаротушающие устройства – высокомобильны, поскольку они не связаны с развертыванием тяжелой пожарной техники и могут быть включены в борьбу с огнем сразу после доставки к очагу возгорания. Однако высокая мобильность имеет недостаток – ограниченный запас пожаротушающей жидкости, содержащейся в носимом оператором пожаротушающем устройстве.

В связи с этим к ранцевым пожаротушающим устройствам предъявляются особые требования в отношении эффективности тушения пожаров при использовании минимального объема жидкости. Поэтому анализ динамических процессов движения жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства – актуальная задача, решение которой позволит повысить эффективность тушения пожара.

Анализ последних исследований. В работе [3] исследованы динамические процессы в стволе импульсного пожаротушающего устройства. Получено дифференциальное уравнение движения жидкости переменной массы. Недостаток его состоит в том, что не учтено влияние инерционных потерь давления при разгоне жидкости в стволе.

В исследованиях, приведенных в работе [4], рассмотрены закономерности импульсного истечения жидкости из ствола пожаротушающего устройства. В работе не обосновано применение уравнения адиабатического расширения газа одновременно для двух полостей, разобобщенных быстродействующим клапаном. Вызывает сомнение геометрическая форма насадка, так как насадок, выполненный из резины, не может иметь острую входную кромку при изгибе толстостенного резинового сектора.

В статье [5] рассмотрены тенденции развития импульсных огнегасящих систем для тушения пожаров тонкораспыленным водяным потоком. Рассчитана скорость выходного потока импульсных устройств типа IFEX. Показано, что энергетическая возможность ствола не обеспечивает фактическую скорость струи, заявленную производителем.

В работе [6] получена система дифференциальных уравнений движения жидкости в стволе импульсного устройства на основе уравнений адиабаты в дифференциальной форме для газовой и жидкостной полостей. Недостаток полученной математической модели – сложность решения, поскольку система состоит из шести дифференциальных уравнений.

Цель работы – разработка математической модели, описывающей динамические характеристики движения жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства, расчет основных параметров динамического процесса.

Материалы исследования. На рис. 1 представлен ствол импульсного пожаротушающего устройства, содержащий цилиндрический корпус 1, внутри которого последовательно расположены газовая полость 2, быстродействующий клапан 3, жидкостная полость 4.

Срез ствола имеет вид насадка 5. В исходном состоянии насадок 5 отсутствует, поскольку он образуется путем изгиба лепестков резины толщиной около 6 мм во время выстрела дискретным объемом воды. Под действием давления жидкости разрезная резиновая мембрана, закрывающая срез ствола, раскрывается в виде шести секторов, образуя насадок 5. Таким образом, резиновый насадок 5 имеет длину не более половины диаметра ствола, а его входные кромки скруглены (за счет изгиба резиновых секторов). Учитывая вышеизложенное, насадок 5

можно рассматривать как отверстие в тонкой стенке со скругленными входными кромками.

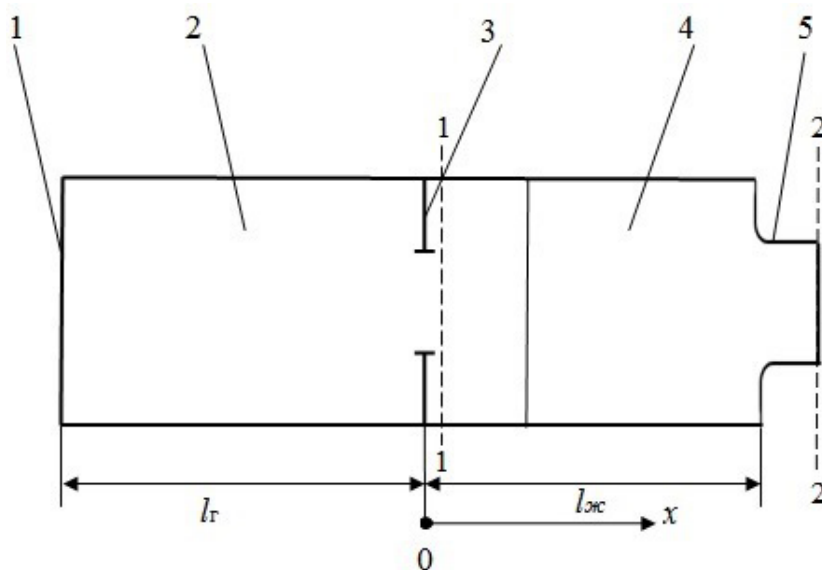


Рис. 1. Ствол импульсного пожаротушающего устройства:

1 – цилиндрический корпус; 2 – газовая полость; 3 – быстродействующий клапан;
4 – жидкостная полость; 5 – насадок

Запишем уравнение Бернулли для неустановившегося процесса в сечениях 1-1 и 2-2 в виде

$$p + \alpha_1 \frac{\rho v^2}{2} = p_a + \alpha_2 \frac{\rho v_c^2}{2} + \Delta p_{\text{и}} + \Delta p_{\text{ст}}, \quad (1)$$

где p – давление жидкости, Па;

α_1, α_2 – коэффициенты Кориолиса в сечениях потока 1-1 и 2-2 соответственно;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

v – скорость жидкости в стволе, м/с;

p_a – давление окружающей среды, Па;

v_c – скорость жидкости на срезе ствола, м/с;

$\Delta p_{\text{и}}$ – давление силы инерции жидкости, Па;

$\Delta p_{\text{ст}}$ – потери давления в насадке ствола, Па.

Поскольку расширение газа в полостях 1 и 4 происходит без потери давления на клапане 3 и без изменения массы газа (нет прорыва газа через насадок 5), то для адиабатического процесса расширения газа справедливо соотношение

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_{\text{г}}}{v_{\text{г}} + v_{\text{ж}}} \right)^k, \quad (2)$$

где p_0 – начальное давление газа в газовой полости, Па;

$v_{\text{г}}$ – объем газовой полости, м³;

$v_{\text{ж}}$ – объем газа в жидкостной полости, м³;
 k – показатель адиабаты для воздуха.

С учетом цилиндрической геометрии ствола

$$v_{\text{г}} = Al_{\text{г}}; v_{\text{ж}} = Ax, \quad (3)$$

где A – площадь сечения ствола, м²;
 $l_{\text{г}}$ – длина газовой полости, м;
 x – текущая координата границы газ – жидкость, м.

Подставляя (3) в (2), находим выражение для давления:

$$p = p_0 \left(\frac{l_{\text{г}}}{l_{\text{г}} + x} \right)^k. \quad (4)$$

Скорость жидкости в стволе равна

$$v = \frac{dx}{d\tau}. \quad (5)$$

Скорость струи жидкости на срезе ствола находим по формуле

$$v_{\text{с}} = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\Delta p_{\text{ст}}}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент скорости.

Потери давления в насадке ствола $\Delta p_{\text{ст}}$ найдем из уравнения неразрывности потока в насадке и в стволе.

Объемный расход жидкости через насадок Q , м³/с, вычисляем по формуле

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\Delta p_{\text{ст}}}, \quad (7)$$

где μ – коэффициент расхода;

S – проходная площадь насадка, м².

Объемный расход жидкости $Q_{\text{с}}$, м³/с, в цилиндрической части ствола равен

$$Q_{\text{с}} = Av = A \frac{dx}{d\tau}. \quad (8)$$

Приравнивая правые части уравнений (7) и (8), получаем уравнение

$$\mu S \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\Delta p_{\text{ст}}} = A \frac{dx}{d\tau}, \quad (9)$$

из которого находим

$$\sqrt{\Delta p_{\text{ст}}} = \frac{A}{\mu S} \sqrt{\frac{\rho}{2}} \frac{dx}{d\tau}. \quad (10)$$

Возводя обе части уравнения (9) в квадрат, получаем

$$\Delta p_{\text{ст}} = \frac{\rho A^2}{2\mu^2 S^2} \left(\frac{dx}{d\tau} \right)^2. \quad (11)$$

Подставляя (10) в (6), имеем

$$v_c = \frac{\varphi A}{\mu S} \frac{dx}{d\tau} = \frac{A}{\varepsilon S} \frac{dx}{d\tau}, \quad (12)$$

где ε – коэффициент сжатия струи.

Давление силы инерции жидкости определяем по формуле

$$\Delta p_{\text{и}} = \rho(l_{\text{ж}} - x) \frac{d^2 x}{d\tau^2}. \quad (13)$$

Найденные выражения (4), (5), (11) – (13) подставляем в уравнение (1). После приведения подобных и преобразований получаем дифференциальное уравнение

$$\rho(l_{\text{ж}} - x) \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \frac{\rho}{2} \left(\alpha_2 \frac{A^2}{\varepsilon^2 S^2} + \frac{A^2}{\mu^2 S^2} - \alpha_1 \right) \left(\frac{dx}{d\tau} \right)^2 - p_o \left(\frac{l_{\text{г}}}{l_{\text{г}} + x} \right)^k + p_a = 0. \quad (14)$$

В уравнении (14) перейдем к безразмерной относительной переменной $y = x / l_{\text{ж}}$. Тогда $x = l_{\text{ж}} y$; $\frac{dx}{d\tau} = l_{\text{ж}} \frac{dy}{d\tau}$; $\frac{d^2 x}{d\tau^2} = l_{\text{ж}} \frac{d^2 y}{d\tau^2}$. При этом $0 \leq y \leq 1$. Обозначим отношение площадей $S / A = a$, тогда с учетом введенных относительных величин уравнение движения жидкости, записанное относительно переменной y , принимает вид

$$\rho l_{\text{ж}}^2 (1 - y) \frac{d^2 y}{d\tau^2} + \frac{\rho}{2} \left(\frac{\alpha_2}{a^2 \varepsilon^2} + \frac{1}{a^2 \mu^2} - \alpha_1 \right) l_{\text{ж}}^2 \left(\frac{dy}{d\tau} \right)^2 - p_o \left(\frac{l_{\text{г}}}{l_{\text{г}} + l_{\text{ж}} y} \right)^k + p_a = 0.$$

Начальные условия для относительной переменной y : $y(0) = 0$; $y'(0) = 0$.

Компьютерная реализация предложенного дифференциального уравнения методом Рунге – Кутты четвертого порядка позволила получить следующие параметры: график зависимости относительной координаты положения от времени (см. рис. 2), скорость жидкости в стволе (см. рис. 3), ускорение жидкости в стволе (см. рис. 4), массовый расход жидкости (см. рис. 5), скорость жидкости на срезе насадка (см. рис. 6), реактивную силу истекающей струи (см. рис. 7), время импульса.

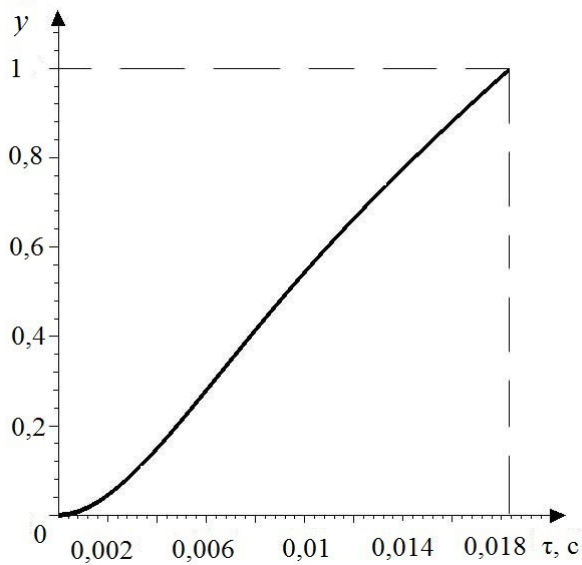


Рис. 2. Зависимость относительной координаты положения от времени

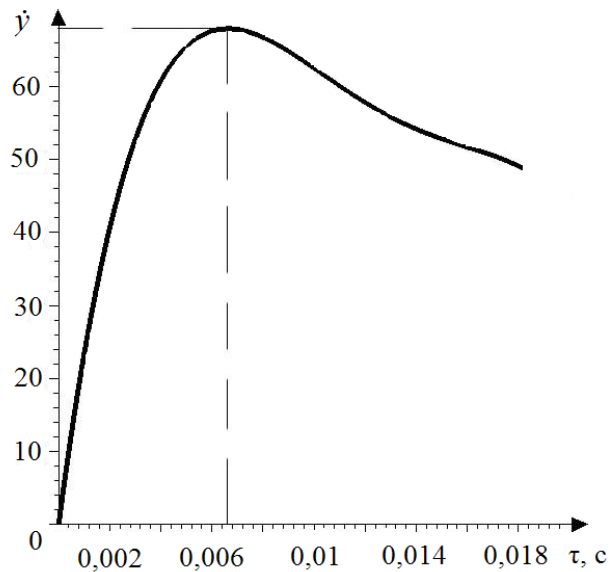


Рис. 3. Скорость жидкости в стволе

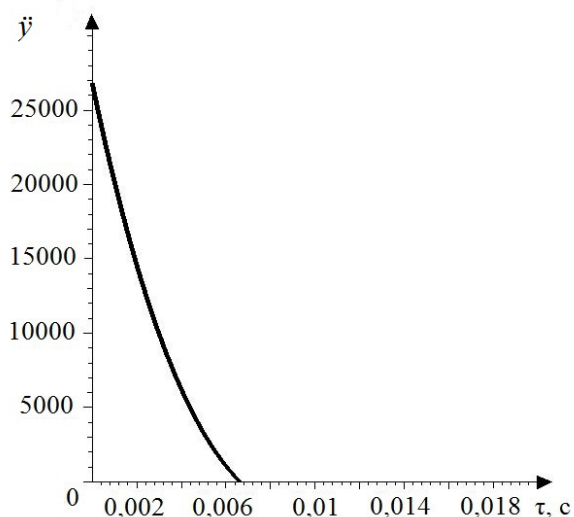


Рис. 4. Ускорение жидкости в стволе

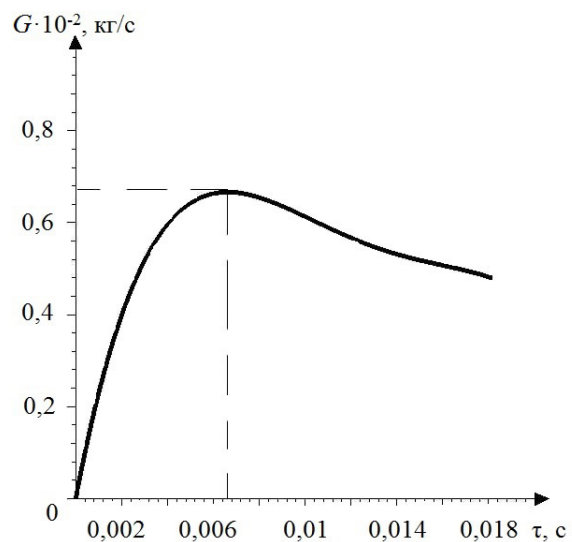


Рис. 5. Массовый расход жидкости

Оценку наибольшей скорости истечения жидкости из ствола можно получить на основании закона сохранения энергии, если предположить, что работа адиабатического расширения газа полностью преобразуется в кинетическую энергию истекающей струи жидкости. Работу адиабатического расширения газа от объема v_r до объема v_2 можно вычислить по формуле

$$E = \frac{p_o v_r}{k-1} \left[1 - \left(\frac{v_r}{v_2} \right)^{k-1} \right], \quad (15)$$

где E – работа расширения, Дж;

v_2 – суммарный объем газовой и жидкостной камер, м³.

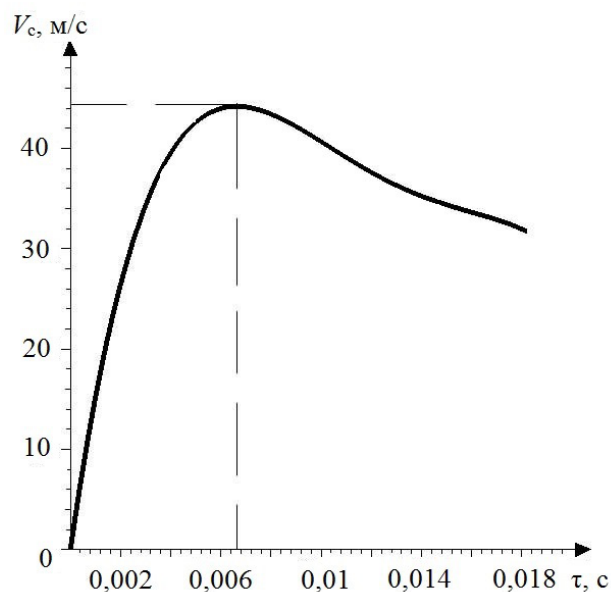


Рис. 6. Скорость жидкости на срезе насадка

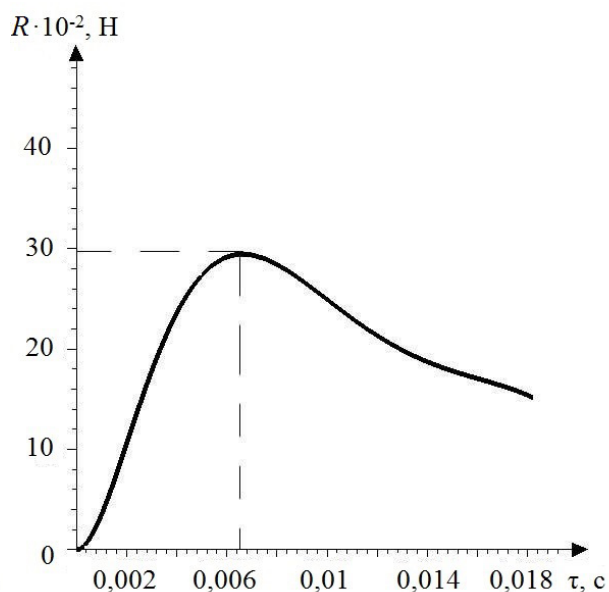


Рис. 7. Реактивная сила истекающей струи

Кинетическую энергию истекающей из насадка струи находим по формуле

$$K = \frac{mv_c^2}{2}, \quad (16)$$

где K – кинетическая энергия, Дж;

m – масса огнетушащей жидкости, кг.

Приравнявая уравнения (15) и (16), получаем уравнение

$$\frac{p_0 v_r}{k-1} \left[1 - \left(\frac{v_r}{v_2} \right)^{k-1} \right] = \frac{mv_c^2}{2},$$

из которого определяем максимальную скорость струи

$$v_c = \sqrt{\frac{2p_0 v_r}{m(k-1)} \left[1 - \left(\frac{v_r}{v_2} \right)^{k-1} \right]}.$$

Наибольшую скорость струи находим при следующих исходных данных: $p_0 = 2,6 \cdot 10^6$ Па, $m = 1$ кг, $v_r = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м³, $v_2 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ м³. Тогда $v_c = 53,7$ м/с. Полученное численное значение скорости струи – ее верхняя оценка, поскольку в уравнении энергетического баланса не учитывались потери энергии на преодоление гидравлического сопротивления насадка (идеальное преобразование энергии). Фактическая наибольшая скорость струи будет меньше 53,7 м/с. Рассчитанная по предложенной математической модели, фактическая скорость струи равна 45 м/с, что не противоречит уравнению энергетического баланса.

Выводы

- Разработана математическая модель движения жидкости в стволе импульсного пожаротушающего устройства в виде дифференциального уравнения второго порядка.
- В результате компьютерного решения уравнения методом Рунге – Кутты получены все основные динамические характеристики импульсного истечения жидкости из ствола пожаротушающего устройства.
- Проведены сравнения скоростей истечения жидкости из насадка ствола, полученные из предложенного дифференциального уравнения и из уравнения энергетического баланса, показана непротиворечивость расчетов.
- Разработанная математическая модель может быть использована при проектировании пожаротушающих устройств с заданными техническими параметрами.

Список литературы / References

1. Пахомов, Г.Б. Новейшая технология пожаротушения тонкораспыленной водой. Характеристики устройств и перспективы развития / Г.Б. Пахомов // Мир и безопасность. – 2008. – № 3. – С. 24 – 29.

Pakhomov G.B. *Noveishaya tekhnologiya pozharotusheniya tonkoraspylyonnoi vody* [The newest technology of the fire-extinguishing with water spray. Characteristics of devices and trends]. *Mir i bezopasnost' – World and safety*, 2008, no. 3, pp. 24 – 29. (In Russian).

2. Дауэнгауэр, С.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы / С.А. Дауэнгауэр // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 6. – С. 78 – 81.

Dauengauer S.A. *Pozharotushenie tonkoraspylyonnoi vody: mekhanizmy, osobennosti, perspektivy* [Fire extinguishing with water spray: mechanisms, specifics, prospects]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2004, no. 6, pp. 78 – 81. (In Russian).

3. Богомаз, А.М. Динамические процессы в стволе импульсного устройства пожаротушения / А.М. Богомаз, Г.И. Пефтибай, Н.А. Галухин // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 3(54). – С. 16 – 25.

Bogomaz A.M., Peftibay G.I., Galukhin N.A. *Dinamicheskie protsessy v stvole impul'snogo ustroistva pozharotusheniya* [Dynamic processes in a nozzle of an impulse fire-extinguishing device]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekh. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 3(54), pp. 16 – 25. (In Russian).

4. Дмитриченко, А.С. Характеристики импульсного истечения жидкости из ствола установки импульсного пожаротушения / А.С. Дмитриченко, А.Г. Иваницкий // Вестник Командно-инженерного ин-та МЧС Республики Беларусь. – 2005. – № 1. – С. 80 – 87.

Dmitrichenko A.S., Ivanitskiy A.G. *Kharakteristiki impul'snogo istecheniya zhidkosti iz stvola ustanovki impul'snogo pozharotusheniya* [Characteristics of the impulse liquid outflow out of a nozzle of an impulse fire-extinguishing installation]. *Vestnik komandno-inzhenerenogo in-ta MChS Respubliki Belarus' – Bulletin of the Command Control Engineering Institute of the Ministry of Emergency Situations (Belarus)*, 2005, no. 1, pp. 80 – 87. (In Russian).

5. Дубінін, Д.П. Тенденції розвитку імпульсних вогнегасних систем для гасіння пожеж дрібнорозпилим водяним струменем / Д.П. Дубінін, К.В. Коритченко, А.А. Лісняк, Є.М. Криворучко // Проблеми пожарной безопасности. – 2019. – Вып. 45. – С. 41 – 47.

Dubinin D.P., Korytchenko K.V., Lisniak A.A., Kryvoruchko Ye.M. *Tendentsii rozvytku impul'snykh vohnehasnykh system dlia hasinnia pozhhez dribnorozpylenym vodianym strumenem* [Trends of development of impulse fire-fighting systems for extinguishing the fires with water sprayed jet]. *Problemy pozharnoi bezopasnosti – Fire safety problems*, 2019, issue 45, pp. 41 – 47. (In Ukrainian).

6. Мамаев, В.В. Математическая модель динамических процессов импульсного устройства пожаротушения / В.В. Мамаев, Г.И. Пефтибай, Н.А. Галухин, В.Л. Ефименко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2020. – № 3(57). – С. 18 – 25.

Mamayev V.V., Peftibay G.I., Galukhin N.A., Yefimenko V.L. *Matematicheskaya model' dinamicheskikh protsessov impul'snogo ustroistva* [The mathematical model of dynamic processes of an impulse fire-extinguishing device]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2020, no. 3(57), pp. 18 – 25. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Грековым
Дата поступления рукописи 01.12.2020

Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;
Nikolay Aleksandrovich Galukhin, senior scientific associate; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;
Mikhail Nikitovich Boldyrev, head of section; e-mail: mihnik68@mail.ru

*The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,
Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR*

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-36

Vitaly Leonidovich Yefimenko, lecturer; e-mail: lydaefim81@mail.ru

The State Educational Institution of Higher Professional Education

*“The Civil Defence Academy” of the Ministry for Civil Defence, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters of Donetsk People’s Republic*

283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rozy Luxemburg. Phone: (+38 062)304-43-76

DYNAMICS OF LIQUID MOTION IN A NOZZLE OF AN IMPULSE FIRE-EXTINGUISHING DEVICE

Purpose. Development of a mathematical model of liquid motion in a fire-extinguishing device nozzle and determination of its basic parameters.

Methods. The analytical methods with application of the Bernoulli equation for unsteady-state flow, the flow continuity equation and the fluid dynamics equations.

Results. The mathematical model of the liquid motion in the fire-extinguishing device nozzle has been developed. The regularities of mass rate variations, fluid velocity in the nozzle and on the nosepiece cut have been obtained, the fluid release time has been established.

Scientific novelty. The non-linear differential equation of second order has been obtained which describes the fluid motion in the fire-extinguishing device nozzle and that differs by considering the rubber nosepiece resistance to be the resistance of an orifice in a thin wall with a rounded intake lip.

Practical value. The proposed mathematical model makes it possible to simplify the calculation of the basic parameters of the dynamic process of the fire-extinguishing liquid motion in the device nozzle; to establish the relations between the design and operating conditions of the fire-extinguishing device. The derived dynamic characteristics, i.e. the law of liquid motion in the nozzle, liquid velocity and acceleration, mass rate of flow, reactive recoil force, liquid release time may be used for comparative assessment of different types of backpack fire-extinguishing devices.

Keywords: *backpack device; dynamics; mathematical model; main parameters; nozzle.*

УДК 622.822.22:001.891.572*Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.; e-mail: niigd@mail.ru;**Виктория Петровна Орликова, ст. науч. сотр.; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com**Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР**283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-81*

РЕАКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ УГЛЯ И ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ

Цель. Исследование процесса низкотемпературного окисления углей различной степени метаморфизма путем расчета динамики скорости образования поверхностного комплекса и доли реакционной поверхности, участвующей в этом процессе и влияющей на эндогенную пожароопасность.

Методы. Математическое моделирование динамики температуры угля различной степени метаморфизма при постоянных и переменных параметрах окисления и исследование влияния этих параметров на развитие самонагрева угольного скопления.

Результаты. Предложено аналитическое выражение для расчета комплексного критерия пожароопасности угольного скопления в горной выработке, который учитывает теплообменные процессы и физико-химические свойства угля. Используя данные аварийности угольных шахт, показана связь найденного критерия с числом происшедших эндогенных пожаров.

Научная новизна. Установлены зависимости комплексного критерия пожароопасности углей от выхода летучих веществ угля и критической температуры самовозгорания.

Практическая значимость. Полученные зависимости для определения комплексного критерия пожароопасности могут быть использованы для расчета вероятности возникновения эндогенного пожара.

Ключевые слова: *низкотемпературное окисление; реакционная поверхность; скорость реакции; скопление угля; эндогенный пожар.*

Состояние вопроса и постановка задачи исследования. Под эндогенной пожароопасностью угля понимают возможность его самовозгорания, определяемого комплексом природных и горно-геологических факторов, которые способствуют образованию разрыхленных скоплений и притоку к ним необходимого количества воздуха.

В НИИГД «Респиратор» изучен мировой опыт определения эндогенной пожароопасности выемочных полей и выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований составляющих ее факторов. Это позволило разработать метод комплексной количественной оценки эндогенной пожароопасности, который базируется на установлении склонности угля к самовозгоранию и учитывает геологические условия залегания пласта и его эксплуатацию [1].

Определение склонности угля к самовозгоранию основано на данных геолого-маркшейдерской документации, к которым относятся объемная доля серы, зольность, выход летучих веществ, и лабораторных исследований химической активности по отношению к кислороду [2]. Вследствие

самопроизвольного низкотемпературного окисления угля кислородом воздуха выделяется количество теплоты, которое пропорционально его химической активности и является источником очага самонагревания.

Окисление угля – гетерогенный процесс, протекающий на границе раздела твердой и газовой фазы, который состоит из внешнего переноса кислорода к сорбирующим объемам скопления, внутридиффузионного переноса окислителя к реагирующей поверхности угольных пор, физико-химического взаимодействия и теплопередачи [3].

Одни из первых исследований, в которых окисление угля при изменении температуры связывали с его пористой структурой, были проведены В.С. Веселовским, А.А. Скочинским, В.М. Маевской и др. Математическое описание процесса окисления угля для интервала температуры 30...115 °С и исследование скорости окисления выполнены авторами J.M. Kuchta, W. Peters, H. Jüntgen, R. Müller, T. Maffei, E. Ranzi, I.W. Smith и др., пришедшими к выводу, что она остается практически постоянной на поверхности микро- и макропор.

Исследование зависимости поглощения кислорода от температуры и размеров частиц для широкого интервала времени описано в работе L. Lenart и O. Abel, а впоследствии авторами А.У. Кам и А.У. Karsner развиты две модели на основе предположений, что скорость поглощения кислорода определяется его транспортировкой в системе пор и находится под кинетическим контролем.

При изучении химической активности углей принято считать, что реакционная поверхность всех его частиц постоянна и не претерпевает каких-либо изменений. Однако при гетерогенных процессах в результате адсорбции кислорода происходят следующие явления: образование поверхностных соединений, внутреннее реагирование при проникновении окислителя в глубь частиц угля и испарение влаги, что приводит к непрерывному изменению реакционной поверхности.

В работе [4] представлено математическое решение для определения концентрации поглощенного углем кислорода, которая соответствует доле поверхности угля, вступившей в реакцию окисления, с учетом выделения метана. Для расчета концентрации поглощенного углем кислорода использованы результаты экспериментального исследования химической активности углей различных марок и газоносности, которые позволили определить среднее значение доли реакционной поверхности угля за инкубационный период их самовозгорания.

Предложено выражение для расчета скорости образования поверхностного комплекса в процессе сорбции кислорода с учетом динамики параметров, обуславливающих теплообменные процессы, и размеров скопления угля [5]. Для обобщения полученных результатов и их практического применения необходимо дальнейшее исследование реакционной поверхности углей различных марок.

Цель работы. Исследование процесса низкотемпературного окисления углей различной степени метаморфизма путем расчета динамики скорости

образования поверхностного комплекса и доли реакционной поверхности, участвующей в этом процессе и влияющей на эндогенную пожароопасность.

Материалы и результаты исследований. Для описания начальной стадии самовозгорания угля в работе [5] предложено квазистационарное решение математической модели, учитывающей не только генерацию и сток теплоты, но и влияние дросселирования метана и испарения влаги в виде

$$T = T_0 + \frac{QS/\Pi}{\alpha}, \quad (1)$$

где T_0 – начальная температура угля, К;

Q – удельное количество генерируемой теплоты, Дж/(м³·с);

S – площадь поперечного сечения, м²;

Π – периметр скопления угля, м;

α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К).

Удельное количество образующейся теплоты зависит от скорости ее выделения v_q , Дж/(с·моль) [6], концентрации адсорбированного углем кислорода C_{O_2} , моль/м³, и части поверхности ξ , доступной для реакции окисления и зависящей от констант скорости выделения метана μ , с⁻¹, и скорости образования поверхностного комплекса ν , с⁻¹ [7, 8].

Исследование влияния температуры и времени от начала окисления угля на коэффициент теплообмена позволило установить выражение для его определения с учетом размера скопления и пожароопасной скорости фильтрации воздуха в горной выработке [8].

Для анализа температуры пожароопасных угольных скоплений в шахтах по формуле (1) и влияния на нее различных параметров, изменяющихся в процессе окисления, воспользуемся полученными ранее усредненными данными для расчета Q . Считаем, что активный процесс окисления угля в шахте начинается после отделения его от массива и выделения значительной части метана, что в среднем составляет 3 сут [9]. Примем в качестве пожароопасного скопление угля с минимальными размерами 0,19 x 0,19 м, поэтому отношение $S/\Pi = 0,0475$ м, а значение коэффициента теплообмена α после истечения метана составляет 0,393 Вт/(м²·К). Значение скорости выделения теплоты, образующейся при окислении угля, рассчитаем, используя данные работы [6]. Выражение (1) преобразуем и представим в виде

$$T = T_0 \left(1 + \frac{QS/\Pi}{\alpha} \right) = T_0(1 + P), \quad (2)$$

обозначив второе слагаемое в скобках комплексным критерием пожароопасности скопления угля P . Используя средние значения параметров окисления, приведенные выше, выражение для комплексного критерия пожароопасности запишем в виде

$$P = \frac{\xi C_{O_2} v_q S / \Pi}{\alpha T_0} = 2,24 \cdot 10^{-5} v_q, \quad (3)$$

где ξ – часть реакционной поверхности угля;

C_{O_2} – концентрация кислорода, адсорбированного углем, моль/м³;

v_q – скорость выделения теплоты, Дж/(с·моль).

Рассчитанные значения комплексного критерия пожароопасности углей P различной стадии метаморфизма сопоставлены с количеством зарегистрированных эндогенных пожаров (см. табл. 1).

Таблица 1

Количество эндогенных пожаров
и расчет комплексного критерия пожароопасности

Шахта, пласт	Выход летучих веществ V_{daf} , %	Доля реакционной поверхности угля ξ	Константа скорости окисления $k \cdot 10^2$, с ⁻¹	Скорость выделения теплоты v_q , Дж/(с·моль)	Критическая температура самовозгорания $T_{кр}$, К	Комплексный критерий пожароопасности $P \cdot 10^2$	Количество эндогенных пожаров N_p
Им. В.И. Ленина, l_3	29	0,0063	0,159	3080	357	5,00	8
Им. Ю.А. Гагарина, m_7	25	0,0067	0,120	2860	370	4,91	1
«Комсомолец», l_3	30	0,0062	0,307	3133	367	4,98	10
Им. М.И. Калинина, l_3	20	0,0068	0,064	2558	364	4,48	4
Им. К.А. Румянцева, k_7	18	0,0068	0,093	2427	367	4,22	1
«Александр-Запад», l_1	10	0,0060	0,198	1809	372	2,79	15
«Торецкая», l_4	32	0,0059	0,092	3236	350	4,89	1
Им. С. Тюленина, k_2^H	19	0,0068	0,238	2493	358	4,35	–
«Победа», l_3'	32	0,0057	0,294	3286	356	4,89	–
Им. XXV съезда КПСС, k_2^2	26	0,0066	0,247	2917	350	4,95	2
Им. Ильича, l_2'	20	0,0068	0,073	2558	366	4,48	1
«Вергелевская», l_4	9	0,0059	0,207	1716	373	2,57	1
Им. М.В. Чеснокова, l_8	30	0,0062	0,173	3133	358	4,98	3
«Панфиловская», m_3	42	0,0035	0,144	3707	352	3,36	-
«Бутовка-Донецкая», n_1	38	0,0047	0,126	3526	355	4,21	2
Им. А.Ф. Засядько, m_3	36	0,0051	0,227	3432	345	4,51	3
«Красногвардейская», l_1	32	0,0057	0,224	3536	359	4,89	13
«Горняк», l_7	38	0,0047	0,183	3526	455	4,21	14
«Кураховка», k_8	41	0,0038	0,100	3663	354	3,61	7
Им. Г.Г. Капустина, m_3	34	0,0056	0,188	3335	348	4,74	29

Окончание табл. 1

Шахта, пласт	Выход летучих веществ V_{def} , %	Доля реакционной поверхности угля ξ	Константа скорости окисления $k \cdot 10^2$, с ⁻¹	Скорость выделения теплоты v_q , Дж/(с·моль)	Критическая температура самовозгорания $T_{кр}$, К	Комплексный критерий пожароопасности $P \cdot 10^2$	Количество эндогенных пожаров N_p
«Новодружеская», k_8^H	42	0,0035	0,133	3711	352	3,34	15
«Матросская», m_3^B	41	0,0038	0,293	3663	352	3,61	–
«Кременная», k_8^H	38	0,0047	0,169	3526	351	4,21	8
«Никанор», l_4	9	0,0059	0,263	1716	368	2,57	2
Им. Артема, l_2	13	0,0064	0,345	2062	362	3,39	17
«Углегорская», k_7	7	0,0055	0,248	1513	382	2,13	1
«Булавинская», l_1	8	0,0057	0,189	1618	368	2,35	16
Им. К. Маркса, k_4^H	14	0,0065	0,183	2140	372	3,57	5
«Юнком», k_8	10	0,0060	0,300	1809	366	2,79	1
«Коммунист», g_8	5	0,0051	0,500	1279	393	1,66	1
Им. XVII съезда КПСС, k_2^2	8	0,0057	0,439	1618	386	2,35	–
«Изваринская», k_2^H	24	0,0068	0,242	2802	362	4,85	–
«Западная», i_3	25	0,0067	0,350	2860	363	4,91	–
«Донецкая», k_5^H	28	0,0065	0,357	3027	361	5,00	–
«Центральная», k_3^B	34	0,0068	0,217	2802	362	4,85	–
«Краснодонская», m_8	4	0,0048	0,348	1144	395	1,42	–

Сгруппировав по периодам рассчитанные значения комплексного критерия пожароопасности и количество произошедших эндогенных пожаров, установили зависимость, представленную на рис. 1 и показывающую связь этих параметров.

Как следует из представленных данных, с увеличением значения комплексного критерия пожароопасности, характеризующего процесс окисления угля с определенными физико-химическими свойствами, прослеживается рост числа пожаров, который можно описать корреляционной зависимостью

$$N = -5,21 \cdot 10^4 P^2 + 5,03 \cdot 10^3 P - 64,05. \quad (4)$$

Один из факторов пожароопасности угля – доля его реакционной поверхности, на которой протекает реакция окисления с выделением теплоты; следовательно, она влияет на скорость тепловыделения и изменяется со временем протекания окислительного процесса.

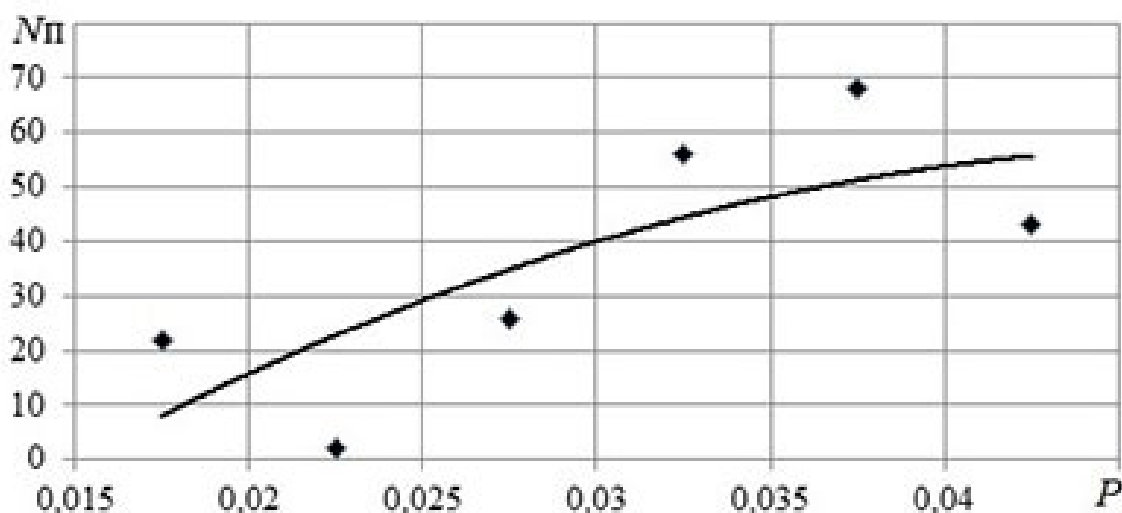


Рис. 1. Функциональная связь количества эндогенных пожаров и значения комплексного критерия пожароопасности

Средние значения параметра ξ , полученные исходя из расчетного времени достижения углем критической температуры самовозгорания, составляют от 0,003 до 0,007. Текущие значения $\xi = \xi(\tau)$ рассчитывают по приведенной в работе [4] формуле

$$\xi = 1 - \exp(-v\tau) + \frac{v}{\mu - v} [\exp(-\mu\tau) - \exp(-v\tau)], \quad (5)$$

где v – константа скорости образования поверхностного комплекса, с^{-1} ;

τ – время с момента разрушения угольного пласта, с ;

μ – константа скорости выделения метана, с^{-1} .

Используя данные табл. 1, установлены зависимости предложенного комплексного критерия пожароопасности от классификационных параметров угля – выхода летучих веществ и критической температуры его самовозгорания (см. рис. 2).

Из анализа представленных данных следует, что, зная выход летучих веществ угля, можно предположить степень его пожароопасности. Однако лабораторные исследования химической активности угля, в результате которых определяют критическую температуру его самовозгорания, позволяют уточнить значение комплексного критерия пожароопасности. Зависимость P от $T_{\text{кр}}$ подтверждает известный факт снижения пожароопасности угля с ростом критической температуры его самовозгорания.

Для пяти шахт с физико-химическими свойствами угля, приведенными в табл. 1, по формуле (4) установлено изменение значений P и температуры скопления в процессе его окисления, начиная от 3 сут, когда произошло выделение значительной части метана, и до 40 сут (см. табл. 2).

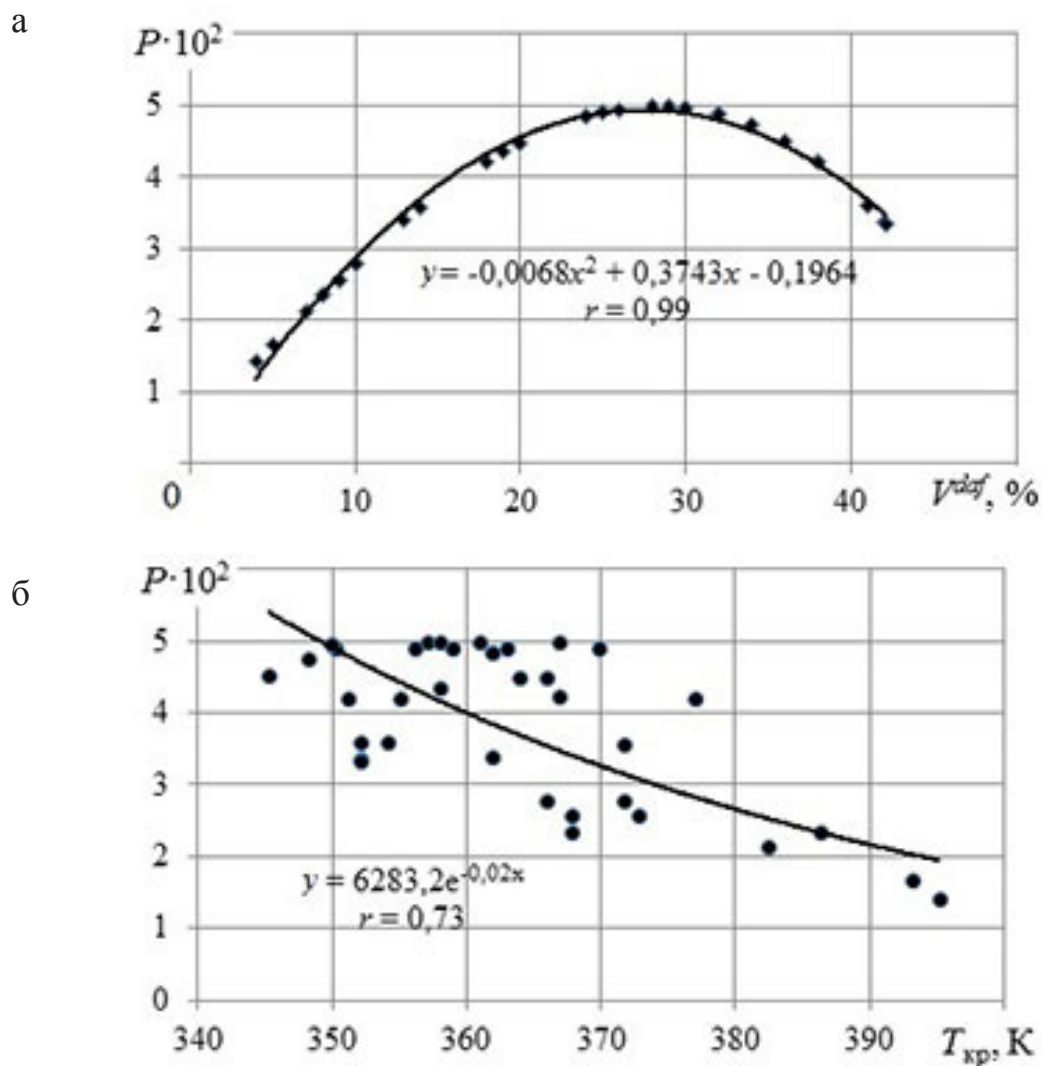


Рис. 2. Зависимость комплексного критерия пожароопасности от выхода летучих веществ (а) и критической температуры самовозгорания (б)

Таблица 2

Динамика параметров пожароопасности угля

Шахта, пласт	Значения комплексного критерия пожароопасности и температуры угля ($P \cdot 10^2 / T, K$) при различном значении времени τ , сут				
	3	10	20	30	40
«Комсомолец», I_3	3,14/307	7,81/321	11,98/334	14,56/341	15,62/345
Им. М.И. Калинина, I_5	2,61/306	6,49/317	9,95/328	12,09/334	12,98/337
Им. К.А. Румянцева, k_7	2,77/306	6,89/318	10,57/329	12,85/336	13,78/339
«Новодружеская», k_8^H	1,46/302	3,65/309	5,64/315	6,89/318	7,42/320
«Углегорская», k_7'	2,19/304	5,57/315	8,76/324	10,90/330	11,84/333

Полученные данные иллюстрируют повышение температуры скопления угля различной степени метаморфизма по мере его окисления, что приводит к увеличению значения пожароопасности.

Выводы. Предложен комплексный критерий пожароопасности угольного скопления в шахте, характеризующий химическую активность угля и зависящий от размера скопления и условий теплоотдачи в окружающую среду. Показана функциональная связь предложенного критерия с количеством эндогенных пожаров, происшедших на шахтах Донбасса. В дальнейшем целесообразно продолжить исследования, обратив особое внимание на соотношение концентраций кислорода в твердой и газовой фазах, а также учесть влияние скорости подвигания очистного забоя в горной выработке на окислительные процессы угля.

Список литературы / References

1. Пашковский, П.С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П.С. Пашковский. – Донецк: Ноулидж (Донецкое отделение), 2013. – 792 с.

Pashkovskiy P.S. *Endogennye pozhary v ugol'nykh shakhtakh* [Spontaneous fires in coal mines]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2013, 792 p. (In Russian).

2. Пашковский, П.С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко. – Донецк: Арпи, 2012. – 656 с.

Pashkovskiy P.S., Grekov S.P., Zinchenko I.N. *Aktual'nye voprosy bor'by s samovozgoraniem uglya* [Actual questions of fighting the spontaneous combustion of coal]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 656 p. (In Russian).

3. Захаров, Е.И. Оценка опасности самовозгорания угля на ранней стадии процесса низкотемпературного окисления / Е.И. Захаров, Д.Д. Малахова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – Тула: ТулГУ, 2015. – С. 22 – 30 [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23050511_24924600.pdf (дата обращения: 03.08.2020).

Zakharov Ye.I., Malakhova D.D. *Otsenka opasnosti samovozgoraniya uglya na rannei stadii protsessa nizkotemperaturnogo okisleniya* [Estimation of coal spontaneous combustion hazard at the early stage of the low-temperature oxidation process]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle – Proceedings of the Tula State University. Earth sciences*, 2015, issue 1, pp. 22 – 30 (In Russian). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_23050511_24924600.pdf (accessed 03.08.2020).

4. Греков, С.П. Реакционная активность углей / С.П. Греков, В.П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 78 – 90.

Grekov S.P., Orlikova V.P. *Reaktsionnaya aktivnost' uglei* [Coal reaction activity]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": sb. nauch. tr.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": collection of scientific works]. Donetsk, 2015, issue 52, pp. 78 – 90. (In Russian).

5. Агеев, В.Г. Расчет параметров реакционной поверхности угля / В.Г. Агеев, С.П. Греков, Г.А. Гусар // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2020. – Вып. 4(57). – С. 7 – 16.

Ageyev V.G., Grekov S.P., Gusar G.A. *Raschyot parametrov reaktsionnoi poverkhnosti uglya* [Calculation of parameters of the coal reaction surface]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2020, no. 4(57), pp. 7 – 16. (In Russian).

6. Греков, С.П. Тепловой эффект окисления углей и эндогенная пожароопасность / С.П. Греков, П.С. Пашковский, В.П. Орликова // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 46 – 50.

Grekov S.P., Pashkovskiy P.S., Orlikova V.P. *Teplovoi effekt okisleniya uglei i endogennaya pozharoopasnost'* [Thermal effect of coal oxidation and spontaneous fire hazard]. *Ugol' Ukrainy – Coal of Ukraine*, 2014, no. 10, pp. 46 – 50. (In Russian).

7. Греков, С.П. Экспериментально-аналитическое определение коэффициентов диффузии в углях по темпу истечения метана / С.П. Греков, А.А. Всякий // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2020. – № 1(57). – С. 25 – 32.

Grekov S.P., Vsyakiy A.A. *Eksperimental'no-analiticheskoe opredelenie koeffitsientov diffuzii v uglyakh po tempu istecheniya metana* [Experimental and analytical determination of diffusion coefficients in the coal by the methane release rate]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2020, no. 1(57), pp. 25 – 32. (In Russian).

8. Греков, С.П. Влияние истечения метана из угля на снижение его температуры / С.П. Греков, П.С. Пашковский, А.А. Всякий, И.Г. Старикова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 3(56). – С. 28 – 36.

Grekov S.P., Pashkovskiy P.S., Vsyakiy A.A., Starikova I.G. *Vliyanie istecheniya metana iz uglya na snizhenie ego temperatury* [Influence of methane release from coal on its temperature reduction]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, no. 3(56), pp. 28 – 36. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 17.09.2020

*Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), senior research scientist; e-mail: niigd@mail.ru;
Viktoria Petrovna Orlikova, senior scientific associate; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com
The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,
Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-81*

REACTION SURFACE OF COAL AND SPONTANEOUS FIRE HAZARD

Purpose. Investigation of the low-temperature oxidation process of coal of the different metamorphic grade by calculating the dynamics of the surface complex formation rate and the share of the reaction surface participating in this process and affecting the spontaneous fire hazard.

Methods. Mathematical modeling of the temperature dynamics of coal of the different metamorphic grade with constant and variable parameters of the oxidation and investigation how these parameters affect the development of the spontaneous heating of a coal accumulation.

Results. The analytical expression has been proposed for calculating the complex fire hazard criterion of the coal accumulation in a mine working that takes into account the heat exchange processes and physical and chemical properties of coal. Using accident rate data of the coal mines the relation between the established criterion and the number of occurred spontaneous fires has been shown.

Scientific novelty. The dependences of the complex fire hazard criterion of coal on the yield of coal volatile substances and the critical temperature of spontaneous combustion have been established.

Practical value. The obtained dependences for determination of the complex fire hazard criterion may be applied for calculation of probability of the spontaneous fire occurrence.

Keywords: *low-temperature oxidation; reaction surface; reaction rate; coal accumulation; spontaneous fire.*

УДК 699.812.3

Виктория Валентиновна Лебедева, ст. науч. сотр.; e-mail: lebedenish@mail.ru;

Игорь Николаевич Непочатых, науч. сотр.; e-mail: tamdoka@mail.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-55

ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель. Разработка огнезащитного вспучивающегося покрытия на основе минерального связующего для деревянных строительных конструкций.

Методы. Определение коэффициента вспучивания с помощью метода измерения и соотношения толщины покрытия до и после теплового воздействия. Стандартный метод определения группы огнезащитной эффективности древесины (ГОСТ 16363-98), который заключается в измерении процента потери массы исследуемых образцов после двухминутного огневого воздействия на них в керамической трубе (установка ОТМ).

Результаты. Разработан рецептурный состав вспучивающегося покрытия для огнезащиты деревянных строительных конструкций, рассмотрены функции основных составляющих покрытия. Из обширной группы органических и минеральных связующих выбрано наиболее дешевое и доступное – жидкое натриевое стекло. Определены группа огнезащитной эффективности и коэффициент вспучивания разработанного огнезащитного покрытия. Среднее арифметическое значение потери массы 10 образцов составило 2 % при толщине слоя огнезащитного покрытия не более 1 мм. Согласно ГОСТ 16363-98 разработанное огнезащитное покрытие обеспечивает I группу огнезащитной эффективности для древесины, поскольку потеря массы защищенной древесины в условиях испытания не более 9 %. Установлено, что древесина, защищенная разработанным покрытием, относится к трудногорючим материалам.

Научная новизна. Подобрано оптимальное массовое соотношение минерального связующего, инертных добавок в огнезащитном покрытии, вспучивающемся при термическом воздействии и обладающем способностью образовывать на защищаемой поверхности твердый прочный кокс при температуре не менее 250 °С.

Практическая значимость. Разработанное огнезащитное покрытие позволяет перевести древесину – горючий материал в категорию трудногорючих веществ и тем самым повысить огнезащитную эффективность деревянных строительных конструкций. Повышение огнезащитной эффективности деревянных конструкций снизит риск быстрого обрушения здания и вытекающих из этого последствий. Компоненты разработанного покрытия нетоксичны, что допускает возможность использовать конструкции с огнезащитными покрытиями в жилых помещениях.

Ключевые слова: вспучивающееся покрытие; древесина; жидкое натриевое стекло; коэффициент вспучивания; огнезащита; пенококс.

Постановка проблемы. Деревянные конструкции широко используют в жилищно-гражданском и сельскохозяйственном строительстве, для транспортных нужд и т.д. Это объясняется доступностью, экологичностью, небольшой плотностью, малой теплопроводностью и простой технологией обработки материала. Однако деревянные конструкции и ограждающие сооружения нуждаются в биологической и огнезащите. Для снижения горючести и сокращения негативных биологических факторов разработан ряд способов, среди которых наиболее эффективный – нанесение на поверхность деревянных

конструкций специальных покрытий. Био- и огнезащитные покрытия должны переводить древесину в категорию трудногорючих материалов, защищать ее от гниения, образования микроорганизмов, бактерий, плесени, а также обладать высокой адгезией к поверхности конструкции, легко наноситься на защищаемую поверхность, не иметь внешних дефектов, не выделять токсичных продуктов и дыма при воздействии высоких температур. Поэтому комплексная огне- и биологическая защита деревянных строительных конструкций – актуальная проблема.

Анализ последних исследований. Анализ данных [1 – 4] позволил определить набор исходных компонентов для создания огнезащитного покрытия с заданными свойствами. Однако исходные компоненты большинства огнезащитных покрытий отличаются высокой стоимостью, дефицитностью и токсичностью [5]. В связи с этим разработка рецептур экологически безопасных и рентабельных огнезащитных покрытий для деревянных конструкций – перспективное направление исследований.

Цель работы – разработка огнезащитного вспучивающегося покрытия на основе минерального связующего для деревянных строительных конструкций.

Изложение основного материала. Состав огнезащитных покрытий соответствует общим принципам построения рецептур лакокрасочных материалов: связующее, наполнители, пигменты, реологические ингредиенты, отвердители, если покрытие отверждаемого типа. Правильный качественный и оптимальный количественный подбор компонентов, их индивидуальные свойства и обеспечение совместимости оказывают существенное влияние на общие свойства огнезащитных вспучивающихся покрытий.

Из обширной группы минеральных и органических связующих к наиболее доступным и дешевым можно отнести жидкое натриевое стекло, представляющее собой водный раствор щелочного силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Твердение жидкого стекла связано с образованием гидросиликатов кремнезема $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, которые обладают цементирующими свойствами.

Защитный механизм действия покрытий вспучивающегося типа заключается в образовании изолирующего слоя материала за счет выделения негорючих газов при воздействии огня. Для образования изолирующего вспученного слоя в состав покрытий вводили тетраборат натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, при термическом разложении которого выделяются пары воды и газ B_2O_3 . Кроме того, тетраборат натрия (бура) в составе огнезащитного покрытия дополнительно выполняет функции антипирена и дезинфицирующего средства (антисептика), препятствуя процессам гниения и биологическому разложению древесины.

Повышения водостойкости силикатного покрытия при сохранении его прочностных характеристик достигали путем введения в состав покрытия ацетата натрия в виде водного раствора. Ацетат натрия, представляющий собой водорастворимую натриевую соль уксусной кислоты, образованную основанием и слабой кислотой, влияет на процессы структурообразования и оказывает полифункциональное воздействие на свойства покрытия.

Добавка водного раствора ацетата натрия инициирует процесс отверждения за счет выделения геля кремневой кислоты с образованием в конечной стадии труднорастворимого диоксида кремния. Кроме того, ацетат натрия выступает в качестве модификатора и при химическом взаимодействии с жидким натриевым стеклом образует труднорастворимые в воде соединения, обеспечивая формирование нерастворимого в воде силикатного покрытия.

При этом уксусная кислота, содержащаяся в данном химическом соединении, являясь слабой кислотой, при взаимодействии с жидким стеклом в меньшей степени вызывает спонтанную коагуляцию. Это позволяет достигнуть необходимой концентрации катионов натрия в композиции при сохранении однородности смеси, обеспечивая тем самым образование комплексных соединений, повышающих водостойкость силикатного покрытия, и сохранение его прочностных характеристик.

Наносимые композиции состояли из 65...80 масс. % связующего (жидкое натриевое стекло) и 20...35 масс. % смеси функциональных добавок: газообразователя, термостойкого волокнистого антипирена-наполнителя, пигмента, обеспечивающего светлый тон покрытия, стабилизатора и отвердителя.

Порошкообразные добавки предварительно подвергали помолу. Смешивание сухих компонентов композиции осуществляли в фарфоровой ступке в течение 20 мин. Диспергирование компонентов в жидком натриевом стекле производили в стеклянной посуде вручную. Готовую композицию наносили металлическим шпателем слоем толщиной 0,8...1 мм на стальные пластины размером 2х80х120 мм и деревянные бруски размером 30х60х150 мм, определяя расход Q материала. После сушки в естественных условиях и испарения воды определяли толщину покрытия h_0 .

Огнезащитные свойства разработанного покрытия оценивали по группе огнезащитной эффективности. Группу огнезащитной эффективности для древесины с нанесенным покрытием определяли с использованием стандартного метода огневой трубы, который основан на принципе установления горючести твердых веществ (ГОСТ 16363-76) по потере массы в процентах от массы исходного образца Δm , подвергнутого воздействию открытого пламени газовой горелки.

Потерю массы Δm в процентах рассчитывали по формуле

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 — масса образца до испытания, г;

m_2 — масса образца после испытания, г.

При потере массы Δm менее 9 % образцу с покрытием присваивали I (высшую) группу огнезащитной эффективности. Убыль массы образца более 9 % считали отрицательным результатом.

В лабораторных условиях для оценки горючести огнезащитных покрытий образцы подвергали воздействию открытого пламени газовой горелки. Для

этого образец древесины с нанесенным покрытием выдерживали в пламени газовой горелки в течение 2 мин при высоте пламени 23...25 см. Во время испытания за образцом проводили визуальное наблюдение и осмотр; после извлечения из пламени газовой горелки при этом фиксировали:

- а) изменение цвета, скапывание, усадку, коробление, тление;
- б) появление признаков воспламенения;
- в) самостоятельное горение (тление) после отключения газовой горелки;
- г) наличие дыма и горючих газов;
- д) качество вспучивания и образовавшегося вспененного слоя (кокса).

Метод представляет собой экспрессный метод оценки горючести огнезащитных материалов для древесины и материалов на ее основе.

Коэффициент вспучивания $K_{всп}$ определяли как отношение высоты слоя вспененного кокса к толщине слоя покрытия до испытания на металлических пластинах по формуле

$$K_{всп} = h_k / h_0, \quad (2)$$

где h_k — высота слоя вспененного кокса, мм;

h_0 — толщина слоя покрытия до испытания, мм.

На основе жидкого натриевого стекла и целевых добавок были приготовлены и испытаны три покрытия с различным содержанием наполнителя (см. табл.).

Таблица

Свойства огнезащитных покрытий на основе жидкого натриевого стекла

Критерий оценки	Оценка покрытия		
	№ 1	№ 2	№ 3
Изменение цвета, усадка, тление	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Появление признаков воспламенения	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Самостоятельное горение (тление) после отключения газовой горелки	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Наличие дыма, горючих газов	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Расход материала Q , кг·м ⁻²	24	28	26
Коэффициент вспучивания $K_{всп}$	14	15	40
Потеря массы Δm , %	5	3	2
Группа огнезащитной эффективности	I	I	I

Приготовленные композиции исследовали для их качественной оценки по разливу и укрывистости. Удовлетворительным считался разлив покрытия, при нанесении которого оно удерживалось, не стекая с поверхности подложки, в то же время позволяя под влиянием сил поверхностного натяжения скрыть штрихи, образовавшиеся под действием шпателя.

Как видно из данных таблицы, все три разработанных покрытия обеспечивают самую высокую I группу огнезащитной эффективности. Однако наибольшее значение коэффициента вспучивания (до 40 единиц) при наименьшем значении потери массы (2 %) получено для покрытия № 3.

Эффективность вспучивания и качество образовавшегося коксового слоя силикатного покрытия № 3 показаны на рис. 1.

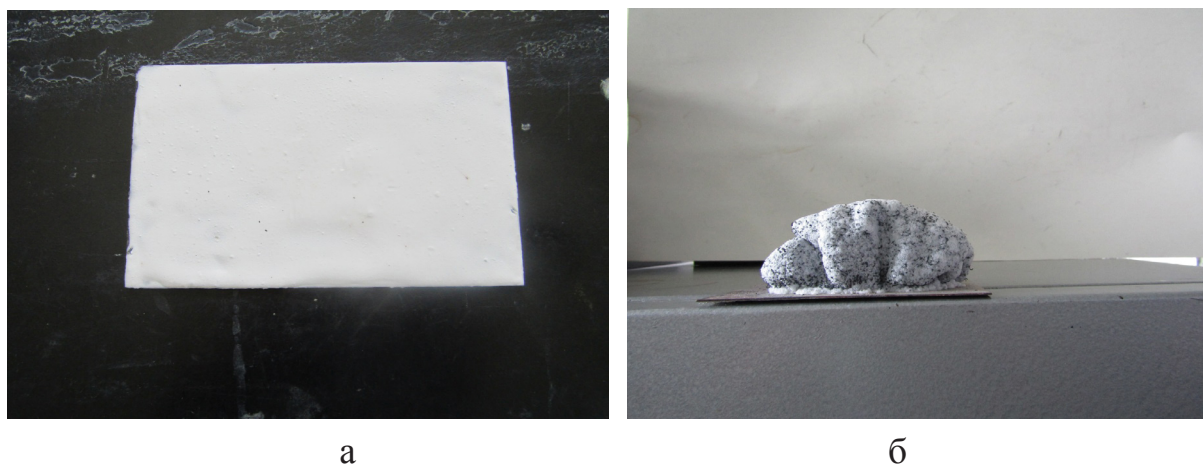


Рис. 1. Эффективность вспучивания силикатного покрытия:

- а – защитный слой покрытия до термического воздействия;
б – защитный слой покрытия после термического воздействия

На рис. 2 показано образование вспученного слоя для покрытия № 3 на деревянном бруске после воздействия пламени газовой горелки.

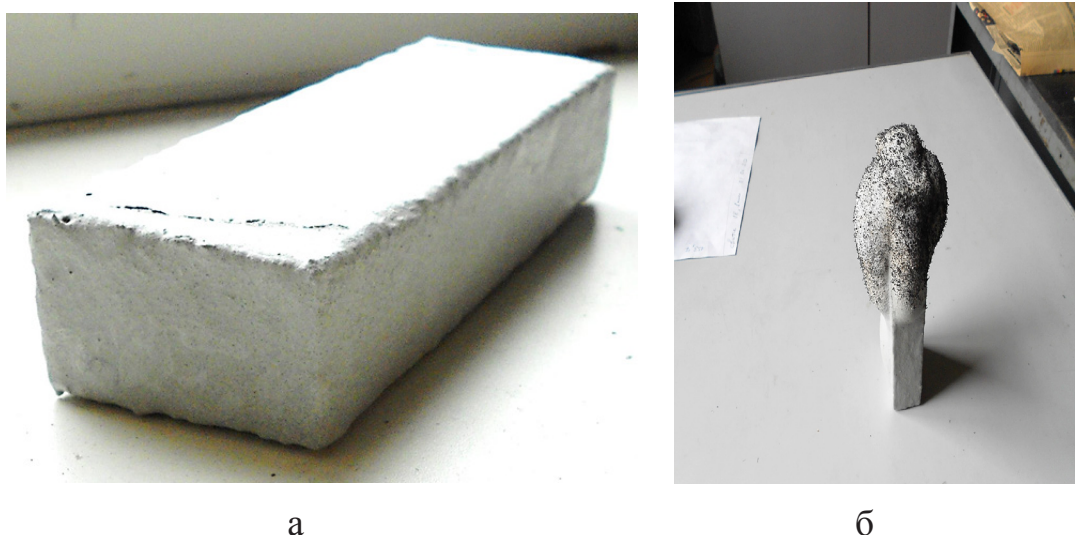


Рис. 2. Защитный слой покрытия на древесине:

- а – защитный слой покрытия до термического воздействия;
б – защитный слой покрытия после термического воздействия

Применение в составе покрытия смеси неорганического отвердителя и стабилизатора позволило получить вспененный кокс в виде негорючей силикатной пены однородной плотной структуры и тем самым повысить ее

механическую и термическую устойчивость в условиях пожара. Введение огнестойкого и армирующего минерального наполнителя (базальтового волокна) обеспечило отсутствие растрескивания поверхности огнезащитного покрытия при естественной сушке.

Выводы. В результате подбора оптимального количества минерального связующего и массового соотношения исходных компонентов разработано нетоксичное огнезащитное покрытие вспучивающегося типа, обеспечивающее I группу огнезащитной эффективности для деревянных конструкций на основе доступного и дешевого материала – жидкого натриевого стекла. Исследования показали, что огнезащитный эффект усиливают добавки термостойкого минерального наполнителя (базальтового волокна) и тетрабората натрия (бур).

Список литературы / References

1. Горовых, О.Г. Механизмы процессов, реализующихся при защите древесины огнезащитными составами / О.Г. Горовых // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 1(41). – С. 47 – 57.

Gorovykh O.G. *Mekhanizmy protsessov, realizuyushhikhsya pri zashhite drevesiny ognезashhitnymi sostavami* [Mechanisms of processes proceeding during coating wood with fire-retardant compositions]. *Chrezvychainye situatsii: predurprezhdeniye i likvidatsiya – Emergencies: prevention and elimination*, 2017, no. 1(41), pp. 47 – 57. (In Russian).

2. Огнезащитное покрытие для снижения горючести древесины / А.С. Беликов, Г.Г. Капленко, Е.Н. Корж, Е.В. Дзецина, Л.Д. Устимович // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – Вып. 93. – С. 221 – 227. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmbz_2016_93_35.

Belikov A.S., Kaplenko G.G., Korzh Ye.N., Dzetsina Ye.V., Ustimovich L.D. *Ognезashhitnoe pokrytie dlya snizheniya goryuchesti drevesiny* [Fire-retardant coating for reducing the wood combustibility]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti – Building. Materials science. Mechanical engineering. Series: Life activity safety*, 2016, issue 93, pp. 221 – 227. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmbz_2016_93_35. (In Russian).

3. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы / Р.В. Кропачев, В.В. Новокшенов, С.И. Вольфсон, С.Н. Михайлов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 5. – С. 60 – 63.

Kropachev R.V., Novokshonov V.V., Vol'fson S.I., Mikhailov S.N. *Termorasshiryayushhiesya polimernye kompozitsionnye materialy* [Intumescent polymeric composition materials]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 5, pp. 60 – 63. (In Russian).

4. Применение синтетических латексов для получения пленок на основе бумаги / В.И. Азаров, В.А. Винославский, А.Н. Зарубина, И.В. Любавина // Лесной вестник. – 2016. – № 3. – С. 10 – 14.

Azarov V.I., Vinoslavskii V.A., Zarubina A.N., Lyubavina I.V. *Primenenie*

sinteticheskikh lateksov dlya polucheniya plyonok na osnove bumagi [Application of the synthetic latexes for production of films based on paper]. *Lesnoi vestnik – Forest bulletin*, 2016, no. 3, pp. 10 – 14. (In Russian).

5. Еремина, Т.Ю. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол / Т.Ю. Еремина, М.В. Гравит, Ю.Н. Дмитриева // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 7. – С. 52 – 56.

Eryomina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. *Osobennosti i printsipy postroeniya retseptur ognezashhitnykh vspuchivayushhikhsya kompozitsii na osnove epoksidnykh smol* [Peculiarities and principles of formulation construction of fire-retardant intumescent compositions based on epoxy resins]. *Pozharovzryvobesopasnost' – Fire and explosion safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 52 – 56. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 15.12.2020

Viktoria Valentinovna Lebedeva, senior scientific associate; e-mail: lebedenish@mail.ru;

Igor Nikolayevich Nepochatykh, scientific associate; e-mail: tamdoka@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-55

COATING FOR FIRE PROTECTION OF WOODEN CONSTRUCTIONS

Purpose. Development of an intumescent fire-retardant coating based on a mineral bounding agent for wooden building constructions.

Methods. Determination of the intumescent coefficient applying the method of measuring and correlation the coating thickness before and after the heat exposure. The standard method for determination of the fire-retardant efficiency group for wood (GOST 16363-98) consisting in measuring the percentage of the investigated samples mass loss after two minutes fire exposure on them in the ceramic pipe (the OTM installation).

Results. The composition formulae of the intumescent coating for fire protection of the wooden building constructions has been developed, the functions of the key components of the coating have been reviewed. Out of the large group of organic and mineral bounding agents the most inexpensive and affordable one, i.e. sodium silicate solute, has been chosen. The fire-proof efficiency group and the intumescent coefficient of the developed fire-retardant coating have been determined. The arithmetical mean value of the mass loss of 10 samples has made 2 % with the fire-retardant layer thickness of maximum 1 mm. According to GOST 16363-98 the developed fire-retardant coating ensures the fire-proof efficiency group I for wood as the mass loss of the coated wood in test conditions makes no more than 9 %. It has been established that the wood protected with the designed coating belongs to the fire-retardant materials.

Scientific novelty. The optimal mass ratio of the mineral bounding agent, inert additives in the fire-retardant coating intumescenting under the thermal influence and capable of creating a hard strong coke crust on the protected surface at a temperature not less than 250 °C has been determined.

Practical value. The designed fire-retardant coating makes it possible to refer wood, i.e. the combustible material, to the category of the fire-retardant substances and as a result to improve the fire-proof efficiency of the wooden building constructions. The improvement of the fire-proof efficiency of the wooden constructions will reduce the risk of rapid collapse of a building with all following consequences. The components of the designed coating are non-toxic which allows for the constructions with the fire-retardant coatings to be used in living premises.

Keywords: *intumescent coating; wood; sodium silicate solute; intumescent coefficient; fire-protection; coked cellular material.*

УДК 621.565.53

Юрий Фёдорович Булгаков, д-р техн. наук, завкафедрой; e-mail: byf@mine.donntu.org;
Константин Александрович Подвигин, ассистент; e-mail: podvigin130415@gmail.com
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»
283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38 062) 301-03-09

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ВОЗДУШНОЙ СТРУИ ПРИ КОНТАКТЕ СО ЛЬДОМ

Цель. Исследование процессов теплообмена воздушной струи при контакте со льдом в локальных зонах горных выработок.

Методы. Разработка математической модели процессов взаимодействия воздушной струи с водолеяными элементами в установке охлаждения воздуха льдом.

Результаты. На основе разработанной математической модели изучены процессы таяния льда в зависимости от температуры окружающего воздуха. Получены аналитическая зависимость изменения массы льда от времени с начала его таяния, а также зависимость массы льда от температуры. Адекватность математической модели подтверждена результатами испытаний. Установлена прямая зависимость между массой льда и охлаждающим эффектом.

Научная новизна. Результаты теоретических исследований позволили получить новые аналитические зависимости и установить адекватность математической модели натурному объекту.

Практическая значимость. Полученные результаты предполагается использовать при выборе параметров установки охлаждения рудничного воздуха льдом в локальных зонах горных выработок.

Ключевые слова: лед; установка; охлаждение воздуха; теплообмен; математическая модель; время таяния льда; масса льда.

Постановка проблемы. В работе [1] выполнен обширный анализ разработанных комплексов для нормализации тепловых условий на горнодобывающих предприятиях. Однако следует отметить, что все горнотехнические способы нормализации тепловых условий, а также шахтные системы и средства кондиционирования рудничного воздуха требуют значительных капитальных вложений, в связи с чем они практически не применяются. Тенденция развития горных работ, а именно: разработка запасов уклонных полей, влечет за собой постоянное возрастание температуры вмещающих горных пород и увеличение пути движения свежей струи. Учитывая вышеизложенные закономерности, можно сделать вывод о том, что в сложившихся условиях стационарные системы кондиционирования рудничного воздуха применять экономически нецелесообразно. На отдельно взятых рабочих местах с нагревающим микроклиматом, где использование стационарных машин экономически нерационально, может оказаться перспективным применение мобильных установок кондиционирования с аккумулятором холода в виде водолеяных элементов.

Основной материал. Экспериментальная установка для охлаждения воздуха в локальных зонах горной выработки разработана на кафедре «Охрана труда

и аэрология» ДонНТУ и испытана в учебной шахте Учебно-оперативного центра ВГСО ГВГСС МЧС ДНР (см. рис. 1).



Рис. 1. Общий вид установки для локального охлаждения воздуха в горных выработках глубоких шахт:

- 1 – воздухонепроницаемые перегородки; 2 – люк для прохода воздуха (входной и выходной); 3 – полиэтиленовый рукав; 4 – вентилятор местного проветривания; 5 – деревянный каркас установки; 6 – теплоизоляционные плиты из экструзивного пенополистирола; 7 – решетчатые полки; 8 – водолеяные элементы

Как видно из рис. 1, вентилятор местного проветривания обеспечивает прокачку воздуха через три отсека, где расположены водолеяные элементы. В процессе испытаний установки для охлаждения воздуха регистрировали атмосферное давление, скорость воздуха, температуру и влажность. В результате испытаний установлена эффективность применения способа для охлаждения воздуха на основе водолеяных элементов.

С целью оценки производительности установки для охлаждения рудничного воздуха необходимо разработать математическую модель процессов теплообмена воздушной струи при контакте со льдом.

Для описания процессов теплообмена в установке используем дифференциальное уравнение (1) вида

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + q, \quad (1)$$

где T – абсолютная температура воздуха, К;

u – продольная скорость движения воздуха, м/с;

x – продольная координата, м;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

q – интенсивность источника или стока тепла, К/с.

Принимая коэффициент теплопроводности за константу, приведем уравнение (1) к виду

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q. \quad (2)$$

Интенсивность источника или стока тепла будет определяться через разность температур. Так, если водоледажные элементы будут отсутствовать, то $q = 0$, например, при поворотах потока воздуха (см. рис. 1). В общем случае интенсивность

$$q = b(\theta - T), \quad (3)$$

где θ – температура в водоледажном элементе, К;

b – коэффициент интенсивности теплообмена, с^{-1} .

Подставляя формулу (3) в уравнение (2), получим

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + b(\theta - T). \quad (4)$$

Температура в водоледажном элементе должна сначала некоторое время оставаться неизменной, а затем начинать увеличиваться после полного таяния льда. Поэтому примем при таянии льда

$$\theta = T_1, \text{ если } \tau < \tau_1, \quad (5)$$

где T_1 – температура льда, К;

τ_1 – время таяния льда, с.

После таяния льда в воде будут происходить процессы теплообмена с воздухом по закону

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + b(T - \theta). \quad (6)$$

В начальное время $\tau = 0$ в потоке воздуха везде температура будет равной начальной температуре $T = T_0$.

Лед, перейдя в жидкое состояние и реагируя с потоком воздуха, продолжает поглощать тепло. Поэтому все процессы теплообмена необходимо начинать рассматривать с процесса таяния льда. Так, будем считать [2], что изменение массы твердого вещества при таянии льда пропорционально самой его массе:

$$\frac{dM}{d\tau} = -kM, \quad (7)$$

где M – масса льда, кг;

k – константа скорости таяния льда, с^{-1} ;

τ – время, с.

Интегрируя уравнение (7) при начальной массе льда, равной $M(0) = M_0$, получим

$$M = M_0 \exp[-k\tau]. \quad (8)$$

Константу скорости таяния льда в зависимости от температуры представим соотношением Аррениуса [3]

$$k = A \exp(-E_A / RT), \quad (9)$$

где A – предэкспоненциальный множитель, с^{-1} ;

E_A – энергия таяния льда, Дж/моль;

R – газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(К·моль).

Подставляя формулу (9) в решение (8), будем иметь

$$M = M_0 \exp[A \exp(-E_A / RT)\tau]. \quad (10)$$

Такой подход дает возможность выразить зависимость процесса таяния льда от температуры.

Предэкспоненциальный множитель A , входящий в формулу (10), – заранее неизвестная величина, но его можно определить, зная период таяния льда наполовину. На рис. 2 построена кривая изменения массы льда от времени с начала его таяния, найденная при константе скорости таяния $k = 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

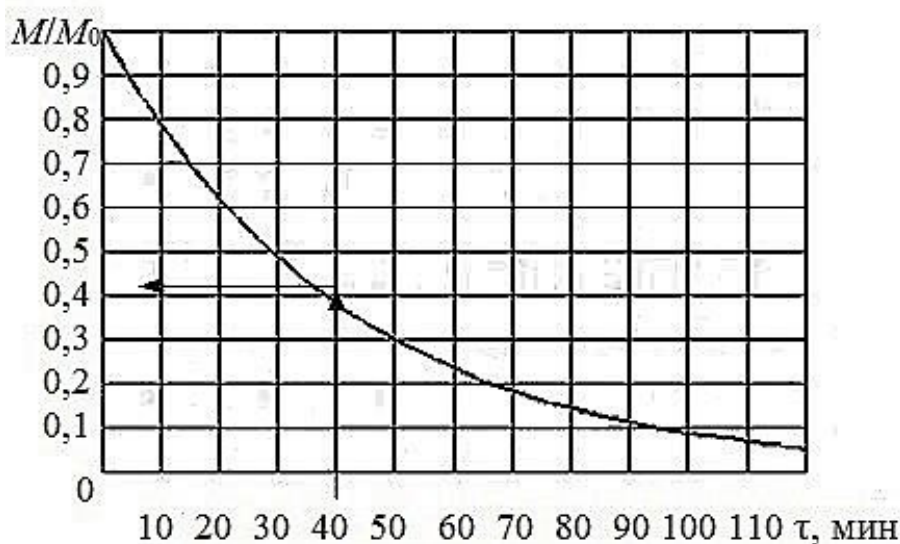


Рис. 2. Кривая изменения относительной массы льда при его таянии

На рис. 3 по формуле (10) приведена зависимость массы льда от температуры при фиксированном времени его таяния, равном 30 мин. При этом принято $A = 5500 \text{ с}^{-1}$; $E_A = 50000 \text{ Дж/моль}$.



Рис. 3. Зависимость массы льда от температуры при его таянии

Как видно из рис. 3, вначале масса льда некоторое время не меняется, а затем начинает уменьшаться, пока не превратится в воду.

Выводы. Полученные результаты позволяют использовать их в установке охлаждения рудничного воздуха при его охлаждении в локальных зонах горных выработок.

Список литературы / References

1. Мартынов, А.А. Тепловой режим глубоких угольных шахт: монография / А.А. Мартынов, И.В. Малеев, А.К. Яковенко; под ред. к.т.н. А.А. Мартынова. – Донецк: Ноулидж (Донецкое отделение), 2014. – 443 с.

Martynov A.A. ed., Maleev I.V., Yakovenko A.K. *Teplovoi rezhim glubokikh ugol'nykh shakht: monografiya: pod red. k.t.n. Martynova A.A.* [Thermal conditions of deep coal mines: monograph: Cand. Sci. (Tech.) Martynov A.A., ed.]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2014, 443 p. (In Russian).

2. Пузач, С.В. Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 150 с.

Puzach S.V. *Matematicheskoe modelirovanie teplomassoobmena pri reshenii zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Mathematical modeling of heat and mass exchange in solving the fire and explosion safety problems]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Press, 2003, 150 p. (In Russian).

3. Лыков, А.В. Тепломассообмен: справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1980. – 580 с.

Lykov A.V. *Teplomassoobmen. Spravochnik* [Heat and mass exchange. Reference book]. Moscow, Energiya Publ., 1980, 580 p. (In Russian).

Yuri Fyodorovich Bulgakov, Dr. Sci. (Tech.), department chair: e-mail: byf@mine.donntu.org;

Konstantin Aleksandrovich Podvigin, assistant lecturer; e-mail: podvigin130415@gmail.com

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“Donetsk National Technical University”

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 301-03-09

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE PROCESSES BETWEEN AIR STREAM AND ICE

Purpose. Investigation of the heat exchange processes of the air stream upon contact with ice in local areas of mine workings.

Methods. Development of the mathematical model of interaction processes between the air stream and water-ice elements in an installation for cooling air with ice.

Results. On the basis of the developed mathematical model the processes of ice melting depending on the ambient air temperature have been studied. The analytical dependence of the ice mass change on time since the beginning of its melting as well as the dependence of the ice mass on the temperature on time have been obtained. The adequacy of the mathematical model has been confirmed by test results. The direct dependence between the ice mass and the cooling effect has been established.

Scientific novelty. The results of the theoretical investigations have made it possible to obtain the new analytical dependences and to establish the mathematical model adequacy to the full scale object.

Practical value. The obtained results are supposed to be used in selection of parameters of the installation for cooling mine air with ice in the local areas of the mine workings.

Keywords: *ice; installation; air cooling; heat exchange; mathematical model; ice melting time; ice mass.*

II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [544.723.21:547.532]:001.891.5

Андрей Викторович Агарков, соискатель; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-55*

ПРИМЕНЕНИЕ СИМПЛЕКС-РЕШЕТЧАТОГО МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ СОРБЕНТОВ

Цель. Исследование сорбционной емкости двух- и трехкомпонентных сорбционных составов на основе каменного угля, котельного шлака и древесных опилок для выбора сорбента с улучшенными сорбционными свойствами.

Методы. Определение сорбционной емкости материалов ускоренным гравиметрическим методом в статических условиях эксперимента. Симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента, статистический метод анализа и обработки экспериментальных данных.

Результаты. Определены значения сорбционной емкости по бензолу образцов длиннопламенного газового угля, котельного шлака фракции 0,315...0,5 мм и древесных опилок фракции 1...2 мм, их двух- и трехкомпонентных смесей. На основании экспериментальных данных выбрана и апробирована полиномиальная модель неполного третьего порядка для аналитического описания зависимости сорбционной емкости многокомпонентных сорбентов от их состава. Показаны возможность и эффективность выбора оптимальных составов сорбентов для ликвидации последствий аварий техногенного характера с использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента.

Научная новизна. Впервые исследована сорбционная емкость по бензолу многокомпонентных сорбентов на основе длиннопламенного газового угля и промышленных отходов предприятий Донецкого региона: котельного шлака, древесных опилок. Получена и апробирована полиномиальная модель неполного третьего порядка для описания зависимости «состав – свойство».

Практическая значимость. Результаты исследований можно применять для оптимизации рецептур сорбентов, предназначенных для локализации зон аварийных проливов химически опасных веществ и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах.

Ключевые слова: *длиннопламенный газовый уголь; древесные опилки; метод симплекс-решетчатого планирования; полином; сорбционная емкость; котельный шлак.*

Постановка проблемы. В настоящее время повышенное внимание уделяется вопросам разработки полимерных сорбентов и сорбентов на основе активированных углей, обладающих высокими сорбционными свойствами. Однако для локализации масштабных аварийных проливов токсичных веществ на промышленных объектах и транспорте использование перечисленных сорбентов нерентабельно ввиду их слишком высокой стоимости и дефицита.

Решение проблемы осуществимо путем разработки эффективных, дешевых и доступных природных сорбентов, что во многом определяется возможностями сырьевой базы, а также сорбционной емкостью исходных компонентов. Один из способов получения новых сорбентов заключается в разработке многокомпонентных сорбционных смесей на основе доступных материалов.

Для разработки многокомпонентных сорбционных составов можно применить методы планирования эксперимента и статистической обработки данных. Методы планирования эксперимента при изучении многокомпонентных систем позволяют существенно сократить объем исследований, получить регрессионное уравнение, отражающее взаимосвязь между содержанием компонентов и изучаемым свойством (сорбционной емкостью).

Анализ последних исследований. Для описания свойств многокомпонентных систем в публикациях [1 – 4] дан обстоятельный анализ применения метода симплексных решеток и полиномов различного порядка, разработанных Г. Шеффе. Однако исследователи уделяют незначительное внимание оптимизации рецептур сорбционных составов на основе каменных углей и промышленных отходов. Поэтому изучение влияния компонентного состава на свойства сорбента и выбор оптимальных сорбционных составов с использованием метода математического планирования эксперимента и статистической обработки данных – актуальная научная и практическая проблема.

Цель исследований – изучение сорбционной емкости двух- и трехкомпонентных сорбционных составов на основе каменного угля, котельного шлака и древесных опилок и выбор наиболее оптимальных составов для практического использования.

В задачи исследования входят:

- выбор модели симплекс-решетчатого метода;
- составление матрицы плана эксперимента;
- подготовка образцов и определение сорбционной емкости по бензолу двух- и трехкомпонентных модельных смесей;
- расчет коэффициентов полиномиальной модели аналитического описания сорбционной емкости двух- и трехкомпонентных составов;
- расчет дисперсии воспроизводимости и ошибки эксперимента;
- проверка и оценка адекватности полученной полиномиальной модели.

Изложение основного материала. Последовательность решения поставленных задач исследований следующая.

1. Выбор модели симплекс-решетчатого метода.

Выбор модели описания свойств многокомпонентных систем основывался на критическом анализе применения математических методов описания зависимостей «состав – свойство» этих систем [1 – 4] и осуществлялся на основе информации, включающей в себя сбор, систематизацию и анализ предварительно полученных экспериментальных данных (табл. 1).

Для построения моделей аналитической зависимости «состав – свойство», включающих все компоненты системы, последние представляют в виде полиномов n степеней, область применения которых ограничивают ближайшей окрестностью экспериментальных точек. Полиномы такого вида, или приведенные полиномы, полученные из обычных полиномов соответствующих

степеней для q компонентов (переменных) введением соотношения $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_q = 1, x_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, q)$, содержат C_{q+n-1}^n коэффициентов. В общем случае для q компонентов модели полиномов выглядят следующим образом [1]:

– квадратичная модель приведенного полинома

$$\hat{y} = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq q} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j; \quad (1)$$

– неполная кубическая модель приведенного полинома

$$\hat{y} = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_k; \quad (2)$$

– кубическая модель приведенного полинома

$$\begin{aligned} \hat{y} = & \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \gamma_{ij} \cdot x_i \cdot x_j (x_i - x_j) + \\ & + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_k, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ijk}$ – коэффициенты приведенного полинома;

$\hat{y}$ – расчетное значение выходного фактора, г/г.

Выбор модели сводился к установлению числа варьируемых компонентов смеси и заданию степени приведенного полинома, описывающего функцию отклика (выходного фактора). Чем выше степень приведенного полинома, тем выше точность описания исходной модели и тем больше экспериментов требуется для определения его коэффициентов.

Количество экспериментов зависит от числа компонентов смеси и степени приведенного полинома [1] (табл. 1).

Таблица 1

Количество экспериментов в зависимости от числа компонентов смеси и степени приведенного полинома [1]

Число компонентов	Степень приведенного полинома			
	вторая	третья неполная	третья	четвертая
2	2	3	4	5
3	6	7	10	15
4	10	14	20	35
5	15	25	35	70
6	21	41	56	126
8	36	92	120	330
10	55	175	220	715

Для проведения экспериментов и построения полиномиальной модели аналитической зависимости «состав – свойство» многокомпонентных природных сорбентов было принято решение об использовании неполной кубической модели (2), с помощью которой можно достаточно точно описать функцию зависимости между наблюдаемыми входными и выходными факторами. В случае неадекватности данной модели можно перейти к модели более высокого порядка (3).

2. Составление матрицы плана эксперимента.

Для оценки коэффициентов приведенного полинома используют решетчатые планы (канонические полиномы Г. Шеффе), которые обеспечивают равномерный разброс экспериментальных точек по $(q - 1)$ -мерному симплексу. В $\{q, n\}$ решетке для каждого компонента применяют $n + 1$ равно расположенных уровней в интервале $0 - 1$ ($x_i = 0, 1/n, 2/n, \dots 1$) и берут все возможные их комбинации. Число таких комбинаций равно числу оцениваемых коэффициентов приведенного полинома степени n , поэтому симплекс-решетчатые планы насыщенные, то есть число экспериментальных точек в плане равно числу коэффициентов искомого приведенного полинома. Входными факторами считают составы сорбентов с различным массовым содержанием и соотношением компонентов (чистые вещества, их двух- и трехкомпонентные смеси), в качестве выходного фактора принято среднее арифметическое значение сорбционной емкости по бензолу составов по трем параллельным опытам ($\bar{y}$). Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Для описания аналитической зависимости «состав – свойство» в работе была использована матрица планирования, или симплексная решетка, типа

$$\{q, n\},$$

где $q = 3$ – число компонентов смеси;

$n = 3$ – степень полинома.

3. Подготовка образцов и определение сорбционной емкости по бензолу двух- и трехкомпонентных модельных смесей.

В качестве объектов исследования взяты образцы каменного угля марки ДГ (длиннопламенный газовый), котельного шлака фракции $0,315 \dots 0,5$ мм и древесных опилок фракции $1 \dots 2$ мм как материалы с наибольшими значениями сорбционной емкости по бензолу в статических и динамических условиях эксперимента. Обоснованием подобного выбора объектов исследования служат результаты экспериментальных исследований, изложенные в работах [5 – 7]. Оптимальный размер целевых фракций материалов установлен на основании результатов исследований, приведенных в работе [5].

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента

Но- мер опы- та	Входной фактор			Выходной фактор – сорбционная емкость				Дисперсия воспроизво- димости экспери- мента S_0^2
	Компонентный состав сорбента, массовая доля			Значение сорбционной емкости для каждого параллельного опыта, y_{ij} , г/г			Среднее арифметиче- ское значение сорбционной емкости параллельных опытов i -го опыта $\bar{y}_i$, г/г	
	x_1	x_2	x_3	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}		
1	1	0	0	1,06	1,10	1,09	1,08	0,02657
2	0	1	0	0,71	0,74	0,72	0,72	
3	0	0	1	6,70	6,48	6,67	6,62	
4	1/2	1/2	0	0,97	0,98	0,90	0,95	
5	1/2	0	1/2	3,37	3,68	3,98	3,68	
6	0	1/2	1/2	3,61	3,24	3,09	3,31	
7	1/3	1/3	1/3	2,99	2,88	2,87	2,91	

На основе выбранных материалов приготовлена серия двух- и трехкомпонентных модельных смесей с различным массовым содержанием исходных компонентов в них. Содержание исходных компонентов в смеси выражали массовыми долями, так как это удобно в плане дозирования компонентов и соответствует реальной технологии приготовления сорбентов [2].

Модельные смеси готовили таким образом, чтобы выполнялось условие

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad (4)$$

где x_1 – содержание угля марки ДГ в смеси, массовая доля;

x_2 – содержание шлака в смеси, массовая доля;

x_3 – содержание опилок в смеси, массовая доля.

Сорбционную емкость по бензолу образцов угля марки ДГ, шлака и опилок, а также приготовленных на их основе двух- и трехкомпонентных смесей определяли ускоренным гравиметрическим методом. Сущность ускоренного гравиметрического метода заключается в прямом измерении увеличения массы пробы сорбента в процессе насыщения бензолом в течение 15 мин. Результат испытания представляет собой максимально возможную сорбционную способность сорбента за минимальное время насыщения.

По результатам испытаний индивидуальных (чистых) материалов и приготовленных на их основе модельных смесей рассчитывали сорбционную емкость по бензолу:

$$a = \frac{m_6}{m_0}, \quad (5)$$

где $m_6 = (m_1 - m_0)$ – масса сорбированного бензола, г;
 m_1 – масса пробы после обработки бензолом, г;
 m_0 – масса пробы до обработки бензолом, г.

4. Расчет коэффициентов полиномиальной модели.

Учитывая свойство насыщенности плана, оценивали коэффициенты приведенного полинома неполного третьего порядка методом подстановки. Для получения расчетных формул коэффициентов в полином поочередно подставляли координаты всех точек плана $\{q, n\}$ решетки, а вместо выходов – соответствующие данным точкам значения сорбционной емкости, полученные в ходе эксперимента.

Используя значения выходного фактора, представленные в табл. 1, методом подстановки были рассчитаны коэффициенты при факторах уравнения полинома неполного третьего порядка (2) по следующим формулам [1]:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= y_1; \\ \beta_2 &= y_2; \\ \beta_3 &= y_3; \\ \beta_{12} &= 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2; \\ \beta_{13} &= 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3; \\ \beta_{23} &= 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3; \\ \beta_{123} &= 27y_{123} - 12(y_{12} + y_{13} + y_{23}) + 3(y_1 + y_2 + y_3).\end{aligned}$$

Обработку экспериментальных данных и расчет полиномиальной модели производили с помощью табличного процессора Microsoft Excel. После подстановки вычисленных коэффициентов в уравнение (6) получена полиномиальная модель зависимости сорбционной емкости (y_i) от состава смеси: шлак (x_1) – уголь (x_2) – опилки (x_3), описываемая уравнением полинома неполного третьего порядка

$$\hat{y} = 1,08x_1 + 0,72x_2 + 6,62x_3 + 0,2x_1 \cdot x_2 - 0,68x_1 \cdot x_3 - 1,44x_2 \cdot x_3 + 8,55x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (6)$$

5. Расчет дисперсии воспроизводимости и ошибки эксперимента.

Для расчета дисперсии воспроизводимости эксперимента вначале была определена дисперсия воспроизводимости параллельных опытов по формуле

$$S_{oi}^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1; j=1}^{m=3} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2, \quad (7)$$

где m – число параллельных опытов;

i – порядковый номер опыта;

j – порядковый номер параллельного опыта;

y_{ij} – значение сорбционной емкости i -го опыта, г/г;

$\bar{y}_i$ – среднее арифметическое значение сорбционной емкости параллельных опытов, г/г.

Усреднение значений построчных дисперсий эксперимента позволило рассчитать дисперсию воспроизводимости эксперимента для семи сорбционных составов

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_{0i}^2, \quad (8)$$

где S_{0i}^2 – построчная дисперсия;

N – число экспериментов.

Среднеквадратическую ошибку эксперимента S_0 вычисляли по формуле

$$S_0 = \sqrt{S_0^2}. \quad (9)$$

Среднеквадратическая ошибка эксперимента необходима для проверки адекватности полученной полиномиальной модели описания аналитической зависимости «состав – свойство» с применением критерия Стьюдента t_p .

6. Проверка и оценка адекватности полиномиальной модели.

Проверку адекватности полученной полиномиальной модели (6) проводили на четырех дополнительных контрольных составах с компонентным соотношением угля марки ДГ, шлака и опилок, отличающимся от соотношения этих компонентов для смесей, представленных в табл. 2. Для каждого дополнительного контрольного состава, используя уравнение (6), были рассчитаны значения сорбционной емкости по бензолу.

Оценку адекватности полученной полиномиальной модели (6) выполняли с помощью критерия Стьюдента t_p , используя отношение

$$t_p = \frac{\Delta y \sqrt{m}}{S_0 \sqrt{1 + \xi}}, \quad (10)$$

где $\Delta y = (y_3 - y_p)$ – разность экспериментального и рассчитанного по уравнению (4) значения сорбционной емкости сорбента;

m – число параллельных опытов в каждой точке эксперимента;

S_0 – дисперсия воспроизводимости эксперимента;

ξ – параметр, связанный с коэффициентами полинома, значение которого для каждого контрольного состава графически снято с контурных линий треугольника изолиний полинома неполного третьего порядка (6).

Исходные данные для проверки адекватности полиномиальной модели (6) описания аналитической зависимости: компонентный состав сорбента: уголь

марки ДГ (x_1) – шлак (x_2) – опилки (x_3) – сорбционная емкость и результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные и результаты проверки адекватности модели (7)

Но- мер опыта	Компонентный состав сорбента, массовая доля			Эксперимент				Расчет $\hat{y}_p$	$\Delta y = (y_o - y_p)$	Критерий Стьюдента (рассчитан- ный) t_p
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_o$			
1	0,375	0,375	0,25	2,53	2,95	2,26	2,58	2,46	0,12	0,94
2	0,375	0,205	0,375	3,01	3,19	3,36	3,19	3,16	0,03	0,23
3	0,400	0,300	0,300	2,36	3,06	2,68	2,70	2,76	0,06	0,46
4	0,600	0,300	0,100	1,50	1,85	1,72	1,69	1,63	0,06	0,51

При уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 10$ табличное значение критерия Стьюдента ($t_{\text{табл}}$) равно 2,23. Как видно из данных табл. 2, для всех контрольных точек соблюдается неравенство $t_p \leq t_{\text{табл}}$.

Таким образом, полученная полиномиальная модель (6) оказалась адекватной эксперименту при уровне значимости $p = 0,05$ для описания аналитической зависимости сорбционной емкости от компонентного состава сорбентов.

Выводы. Изучена сорбционная емкость по бензолу двух- и трехкомпонентных сорбентов с различным массовым соотношением каменного угля марки ДГ, котельного шлака и древесных опилок с использованием экспериментального метода и симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента.

На основании экспериментальных данных получена и апробирована полиномиальная модель неполного третьего порядка, которая может быть применена для расчета и установления оптимального компонентного состава сорбентов, предназначенных для ликвидации последствий масштабных аварийных проливов химически опасных веществ на промышленных объектах и транспорте.

Список литературы / References

1. Ахназарова, С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.

Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. *Optimizatsiya eksperimenta v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Optimization of an experiment in chemistry and chemical technology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1978, 319 p. (In Russian).

2. Ахмадиев, Ф.Г. Математическое моделирование и оптимизация «состав – свойство» многокомпонентных смесей / Ф.Г. Ахмадиев, Р.М. Гильфанов // Известия КГАСУ. – 2012. – № 2(20). – С. 289 – 297.

Akhmadiev F.G., Gil'fanov R.M. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya "sostav – svoystvo" mnogokomponentnykh smesei* [Mathematical modeling and optimization of "composition – characteristic" multicomponent mixtures]. *Izvestiya KGASU – Proceedings of the KGASU*, 2012, no. 2(20), pp. 289 – 297. (In Russian).

3. Джусупкалиева, Р.И. Исследования сорбентов, используемых для очистки нефтезагрязненных территорий / Р.И. Джусупкалиева, А.У. Таубаева // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 182 – 184. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/12431> (дата обращения: 17.05.2019).

Dzhusupkalieva R.I., Taubaeva A.U. *Issledovaniya sorbentov, ispol'zuyemykh dlya ochistki neftezagryaznyonnykh territorii* [Investigations of sorbents used for cleaning the oily territories]. *Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf. (Moskva, noyabr' 2017 g.)* [Technical sciences in Russia and abroad: materials of the 7th International scientific conference (Moscow, November 2017)]. Moscow, Buki-Vedi Publ., 2017, pp. 182 – 184. (In Russian). Available at: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/12431> (accessed 17.05.2019).

4. Прилепская, Л.Л. Оптимизация состава угольных шихт с использованием методов прикладной математики // Л.Л. Прилепская, В.С. Швед // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 3. – С. 76 – 77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostava-ugolnyh-shiht-s-ispolzovaniem-metodov-prikladnoy-matematiki> (дата обращения: 11.06.2019).

Prilepskaya L.L., Shved V.S. *Optimizatsiya sostava ugol'nykh shikht s ispol'zovaniem metodov prikladnoy matematiki* [Optimization of coal charge compositions using the applied mathematics methods]. *Vestnik KuzGTU – Bulletin of the KuzGTU*, 2010, no. 3, pp. 76 – 77. (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostava-ugolnyh-shiht-s-ispolzovaniem-metodov-prikladnoy-matematiki> (accessed 11.06.2019).

5. Способность пористых материалов поглощать аварийно химически опасные вещества / Ан.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 1(56). – С. 94 – 99.

Agarkov An.V., Kozlitin A.A., Lebedeva V.V., Shcherbakova O.N. *Sposobnost' poristyykh materialov pogloshhat' avariino khimicheski opasnye veshhestva* [Capacity of porous materials to absorb chemically hazardous substances conducive to accident]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, no. 1(56), pp. 94 – 99. (In Russian).

6. Сорбционная способность промышленных отходов и каменных углей / Ан.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 3(56). – С. 46 – 54.

Agarkov An.V., Kozlitin A.A., Lebedeva V.V., Shcherbakova O.N. *Sorbtsionnaya sposobnost' promyshlennykh otkhodov i kamennykh ugley* [Sorption capacity of industrial waste and black coal]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, no. 3(56), pp. 46 – 54. (In Russian).

7. Агарков, Ан.В. Эффективность сорбции аварийно химически опасных веществ каменными углями Донецкого региона / Ан.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – Донецк, 2019. – № 3(4). – С. 10 – 15.

Agarkov An.V., Kozlitin A.A., Lebedeva V.V. *Effektivnost' sorbtsii avariynno khimicheskii opasnykh veshchestv kamennymi uglyami Donetskogo regiona* [Efficiency of sorption of chemically hazardous substances conducive to accident by black coal of the Donetsk region]. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya* [Fire and technogenic safety: problems and ways of improvement]. Donetsk, 2019, no. 3(4), pp. 10 – 15. (In Russian).

8. Компьютерное моделирование методом симплексных решеток плотности и вязкости многокомпонентных смесей непредельных углеводородов в широком диапазоне изменения параметров состояния / Д.И. Сагдеев, А.А. Хубатхузин, М.Г. Фомина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2002. – № 10. – С. 50 – 54.

Sagdeev D.I., Khubatkhuzin A.A., Fomina M.G. et al. *Komp'yuternoe modelirovanie simpleksnykh reshyotok plotnosti i vyazkosti mnogokomponentnykh smesei nepredel'nykh uglevodorodov v shirokom diapazone izmeneniya parametrov sostoyaniya* [Computer simulation of simplex lattices for density and viscosity of multicomponent mixtures of unsaturated hydrocarbons within the wide range of changing state variables]. *Khimiya i komp'yuternoe modelirovanie. Butlerovskie soobshheniya – Chemistry and computer simulation. Butlerov communications*, 2002, no. 10, pp. 50 – 54. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 15.12.2020

Andrey Viktorovich Agarkov, applicant; e-mail: mchs-dnr@mail.ru
The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,
Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-55

APPLICATION OF THE SIMPLEX-LATTICE METHOD IN INVESTIGATION OF SORPTION CAPACITY OF SORBENTS

Purpose. Investigation of the sorption capacity of two- and three-component sorption compositions based on black coal, boiler slag and sawdust for selection of a sorbent with improved sorption properties.

Methods. Determination of the sorption capacity of materials by the accelerated gravimetric method in static conditions of the experiment. The simplex-lattice method of the mathematical planning of the experiment, the statistic method of analysis and processing of experimental data.

Results. The values of the sorption capacity for benzene have been determined for the samples of long-flame gas coal, those ones of boiler slag with fraction of 0.315...0.5 mm and of sawdust with fraction of 1...2 mm, their two- and three-component mixtures. Based on the experimental data the non-complete tertiary polynomial model has been selected and tested in order to describe analytically the dependence of the sorption capacity of the multicomponent sorbents on their composition. The possibility and effectiveness to select the optimal compositions of the sorbents for elimination of consequences of the man-made accidents applying the simplex-lattice method of the experiment planning have been demonstrated.

Scientific novelty. The sorption capacity for benzene has been investigated for the first time for the multicomponent sorbents based on the long-flame gas coal and industrial waste of the Donetsk regional enterprises, i.e. boiler slag, sawdust. The non-complete tertiary polynomial model has been obtained and tested to describe the “composition – characteristic” dependence.

Practical value. The results of the investigations may be used to optimize the formulae of the sorbents designed for containment of zones of accident spillages of the chemically hazardous substances and elimination of consequences of emergencies at the chemically hazardous objects.

Keywords: *long-flame gas coal; sawdust; simplex-lattice method of planning; polynomial; sorption capacity; boiler slag.*

УДК 614.89

Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, замдиректора по научной работе;
e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-03

Татьяна Викторовна Князева, руководитель аппарата Министра; e-mail: mchs-dnr@mail.ru
Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР
283050, Донецк, ул. Щорса, 60. Тел. (+38 062) 340-62-80

Татьяна Олеговна Мороз, вед. инж.; e-mail: tatiana.moroz@rambler.ru
Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-43

Елена Вячеславовна Лопатина, гл. специалист; e-mail: alenathukurova@mail.ru
Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР
283050, Донецк, ул. Щорса, 60. Тел. (+38 062) 340-62-65

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ СПАСАТЕЛЕЙ

Цель. Обосновать принципы комплексного подхода к оценке надежности средств индивидуальной защиты спасателей с учетом ее уровня.

Методы. Анализ, обобщение и систематизация степени защиты спасателей; исследования защитных и эксплуатационных характеристик средств индивидуальной защиты спасателей с использованием современных технических средств измерений; моделирование зависимостей между показателями, характеризующими свойства средств индивидуальной защиты спасателей в условиях проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Результаты. Полученные значения показателей риска использовали для обоснования защитных свойств материалов и конструкций средств индивидуальной защиты спасателей, которые легли в основу разработки комплексного подхода при оценке надежности средств индивидуальной защиты.

Научная новизна. Разработаны подходы, позволяющие обосновать критерии оценки свойств материалов и конструкций средств индивидуальной защиты спасателей.

Практическая значимость. Внедрение комплексного подхода к оценке надежности средств индивидуальной защиты спасателей позволит повысить эффективность их защиты.

Ключевые слова: гражданская оборона; чрезвычайные ситуации; средства индивидуальной защиты; опасные и вредные факторы; комплексная оценка средств индивидуальной защиты.

Постановка задачи. Средства индивидуальной защиты (СИЗ) используют для предотвращения или уменьшения воздействия опасных и вредных факторов: аварийно химически опасных веществ (АХОВ) при ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ, возникающих при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Их применяют в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена иным образом (например, путем применения средств коллективной защиты, технических или технологических средств).

СИЗ спасателей – это специальная одежда, обувь, изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания, рук, головы, лица, органов слуха, глаз, различные приспособления.

Одна из основных задач при оценке эффективности применяемых СИЗ заключается в выборе изделия, максимально эффективно защищающего работающего от комплекса опасных и вредных факторов, которые характерны для конкретных условий, возникающих при ликвидации ЧС и их последствий. Подобный выбор невозможен только на основе дифференциальных оценок свойств СИЗ, поскольку они характеризуются различием сопоставляемых показателей. Следовательно, при подобной оценке необходимо вводить в расчет соотношение значений показателей свойств, что возможно только при комплексной оценке надежности СИЗ по нескольким показателям, максимально характеризующим их защитные свойства.

Таким образом, **цель настоящей работы** – поиск основ комплексного подхода при оценке надежности СИЗ спасателей.

Анализ последних исследований. СИЗ подразделяют на три группы: специальная одежда и обувь; технические средства; смывающие и обезвреживающие средства [1]. Специальная одежда и обувь (комбинезоны, костюмы, сапоги, ботинки и др.) предназначены для защиты спасателей от загрязнений, возникающих в результате ЧС, механического травмирования, избыточной теплоты и холода, агрессивных жидкостей. Основные технические СИЗ предназначены для защиты: органов дыхания (маски, респираторы, противогазы); слуха (беруши, наушники, антифоны); зрения (очки, щитки, маски); от вибрации (виброзащитные рукавицы и коврики); от поражения электрическим током (диэлектрические перчатки, галоши, коврики); от механического травмирования (каска, шлемы, страховочные пояса, рукавицы, перчатки) и т.д. Смывающие и обезвреживающие средства используют для защиты кожи рук и лица от загрязнений АХОВ (пасты, мази, моющие средства).

СИЗ спасателей классифицируют по назначению в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» (утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878; с изменениями на 28 мая 2019 г.). Данная классификация состоит из групп и подгрупп СИЗ.

- Первая группа защиты от механических воздействий (ударов, истирания, проколов, порезов, возможного захвата движущимися частями, падения с высоты), от воды и растворов нетоксичных веществ (растворов поверхностно-активных веществ, влаги и др.), от общих производственных загрязнений (нетоксичной пыли, стекловолокна и др.), от вибрации, шума, обледенения, скольжения по поверхностям и т.д.

- Вторая группа защиты от химических факторов (АХОВ, токсичных веществ, растворов кислот, щелочей, органических растворителей, в том числе лаков и красок на основе нефти, нефтепродуктов, масел и жиров). Сюда

также входят подгруппы защиты от твердых токсичных веществ, разных концентраций кислот и щелочей, органических растворителей, ароматических веществ, неароматических веществ, хлорированных углеводородов, сырой нефти, продуктов легкой фракции, нефтяных масел и продуктов тяжелых фракций, растительных и животных масел и жиров.

- Третья группа защиты от биологических факторов (макро- и микроорганизмов, насекомых и др.).

- Четвертая группа защиты от радиационных факторов (радиоактивных загрязнений, ионизирующих излучений и др.).

- Пятая группа защиты от факторов, обусловленных климатом: теплового излучения (повышенные/пониженные температуры), открытого пламени, искр, брызг и выплесков расплавленного металла, окалины, контакта с поверхностями, нагретыми свыше 45 °С, от 40 до 100 °С, от 100 до 400 °С, выше 400 °С, конвективной теплоты, пониженных температур воздуха и ветра до минус 20 °С, до минус 30 °С, до минус 40 °С, до минус 50 °С, контакта с охлажденными поверхностями.

- Шестая группа защиты от поражений электрическим током напряжением до 1000 и свыше 1000 В, от электрических полей, электромагнитных полей, термических ожогов электрической дугой, неионизирующих излучений, воздействия статического электричества.

- Седьмая группа защиты – одежда специальной сигнальной повышенной видимости.

- Восьмая группа защиты – комплексные СИЗ.

- Девятая группа защиты – дерматологические средства (индивидуального гидрофильного, гидрофобного, комбинированного действия, от воздействия низких температур, высоких температур, ветра, ультрафиолетового излучения диапазонов А, В, С, насекомых, микроорганизмов, очищающие, регенерирующие, восстанавливающие средства).

Цель исследования – аргументировать методологию комплексного подхода к оценке надежности СИЗ спасателей с учетом уровней их защиты.

Результаты исследования. Изучив приведенную выше классификацию, можно сделать вывод, что она не всегда применима для оценки эффективности СИЗ в конкретных условиях, которые возникают при ликвидации ЧС, и их последствий. Наиболее приемлемый метод, позволяющий решить поставленную задачу, – поиск основ комплексного подхода при оценке надежности СИЗ спасателей.

Как видно из анализа таблицы, на 1-м иерархическом уровне – простые защитные свойства СИЗ спасателей, представленные в абсолютных показателях, которые не дают возможности оценить свойство фактора и его уровень. Формально для оценки степени защиты СИЗ K_{ij} (по i -му защитному свойству на уровне j) используют относительные показатели, которые представляют собой функцию двух абсолютных показателей измеряемого P_{ij} и принятого за базовый $P_{ij}^{\text{баз}}$.

$$K_{ij} = f(P_{ij}; P_{ij}^{\text{баз}}). \quad (1)$$

В то же время, в отличие от P_{ij} – величины постоянной, $P_{ij}^{\text{баз}}$ зависит не только от самого свойства СИЗ, но и от базового эталона. Достоверная оценка защитного свойства K_{ij} от воздействия на спасателя опасных и вредных факторов напрямую зависит от выбранной для сравнения базы показателей $P_{ij}^{\text{баз}}$.

Необходимое условие оценки СИЗ – вычисление показателей простых защитных свойств. Непосредственное сведение воедино набора критериев, характеризующих СИЗ спасателей, затруднительно, поскольку они имеют разную размерность, в связи с чем необходимо на единой методологической основе привести все простые свойства с разными размерностями к безразмерным показателям, носящим название трансформации шкал [1].

Более высокий – 2-й уровень. На данном уровне можно получить имеющие большую значимость оценки свойств СИЗ. Этот уровень промежуточный, но он позволит уже на 3-м уровне оценить защиту спасателя от локально действующих на отдельные анатомо-топографические зоны опасных и вредных факторов и факторов с общим и смешанным механизмом воздействия.

На 4-м уровне, согласно представленной иерархии, предложена комплексная оценка свойств СИЗ от воздействия совокупности всех факторов на организм в целом, то есть в конечном итоге возможность оценить степень риска поражения комплексом опасных и вредных факторов и эффективность защиты спасателя. Такой подход позволит дать комплексную сравнительную оценку традиционно применяемых и вновь разрабатываемых СИЗ спасателей. Комплексная оценка эффективности СИЗ спасателей, в свою очередь, позволит решить задачу их распределения по сходным условиям, возникающим при ликвидации ЧС и их последствий, для создания системы защиты спасателей от действия опасных и вредных факторов и решения задачи унификации СИЗ спасателей, применяемых при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Комплекс защитных показателей, рассматриваемых на 1-м иерархическом уровне защитных свойств, обусловлен характером ЧС и способом проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Это определяет номенклатуру, интенсивность и механизм воздействия опасных и вредных факторов на спасателя. Анализ данной информации диктует необходимость построения количественных зависимостей на этапе моделирования и рассмотрения системы обеспечения защиты спасателей. В связи с поставленной задачей проведен анализ ряда ЧС и их последствий на различных химически опасных объектах с целью установления номенклатуры опасных и вредных факторов в зависимости от сырья и продукции, производящейся или хранящейся на этих предприятиях; проанализированы условия их транспортирования. Исследован комплекс опасных и вредных факторов для различных предприятий, изучен характер их воздействия на спасателей, которое могут устранять или снижать СИЗ. Проведенные исследования показали, что суммарный риск утраты здоровья спасателя R_3 от воздействия опасных и вредных факторов при ликвидации ЧС выражается функцией

Иерархия защитных свойств СИЗ

Уровни	Комплексная защита									
	Защита от локальных механизмов воздействия					Защита от общих и смешанных механизмов воздействия				
4	механических факторов	жидких агрессивных и неагрессивных сред	химических факторов локального действия	поражений электротоком	общих производственных загрязнений	вибрации	шума	биологических факторов	радиационных факторов	обусловленных климатом
3										
2										
1	ударов, истирания, проколов, порезов, травмирования движущимися механизмами, падения с высоты, травмирования падающими предметами, травмирования при скольжении и др.	растворов ПАВ, воды, влаги, загрязнений жирами, маслами и др.	АХОВ, токсичных веществ, растворов кислот, щелочей, органических растворителей, твердых токсичных веществ, ароматических и неароматических веществ, хлорированных углеводородов, сырой нефти, продуктов легкой и тяжелой фракций, нефтяных масел, растительных и животных масел, жиров и др.	напряжения до 1000 и выше 1000 В, электрических полей, электромагнитных полей, электрической дуги, неионизирующего излучения, статического электричества и др.	нетоксичной пыли, стекловолокна, асбеста и др.	виброскорости, виброускорения	-	макро-организмов, микроорганизмов, вирусов, насекомых, паукообразных и др.	радиоактивных загрязнений, ионизирующих излучений и др.	теплого излучения, открытого пламени, искр, брызг и выплесков расплавленного металла, окалины, нагретых поверхностей, конвективной теплоты, пониженной температуры воздуха и ветра, охлажденных поверхностей

$$R_3 = f[\sum_{i=1}^n P_i; P_i(t)], \quad (2)$$

вид и характер которой определяют опасные и вредные факторы и нарушение здоровья спасателей. Здесь $P_i, P_i(t)$ – соответственно, интенсивность и время воздействия i -го опасного и вредного фактора на спасателя.

Полученные характеристики интенсивности и времени воздействия опасных и вредных факторов на спасателей могут быть применены для идентификации зависимости (2) и последующей вероятной оценки суммарного риска утраты ими здоровья в случае неэффективного применения СИЗ или их применения не по назначению. Указанное снижение риска можно выразить некоторой функцией, характеризующей защитные свойства, но только зависящей от вектора параметров СИЗ $\bar{x}_i$:

$$R_{\text{сиз}} = f(\bar{x}_i). \quad (3)$$

Обе зависимости (2) и (3) описывают риск, их можно сопоставить и далее судить об эффективности СИЗ при воздействии комплекса опасных и вредных факторов.

При определении факторов для построения моделей (2) и (3) использованы нормативная документация, результаты исследований по данной проблеме [2 – 4] и собственные исследования [5, 6]. Был сформирован перечень факторов из 50 наименований.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Полученное значение риска R использовали для обоснования показателей защитных свойств материалов и конструкций СИЗ спасателей путем сопоставления его со значением снижения риска воздействия опасных и вредных факторов при ликвидации ЧС за счет применения СИЗ при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Список литературы / References

1. Бадагуев, Б.Т. Средства индивидуальной защиты : классификация и контроль качества, порядок выдачи и применения, хранение и уход, учет СИЗ / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2010. – 158 с.

Badaguyev B.T. *Sredstva individual'noi zashhity: klassifikatsiya i kontrol' kachestva, poryadok vydachi i primeneniya, khranenie i ukhod, uchyot SIZ* [Personal protective equipment: classification and quality control, distribution and application procedure, storage and maintenance, accounting of the personal protective equipment]. Moscow, Al'fa-Press Publ., 2010, 158 p. (In Russian).

2. Труды ИСА РАН: Системы управления и моделирование. Динамические системы. Управление рисками и безопасностью. Методы и модели в экономике.

Прикладные аспекты информатики / под ред. С.В. Емельянова. – М.: Красанд, 2014. – 124 с.

Trudy ISA RAN: Sistemy upravleniya i modelirovanie. Dinamicheskie sistemy. Upravlenie riskami i bezopasnost'yu. Metody i modeli v ekonomike. Prikladnye aspekty informatiki / Pod red. S.V. Emel'yanova [Proceedings of the ISA RAN: Control systems and simulation. Dynamic systems. Risk and safety management. Methods and models in the economics. Applied aspects of the information science / S.V. Emel'yanov, ed.]. Moscow, Krasand Publ., 2014, 124 p. (In Russian).

3. Бадалова, А.Г. Управление рисками деятельности предприятия / А.Г. Бадалова, А.В. Пантелеев. – М.: Вузовская книга, 2016. – 234 с.

Badalova A.G., Panteleev A.V. *Upravlenie riskami deyatel'nosti predpriyatiya* [Risk management of the enterprise activity]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2016, 234 p. (In Russian).

4. Белов, П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Ч. 3 / П.Г. Белов. – М.: Юрайт, 2016. – 272 с.

Belov P.G. *Upravlenie riskami, sistemnyi analiz i modelirovanie v 3 ch. Ch. 3.* [Risk management, system analysis and simulation in 3 parts. Part 3]. Lyubertsy, Yurait Publ., 2016, 272 p. (In Russian).

5. Долженков, А.Ф. Особенности комплексного подхода к оценке надежности СИЗ с учетом уровней их защиты / А.Ф. Долженков, С.А. Долженков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка, 2011. – № 2(26). – С. 137 – 143.

Dolzhenkov A.F., Dolzhenkov S.A. *Osobennosti kompleksnogo podkhoda k otsenke nadyozhnosti SIZ s uchyotom urovnei ikh zashhity* [Peculiarities of the complex approach to reliability assessment of the personal protection equipment with due regard for their protection levels]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh uslovii truda v ugol'nykh shachтах: sb. nauch. tr.* [Methods and means for creation of safe and healthy work environment in coal mines: collected scientific papers]. Makeyevka, 2011, no. 2(26), pp. 137 – 143. (In Russian).

6. Долженков, А.Ф. Особенности применения комплексного подхода при оценке защитных свойств спецодежды шахтерской / А.Ф. Долженков, С.И. Тарасенко // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: тезисы докладов XII Международной научно-практической конференции, 22–23 ноября 2017 г. – Кемерово, 2017. – С. 112.1 – 112.7.

Dolzhenkov A.F., Tarasenko S.I. *Osobennosti primeneniya kompleksnogo podkhoda pri otsenke zashhitnykh svoystv spetsodezhdy shakhtyorskoi* [Peculiarities of the use of the complex approach during assessment of protective properties of the mining working clothes.] *Besopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatii v promyshlennno razvitykh regionakh: tezisy dokladov XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 22–23 noyabrya 2017 g.* [Life safety of enterprises

in industrialized advanced regions: abstracts of papers of the 12th International theoretical and practical conference, November, 22–23, 2017]. Kemerovo, 2017, pp. 112.1 – 112.7. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Агеевым
Дата поступления рукописи 17.09.2020

Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), deputy director (on science);

e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-03

Tatyana Viktorovna Knyazeva, head of the Minister’s office; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

The Ministry of the Donetsk People’s Republic for Civil Defence, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters

283050, Donetsk, 60, ulitsa Shchorsa. Phone (+38 062) 340-62-80

Tatyana Olegovna Moroz, advanced engineer; e-mail: tatiana.moroz@rambler.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-43

Yelena Vyacheslavovna Lopatina, main specialist; e-mail: alenathukurova@mail.ru

The Ministry of the Donetsk People’s Republic for Civil Defence, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters

283050, Donetsk, 60, ulitsa Shchorsa. Phone (+38 062) 340-62-65

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THE RESCUERS’ PROTECTION

Purpose. To substantiate principles of the complex approach to assessment of reliability of the rescuers’ personal protection equipment, factoring in its protection level.

Methods. Analysis, generalization and systematization of the rescuers’ protection level; investigations of protective and operating characteristics of the rescuers’ personal protection equipment applying the modern technical measuring equipment; simulation of dependences between the indices which characterize the properties of the personal protection equipment of the rescuers in conditions of carrying-out the emergency and rescue and other urgent operations.

Results. The obtained values of risk indices have been used for substantiation of the protective properties of materials and constructions of the personal protection equipment of the rescuers that were assumed as a basis of development of the complex approach during assessment of the reliability of the personal protection equipment.

Scientific novelty. The approaches have been developed that allow substantiating the criteria of assessment of the properties of materials and constructions of the personal protection equipment for the rescuers.

Practical value. The implementation of the complex approach in the assessment of the reliability of the personal protection equipment of the rescuers will permit to increase the efficiency of their protection.

Key words: civil defence; emergencies; personal protection equipment; hazardous and harmful factors; complex assessment of the personal protection equipment.

УДК 622.281.74

Александр Олегович Новиков, д-р техн. наук, проф.; e-mail: rpm@mine.donntu.org;

Павел Сергеевич Дрипан, ст. преподаватель; e-mail: dripanps@mail.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Донецкий национальный технический университет»

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38 062) 301-09-01

Ирина Геннадиевна Старикова, канд. техн. наук, ученый секретарь; e-mail: ir-starik@mail.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,

пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 301-78-18

БЕСКЛЕЕВОЙ СПОСОБ ЗАКРЕПЛЕНИЯ АНКЕРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Цель. Установление закономерностей процесса установки в породный массив анкера большего диаметра, чем диаметр направляющего шпура, при статическом силовом воздействии на него с учетом возникающих сопротивлений его перемещению в сечении и по длине для обоснования параметров устройства крепления.

Методы. Теоретический метод исследований с использованием теории физического моделирования и его критериев проведения полного факторного эксперимента, позволяющей обосновать технические параметры способа установки анкера.

Результаты. Дан анализ существующих способов и конструкций анкерной крепи. Предложен новый способ закрепления породного массива горной выработки анкером с диаметром большим, чем диаметр шпура, при воздействии на него статической нагрузки. Описана методика проведенного полного факторного эксперимента, соблюдены критерии подобия при моделировании. Частично представлены результаты выполненных исследований.

Научная новизна. Впервые в лабораторных условиях подтверждена техническая возможность закрепления в породном массиве анкера большего диаметра, чем диаметр направляющего шпура, при динамическом воздействии на него, с учетом возникающих сопротивлений его перемещению в сечении и по длине, что обеспечит безопасное ведение горных работ и значительно снизит затраты при креплении горного массива.

Ключевые слова: *породный массив; моделирование; критерии подобия; анкер; шпур; нагрузка.*

Постановка проблемы. Как показывают статистические данные о травматизме в угольной отрасли, до 30 % несчастных случаев происходят в забойной части выработок при ведении подготовительных работ из-за несвоевременной установки или отсутствия временного крепления. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы на шахтах является установка анкерной крепи сразу после выемки породы в забое. Технологичность и высокий уровень механизации при ее возведении позволяют не только повысить темпы работ, но и обеспечить высокий уровень безопасности производства. Наибольшее распространение в условиях шахт Донецкого угольного бассейна получили сталеполимерные анкеры, технология установки которых и параметры крепи определяются в соответствии с СОУ 10.1.05411357.010:2014

(Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования), СТП (02070826)(26319481):2010 «Методика определения параметров анкерных породо-армирующих систем для обеспечения устойчивости горных выработок» и другими работами [1]. Однако до 50 % стоимости установки таких анкеров составляют затраты на ампулы с полимерными смолами, с помощью которых анкера закрепляются в шпурах. В этой связи исследования, направленные на разработку технологий и конструкции анкеров, устанавливаемых безраспорным (бесклеевым) способом, – перспективны и актуальны.

В настоящее время в мировой практике строительства и поддержания горных выработок применяется большое количество безраспорных конструкций анкеров [2], которые, впрочем, не получили широкого применения по ряду причин: необходимость изготовления анкеров из высокопрочных упругих сталей, дорогое дополнительное оборудование для их установки. Так, предложенный в США способ установки анкеров путем их силового вдавливания в породный массив с помощью гидравлической установки не нашел промышленного использования по тем же причинам, а также из-за невозможности обеспечить необходимое пространственное расположение устанавливаемого анкера [3]. В ДонНТУ был предложен и запатентован способ закрепления породного массива стальным анкером с диаметром, большим диаметра направляющего шпура (Пат. 55763 Украина, МПК E 21 D 20/00. Способ установки анкера. № u200901503). При этом особенности и закономерности изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) пород, в которые устанавливаются анкера, изучены недостаточно полно.

В этой связи исследования, направленные на разработку технологий и конструкций анкеров, устанавливаемых безраспорным (бесклеевым) способом, перспективны и актуальны.

Цель работы – определение закономерностей процесса установки в породный массив анкера большего диаметра, чем диаметр направляющего шпура, при статическом силовом воздействии на него с учетом возникающих сопротивлений его перемещению в сечении и по длине для обоснования параметров устройства крепления. Результаты исследований позволят также оценить адекватность выполненного ранее математического моделирования [4, 5].

Идея работы состоит в использовании теории физического моделирования и его критериев проведения полного факторного эксперимента, позволяющей обосновать технические параметры способа.

Цель исследования – определить закономерности взаимодействия стального анкера и породного массива при его установке в породу бесклеевым способом в направляющий шпур меньшего, чем анкер, диаметра под действием нагрузки, а **предмет** – геометрические параметры и механические характеристики анкера и породного массива.

Исходя из вышеизложенного, задачи исследований состоят в следующем:

- провести физическое моделирование установки стального анкера в реальную горную породу под действием статической нагрузки;
- оценить техническую возможность реализации способа установки анкера в направляющий шпур меньшего диаметра;
- определить оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых для установки потребуется минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений.

Экспериментальные исследования по определению статической нагрузки при закреплении анкера в горных породах с использованием физического моделирования проведены в лабораторных условиях в Физико-техническом институте им. А.А. Галкина и Донецком национальном техническом университете.

Методика исследований. Для проведения лабораторного эксперимента по установке анкера в направляющий шпур меньшего диаметра с помощью статической нагрузки необходимо выполнить условия геометрического и механического подобия [6, 7].

Обозначим индексом (1) параметры модели, индексом (2) – натуре. Тогда условие геометрического подобия выглядит следующим образом:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{d_1}{d_2} = C_e, \quad (1)$$

где l – длина анкера, м;

d – диаметр анкера, м;

C_e – множитель подобия.

Условие механического подобия при статической нагрузке примет вид

$$\frac{P_1 l_1^2}{E_1 I_1} = \frac{P_2 l_2^2}{E_2 I_2}. \quad (2)$$

В нашем случае модуль упругости модели E_1 и модуль натуре E_2 равны, отсюда определим силу, которую необходимо приложить к образцу при статической нагрузке:

$$P_1 = P_2 \frac{l_2^2 I_1}{l_1^2 I_2}. \quad (3)$$

Моменты инерции модели I_1 и натуре I_2 определим из выражений

$$I_1 = \frac{\pi d_1^4}{64}; \quad I_2 = \frac{\pi d_2^4}{64}. \quad (4)$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$P_1 = P_2 \frac{l_2^2}{l_1^2} \frac{d_1^4}{d_2^4}. \quad (5)$$

Для определения возможности использования данного способа на первом этапе установку анкеров в породные массивы провели под действием статической нагрузки с помощью пресса.

В качестве образцов использовали образцы горных пород: песчаника, песчаного и глинистого сланцев с различными размерами: длина образцов $0,30 \cdot 10^{-2} \dots 0,35 \cdot 10^{-2}$ м, ширина – $0,15 \cdot 10^{-2} \dots 0,20 \cdot 10^{-2}$ м, толщина – $0,18 \cdot 10^{-2} \dots 0,25 \cdot 10^{-2}$ м.

При выполнении экспериментов значения трех искомых переменных изменялись в пределах: отношение диаметров анкера d и шпура $d_{ш} - k_0 = d/d_{ш}$: 1,1; 1,13; 1,15; 1,17; 1,2; 1,3, механические характеристики горных пород: модули упругости $E_{п} = 35,6 \cdot 10^3$; $18,9 \cdot 10^3$; $10,8 \cdot 10^3$ МПа (соответствующие предельные напряжения на сжатия $\sigma_{сж} = 60$; $40,8$; $30,3$ МПа) и длина анкеров $l = 0,15$ м.

В связи с тем, что при выполнении эксперимента имеет место взаимное влияние исследуемых параметров, авторы предложили при планировании эксперимента применить полную факторную матрицу, представленную в табл. 1.

Таблица 1

Матрица полного факторного эксперимента типа 2^3

Матрица ПФЭ – 2 ³										Условия опыта			
Серия	Код опыта	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	Взаимодействия				Код уровня	Выход		
						x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃		y ₁	y ₂	y ₃
I	d	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
	p	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
	m	+	–	–	–	+	+	+	–	(1)			
II	d	+	+	–	–	–	–	+	+	a			
	p	+	+	–	–	–	–	+	+	a			
	m	+	+	–	–	–	–	+	+	a			
III	d	+	–	+	–	–	+	–	+	b			
	p	+	–	+	–	–	+	–	+	b			
	m	+	–	+	–	–	+	–	+	b			
IV	d	+	+	+	–	+	–	–	–	ab			
	p	+	+	+	–	+	–	–	–	ab			
	m	+	+	+	–	+	–	–	–	ab			
V	d	+	–	–	+	+	–	–	+	c			
	p	+	–	–	+	+	–	–	+	c			
	m	+	–	–	+	+	–	–	+	c			
VI	d	+	+	–	+	–	+	–	–	ac			
	p	+	+	–	+	–	+	–	–	ac			
	m	+	+	–	+	–	+	–	–	ac			

Окончание табл. 1

Матрица ПФЭ – 2 ³										Условия опыта			
Серия	Код опыта	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	Взаимодействия				Код уровня	Выход		
						x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃		y ₁	y ₂	y ₃
VII	d	+	–	+	+	–	–	+	–	bc			
	p	+	–	+	+	–	–	+	–	bc			
	m	+	–	+	+	–	–	+	–	bc			
VIII	d	+	+	+	+	+	+	+	+	abc			
	p	+	+	+	+	+	+	+	+	abc			
	m	+	+	+	+	+	+	+	+	abc			

При кодировании факторов линейно преобразуется факторное пространство с переносом начала координат в центр эксперимента и выбором масштаба по осям в единицах варьировемых факторов.

За x_1 примем отношение k_0 , x_2 – модули упругости E_n , x_3 – длину анкеров l , y_1, y_2, y_3 – нагрузки P_1, P_2, P_3 .

Факторы кодируем посредством зависимости

$$\tilde{x}_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i0}}{\Delta \bar{x}_i}, \quad (7)$$

где $\tilde{x}_i$ – кодированное значение фактора (безразмерная величина);

$\bar{x}_i$ – значение фактора в именованных (натуральных) единицах;

$\bar{x}_{i0}$ – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\Delta \bar{x}_i$ – натуральное значение интервала варьирования.

Верхний уровень варьирования фактора обозначается (+1), нижний – (–1). В центре эксперимента фактор имеет базисный уровень (среднее значение). Границы варьирования факторов известны из априорной информации или имеют технические ограничения.

Для трех факторов все возможные их комбинации могут быть исчерпаны при реализации восьми серий опытов. Следовательно, число экспериментов для данного случая можно записать как 2^k , где 2 – число уровней; k – число одновременно варьировемых факторов; записывается как ПФЭ – 2^k .

В дальнейшем определяли коэффициенты уравнения регрессии, которое получили на основании обработки результатов эксперимента по методике, изложенной в работе [8].

Испытания проводили в такой последовательности: в испытуемых образцах пород просверливали отверстия необходимого диаметра, причем расстояния между соседними шпурами превышали шесть диаметров шпура, что обеспечивало выполнение граничных условий. Затем с помощью гидравлического пресса проводили установку анкеров, фиксируя глубину вдавливания и давление на манометре пресса. Внешний вид пресса приведен на рис. 1. В качестве примера даны фотографии состояния образцов после испытаний: глинистого сланца – на рис. 2, песчаника – на рис. 3.



Рис. 1. Общий вид пресса



Рис. 2. Запрессовка анкера
в образцы глинистого сланца



Рис. 3. Запрессовка анкера
в образцы песчаника

В результате проведенных экспериментальных исследований установлены величины статической нагрузки при закреплении анкеров горных пород, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований
по определению статической нагрузки при закреплении анкеров
в образцах горных пород

№ опыта	Тип горной породы	Длина l , мм; диаметр анкера D , мм; длина шпура $l_{ш}$, мм; диаметр шпура d , мм (k_0)	Глубина вдавливания в породу l_v , мм	Статическая нагрузка $P_{ст}$, кН
Эксперимент № 1				
1	Сланец глинистый	$l = 150\text{мм}; D = 11 \text{ мм};$ $l_{ш} = 180 \text{ мм}, d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,1$	50	31,7
2			100	64,7
3			150	87,1
Эксперимент № 2				
1	Сланец глинистый	$l = 150 \text{ мм}; D = 12 \text{ мм};$ $l_{ш} = 180 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,2$	50	88,7
2			100	173,8
3			135	223,7
Эксперимент № 3				
1	Сланец глинистый	$l = 150 \text{ мм}; D = 13 \text{ мм};$ $l_{ш} = 180 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,3$	50	136,1
2			100	238,1
3			120	305,6
Эксперимент № 4				
1	Сланец песчаный	$l = 150 \text{ мм}; D = 11 \text{ мм};$ $l_{ш} = 160 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,1$	50	47,8
2			100	92,3
3			135	116,6
Эксперимент № 5				
1	Сланец песчаный	$l = 150 \text{ мм}; D = 11,5 \text{ мм};$ $l_{ш} = 160 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,15$	50	83,5
2			100	153,2
3			130	187,2
Эксперимент № 6				
1	Сланец песчаный	$l = 150 \text{ мм}; D = 12 \text{ мм};$ $l_{ш} = 160 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,2$	50	125,6
2			100	235,5
3			125	260,8
Эксперимент № 7				
1	Песчаник	$l = 150 \text{ мм}; D = 11 \text{ мм};$ $l_{ш} = 140 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}, k_0 = 1,1$	50	66,5
2			100	127,0
3			120	136,4
Эксперимент № 8				
1	Песчаник	$l = 150 \text{ мм}; D = 11,3 \text{ мм};$ $l_{ш} = 140 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,13$	50	105,3
2			100	203,1
3			115	197,2
Эксперимент № 9				
1	Песчаник	$l = 150 \text{ мм}; D = 11,7 \text{ мм};$ $l_{ш} = 140 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}; k_0 = 1,17$	50	151,3
2			100	299,9
3			110	291,3

Выводы

1. Результаты проведенных исследований подтвердили техническую возможность применения нового способа закрепления анкеров в горных породах, при котором анкер большего диаметра устанавливается в направляющий шпур с меньшим диаметром.

2. Для различных горно-геологических и горнотехнических условий определены оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых

для установки потребуется минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений.

В настоящее время проводят эксперименты по определению усилий закрепления анкеров, а также ведут подготовку к натурным испытаниям по закреплению анкеров в породном массиве с последующим использованием полученных результатов для проверки адекватности выполненных ранее теоретических исследований по определению параметров способа установки анкера.

Список литературы / References

1. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вильпо, 2010. – 372 с.

Bulat A.F., Vinogradov V.V. *Oporno-ankernoe krepnenie gornykh vyrabotok ugol'nykh shakt* [Roof-bolting fastening of mine workings of coal mines]. Dnepropetrovsk, Vil'po Publ., 2010, 372 p. (In Russian).

2. Широков, А.П. Теория и практика применения анкерной крепи / А.П. Широков. – М.: Недра, 2012. – 381 с.

Shirokov A.P. *Teoriya i praktika primeneniya ankernoi krepri* [Theory and practice of the roof-bolting application]. Moscow, Nedra Publ., 2012, 381 p. (In Russian).

3. Харрелл, М.В. Новый гидравлический способ установки анкерных болтов / М.В. Харрелл // Mining Congress Journal. – 1971. – № 6.

Kharrell M.V. *Novyi gidravlicheskiy sposob ustanovki ankernykh boltov* [New hydraulic method of anchor bolts installation]. Mining Congress Journal, 1971, no. 6.

4. Прочность. Устойчивость. Колебания / Под общ. ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 1. – 831 с.

Prochnost'. Ustoichivost'. Kolebaniya. Pod obshh. red. Birgera I.A., Panovko Ya.G. [Strength. Stability. Fluctuations. Birger I.A., Panovko Ya.G., general eds.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, vol. 1, 831 p. (In Russian).

5. Дрипан, П.С. Устойчивость анкера при установке в породный массив под действием динамической нагрузки / П.С. Дрипан // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 3(56). – С. 37 – 45.

Dripan P.S. *Ustoichivost' ankera pri ustanovke v porodnyi massiv pod deistviem dinamicheskoi nagruzki* [Stability of an anchor when installed in a rock massif under the action of dynamic load]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [The scientific bulletin of NIIGD "Respirator": scientific-technical journal. Donetsk, 2019, no. 3(56), pp. 37 – 45. (In Russian).

6. Моделирование физических процессов в горном производстве / С.В. Борщевский, С.А. Калякин, К.Н. Лабинский, И.Ф. Марийчук и др. – Донецк: НОУЛИДЖ, 2016. – 250 с.

Borshhevskiy S.V., Kalyakin S.A., Labinskiy K.N., Mariychuk I.F. et al. *Modelirovanie fizicheskikh prozessov v gornom proizvodstve* [Modeling of physical

processes in the mining production]. Donetsk, Knowledge Publ., 2016, 250 p. (In Russian).

7. Основы моделирования геомеханических процессов / под общ. ред. И.А. Ефремова и Н.В. Малеева. – Донецк: НОУЛИДЖ, 2012. – 263 с.

Osnovy modelirovaniya geomekhanicheskikh protsessov. Pod obshh. red. Efremova I.A., Maleeva N.V. [Fundamentals of modeling the geomechanical processes. Efremov I.A., Maleev N.V., general eds.]. Donetsk, Knowledge Publ., 2012, 263 p. (In Russian).

8. Основы научных исследований в геомеханике / Б.Н. Онопчук, С.В. Подкопаев, И.Ф. Марийчук, С.А. Алексеенко и др. – Донецк: НОУЛИДЖ, 2011. – 198 с.

Onopchuk B.N., Podkopaev S.V., Mariychuk I.F., Alekseenko S.A. et al. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v geomekhanike* [Fundamentals of scientific research in geomechanics]. Donetsk, Knowledge Publ., 2011, 198 p. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 16.02.2021

Aleksandr Olegovich Novikov, Dr. Sci. (Tech.), prof.; e-mail: rpm@mine.donntu.org;

Pavel Sergeyevich Dripan, senior lecturer; e-mail: dripanps@mail.ru

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Donetsk National Technical University”

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 301-03-09

Irina Gennadiyevna Starikova, Cand. Sci. (Tech.), academic secretary; e-mail: ir-starik@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-18

DRY METHOD OF ANCHOR FASTENING UNDER THE INFLUENCE OF A STATIC LOAD

Purpose. To establish the regularities of a process of setting the anchor of a bigger diameter than the pass-through borehole one into the rock massif under the static force impact on it factoring in the arising resistances against its movement in the cross-section and along the length in order to substantiate the parameters of a fastening device.

Methods. Theoretical method of investigations with application of the theory of physical modeling and its criteria of conducting the complete factorial experiment that allows substantiating the technical parameters of the method of anchor setting.

Results. The analysis of the current methods and constructions of the roof-bolting has been presented. The new method of the rock massif fastening in a mine working with the anchor of a bigger diameter than the pass-through borehole diameter under the influence of the static load on it has been proposed. The methodology of the conducted complete factorial experiment has been described; the similarity criteria have been kept during the modeling. The results of the conducted investigations have been partially presented.

Scientific novelty. For the first time the technical possibility of fastening the anchor of the bigger diameter in a rock massif than the pass-through borehole diameter under the dynamic impact on it has been confirmed in the laboratory conditions taking into account arising resistances against its movement in the cross-section and along the length that will ensure the safe carrying-out of the mining operations and considerably reduce the expenses on the rock massif fastening.

Keywords: rock massif; modeling; similarity criteria; anchor; borehole; load.

УДК [614.84-051:612.821]:614.841.45

Михаил Сергеевич Хацько, нач. каф.; e-mail: kursantaczu@bk.ru;

Николай Анатольевич Никитюк, магистрант; e-mail: nikityuk83@inbox.ru

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Академия гражданской защиты» МЧС ДНР*

283050, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34а. Тел. (+38 062) 304-13-09

Игорь Феликсович Дикенштейн, науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru;

Наталья Александровна Тохташ, инж.; e-mail: kalinichenko_080597@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР*

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-41

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ СОТРУДНИКОВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ МЧС ДНР В ОБЛАСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Цель. Разработка инновационной модели формирования профессиональных качеств сотрудников газодымозащитной службы МЧС ДНР в области человеческого фактора.

Методы. Информационно-аналитические исследования проблем тактической вентиляции и профессиональных качеств сотрудников газодымозащитной службы МЧС ДНР.

Результаты. Предлагается модель профессиональной подготовки пожарных-спасателей по преодолению негативного влияния человеческого фактора при использовании тактической вентиляции на пожаре.

Научная новизна. Разработка инновационной модели профессиональной подготовки пожарных-спасателей.

Практическая значимость. Разработка и внедрение инновационной модели даст новый импульс для успешного проведения тактической вентиляции помещений при пожаре.

Ключевые слова: пожарный; профессиональные качества; человеческий фактор; аварийно-спасательные работы; спасатель; тактическая вентиляция; программы управления ресурсами команды; объемная вспышка; обратная тяга.

Постановка проблемы. Работа пожарных Донецкой Народной Республики (далее – ДНР) протекает в экстремальных условиях. Высокий уровень профессионального риска формируется стихийно. Опасные и вредные факторы многократно превышают допустимые уровни, и их снижение практически невозможно. Особую роль играет человеческий фактор, в частности, ошибочные решения, принимаемые пожарным-спасателем, приводящие к тяжелым последствиям. В экстремальных условиях пожара спасатели могут получать не только различные физические повреждения, но и испытывать травматические стрессовые расстройства. У них возможно развитие дезадаптивных психических состояний, отрицательно влияющих на эффективность действий и приводящих к принятию ошибочных решений.

В исследованиях, посвященных проблеме производственного травматизма, его причинам и последствиям, большое внимание уделяется роли человеческого

фактора в различных его проявлениях. Подтверждение актуальности этой проблемы – современные статистические данные о несчастных случаях на производствах. По одним данным, два случая из трех – вина работающего человека, по другим – от человеческого фактора зависит не менее 90 % несчастных случаев.

Поэтому учет человеческого фактора, преодоление его негативного влияния – необходимое условие повышения безопасности труда персонала, населения и окружающей среды.

Анализ последних публикаций. Существует значительное количество работ, посвященных негативной роли человеческого фактора в проблеме безопасности [1 – 4]. Однако конкретных исследований влияния человеческого фактора на безопасность труда пожарных вообще и на уровень травматизма сотрудников газодымозащитной службы в частности крайне мало, они имеют общий характер [5, 6].

Цель статьи – разработка инновационной модели формирования профессиональных качеств сотрудников газодымозащитной службы МЧС ДНР в области человеческого фактора.

Изложение основного материала. Основные причины травм и человеческих жертв при пожаре – высокая температура или открытое пламя, удушье, обусловленное ядовитыми дымовыми газами. Применение вентиляции – важный инструмент пожаротушения и дымоудаления. Удаление дыма из горящего здания или отдельного помещения, обеспечение безопасности путей эвакуации для пострадавших – это функции звена дымоудаления, то есть звена газодымозащитной службы (ГДЗС). Один из современных методов борьбы с дымом – это тактическая вентиляция.

Тактическая вентиляция представляет собой комплекс мероприятий по управлению газообменом на пожаре с использованием специальных технических средств и принципов для снижения вероятности воздействия опасных факторов пожара, гибели и травмирования людей и создания приемлемых условий ликвидации горения или последствий чрезвычайной ситуации.

Цели тактической вентиляции:

- предотвращение «объемной вспышки»;
- снижение вероятности появления «обратной тяги»;
- уменьшение интенсивности образования продуктов горения и их концентрации;
- понижение температуры пожара;
- предотвращение скопления тепла;
- обеспечение безопасности пожарных и спасателей, осуществляющих тушение пожара;
- предотвращение образования и удаление перегретого пара;
- снижение температуры на участках работы;
- улучшение видимости в зоне работы звеньев газодымозащитников по тушению, поиску и спасению людей;

- снижение токсической концентрации газов и паров, опасной для людей, застигнутых пожаром в здании;
- предотвращение распространения огня и дыма.

Применение тактической вентиляции постепенно становится нормой при тушении пожаров.

Следует отметить, что пожары и различные тактические ситуации во время тушения бывают случайными и непредсказуемыми, поэтому даже хорошо подготовленный газодымозащитник может за время службы ни разу не столкнуться на практике со сложными случаями тушения и не приобрести соответствующие практические навыки. Многие опытные пожарные незнакомы с такими явлениями, как, например, «обратная тяга» или «огненный вихрь».

По данным официальной статистики, за последние 20 лет количество явлений типа «обратная тяга» и «огненный вихрь» выросло в 6 раз. Причиной чрезвычайно плотной задымленности при пожаре больших площадей стало применение в строительстве полимерных материалов, обладающих высокой дымообразующей способностью. Кроме того, популярные ныне свободные планировки жилых, производственных и офисных помещений, а также загроможденность складских и торговых площадей в условиях нулевой видимости при пожаре приводят к дезориентации газодымозащитников. Они теряют направление выхода, что существенно осложняет аварийную ситуацию.

Между тем практика свидетельствует о явных преимуществах использования тактической вентиляции при пожаре. Это связано с тем, что создание в определенном узле вентиляционной сети избыточного давления с помощью напорных вентиляторов на пожарных автомобилях или переносных дымососов позволяет звеньям ГДЗС в кратчайшее время обнаружить очаг пожара и приступить к его ликвидации, максимально уменьшая вероятность образования «объемной вспышки» дымовых газов.

Применение тактической вентиляции предполагает наличие у работников ГДЗС комплекса определенных знаний, которые позволяют безошибочно оценить ситуацию.

Одно из самых трудных для руководителя тушения ранней стадии пожара в здании (строении) – принятие решения о применении тактического вентилирования. В США давно признали, что самый жизнеспособный подход для пожарных – это начать вентилирование здания на ранней стадии развития пожара для обеспечения лучших условий работы пожарных и вывода оставшихся внутри здания людей. Для сопоставления: европейский подход рассматривает раннее вентилирование как стратегию, чреватую большими проблемами. Скорость горения пожара увеличивается после начала поступления дополнительного воздуха в помещение.

Пожарные Соединенных Штатов Америки зачастую применяют тактическое вентилирование, а пожарные в Европе прибегают к этой мере чрезвычайно редко. Исследования показали, что и в первом, и во втором случаях невозможно избежать беды как для находящихся в здании людей, так и для пожарных.

Мобильные пожарные дымососы дают возможность создавать искусственное избыточное давление внутри здания и в его отдельных помещениях для понижения высокой температуры и удаления дыма и токсичных продуктов горения, что улучшает условия работы продвигающихся внутрь пожарных.

Многие руководители противопожарных служб во всем мире все еще скептически относятся к концепции принудительного вентилирования. Стратегия с применением тактического вентилирования считается потенциально опасной, с точки зрения ее противников, но всячески поддерживается ее верными сторонниками. Европейские пожарные службы указывают на проблемы, которые, по их мнению, несет в себе тактическое вентилирование. Еще в 1980-х гг. Шведская противопожарная служба обратила пристальное внимание на динамику развития пожара, проведя ряд исследований влияния разных видов вентилирования на процесс пожаротушения в зданиях и ограниченных пространствах.

В настоящее время европейский подход заключается в стабилизации внутреннего состояния, используя тактику изоляции или локализации пожара как приоритетную. Важно применять сопряженные с риском принципы в принятии решения и при этом точно рассчитать, когда раннее тактическое вентилирование будет продуктивным. При правильном подходе создание избыточного давления путем притока воздуха даст большее преимущество людям, находящимся в горящем здании, и пожарным, ведущим спасательные работы, чем любые действия по локализации пожара. В ситуациях, когда пожарные не могут подняться по лестнице для обследования верхних этажей здания из-за закрытого на крыше окна (люка), на лестничной клетке создаются высокие температуры, а плотность дыма там настолько высока, что она ограничивает видимость и делает работу пожарных невозможной или крайне опасной. В других случаях дополнительный приток свежего воздуха приводит к моментальному распространению пожара через пустоты крыши и т.д. Порой тактическое вентилирование или неправильно выбранное место для его проведения обуславливает распространение пожара и выход его из-под контроля, подвергая опасности жизни людей и пожарных. Важно также учитывать, что при открытии проема внутреннее давление в помещении приближается к равновесию с внешним давлением. Поэтому дым и горючие газы начинают выходить из вентилируемой области, а чистый воздух проникает и смешивается с оставшимися газами, что может привести к повторному разгоранию уже затухающего пожара. В данной ситуации может произойти явление «обратной тяги», вызывающее «объемную вспышку» пламени в горящем помещении. Тактическое вентилирование с применением пожарными переносных дымососов обычно используется для удаления дыма из отдельного помещения, проведения его осмотра и тушения обнаруженных очагов. Активное вентилирование на поздней стадии пожара улучшает условия для пожарных, увеличивает видимость, быстро и эффективно удаляет дым

и опасные газы и снижает температуру в помещении. Особенно эффективны пожарные дымососы в сочетании со смонтированными на них устройствами для тонкого распыления воды (например, устройство УЛТВ, разработанное во НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР). Впрочем, использование избыточного вентилирования с применением пожарными переносных дымососов требует более детального изучения и всестороннего понимания аэродинамики пожара в помещениях. При использовании переносных пожарных дымососов следует знать, где расположен очаг пожара, в какой стадии находится пожар, контролируется ли он горючей нагрузкой или вентиляцией.

Применение переносных пожарных дымососов запрещено при вероятности нахождения в здании людей и контроле пожара вентиляцией, а также при наличии признаков, указывающих на возникновение «обратной тяги». Если пожар достиг управляемого горючей нагрузкой режима с установившимся горением, то возможно безопасно начать тактическое вентилирование. Однако пожарные должны понимать, что поток воздуха от вентилятора все еще может смешаться с нагретыми газами и образовать горючую среду. Возможность для распространения пожара в другие помещения, где элементы здания имеют брешь, остается всегда. В данном случае пожарные могут использовать переносные дымососы только вместе с тепловизорами, чтобы контроль за распространением пожара, например, во внутренние шахты или пустоты крыши был неизменным.

Практика тушения и научные исследования зарубежных пожарных обнаружили важную закономерность, которую нужно учитывать при режиме тактической вентиляции: после создания вытяжного проема в горящем помещении в распоряжении звена вентиляции имеется примерно 2...3 мин для начала работы по непосредственному тушению пожара. Создавать вытяжной проем можно только после того, как будут подготовлены силы и средства тушения в достаточном количестве. В противном случае, если вытяжной проем уже создан, а силы тушения еще не готовы, потери времени на развертывание приведут к стремительному развитию пожара.

Пожарные должны соблюдать особую осторожность, если процессы горения происходят в труднодоступных местах, помещениях, пустотах, а пожар находится в стадии управления вентиляцией. В этой ситуации необходима четкая координация с действиями по тушению.

Таким образом, применение тактической вентиляции связано с решениями, принимаемыми командирами звеньев ГДЗС, то есть с человеческим фактором.

Важность решения проблемы «человеческого фактора» предопределяет необходимость уделять этому должное внимание в системе профессиональной подготовки пожарных-спасателей МЧС ДНР.

В качестве инновационного дополнительного направления и программы подготовки состава звеньев ГДЗС пожарных команд в области человеческого фактора рекомендуем ввести систему профессиональной подготовки «Управление Ресурсами Команды» (далее – УРК).

Как за рубежом проводят специальную профессиональную подготовку в гражданской авиации, так и в Российской Федерации с 1991 г. введены учебно-игровые занятия с летным командным составом в виде индивидуального тренинга взаимодействия «Управление Ресурсами Кабины». На этих занятиях участники тренинга разыгрывают разные ситуации, отрабатывают ролевые функции и стили управления и поведения. Цель такой подготовки – улучшение освоения механизма динамики группового поведения членов экипажа. Занятия демонстрируют требуемый стиль поведения, управления экипажем, дают объективную обратную связь участникам тренинга (с помощью видеонализа и компетентного комментария тренера-психолога), вырабатывают адекватную самооценку и др.

Данная технология, адаптированная С.М. Зиньковской, прекрасно зарекомендовала себя и в подготовке курсантов-пожарных [7]. Она может быть использована и для подготовки членов звеньев ГДЗС.

Подготовка должна быть сконцентрирована на действиях звена ГДЗС как единого коллектива. В программе следует предусмотреть обучение членов звена навыкам использования своих личных качеств и способности руководить таким образом, чтобы повысить дееспособность коллектива.

Программа УРК – всеобъемлющая система улучшения характеристик работы команды спасателей. Она предназначена всему личному составу и представляет собой систему, которую можно применить ко всем видам подготовок курсантов-пожарных. Эта программа сконцентрирована на отношении членов команды спасателей к своему делу и их поведении, а также на том, как эти факторы влияют на безопасность тушения пожара. Программа УРК представляет собой возможность отдельным лицам анализировать свое поведение и принимать самостоятельные решения по улучшению слаженности работы звена ГДЗС.

Для достижения действенных результатов подготовку по УРК необходимо проводить в несколько этапов:

- стадия овладения необходимой информацией (начальный этап);
- стадия осознания, на которой определяются и обсуждаются цели УРК (первый этап);
- стадия практических тренировок с обратной связью, где обучаемые приобретают опыт применения тактического вентилирования (второй этап);
- стадия непрерывного закрепления, в ходе которой под принципы УРК подводится долгосрочная основа (третий этап).

Одно из фундаментальных понятий концепции человеческого фактора и УРК-технологии – «концепция синергии».

Синергия – комбинированное воздействие, итог которого превосходит суммарное значение индивидуальных воздействий. Отсюда и понятие «синергизм», то есть состояние команды спасателей, достигшее синергии в своей совместной деятельности. Это состояние, когда команда как коллективный исполнитель образует некоторую новую целостность, располагающую свойствами, которыми не располагает ни одна из его составляющих.

Необходимо разработать специальные модули программ обучения для курсантов-пожарных. Такими модулями должны быть:

- обучение основам теории газообмена в зданиях и сооружениях при пожаре;
- обучение основам вентилирования зданий и сооружений при пожаре;
- обучение умению распознавать признаки возможного возникновения таких явлений, как «огненная вспышка» и «обратная тяга», поведение при их возникновении;
- компьютерное моделирование общеобменной и тактической вентиляции аварийных зданий и сооружений;
- обучение практическим действиям членов звена ГДЗС при открытии проемов в помещениях;
- обучение навыкам работы с переносными и комбинированными дымососами.

Для успешной работы по современным программам психологического обучения персонала (УРК) профессии, сопряженной с риском, важно придерживаться структуры семинара, владеть специфическими и специальными учебными знаниями, методическими и психологическими навыками. Имеет большое значение, как представлен материал семинара, каковы оборудование рабочего места, раздаточный материал и др. Особое внимание заслуживает стиль преподавания тренера-психолога или тренера-инструктора по УРК (им необходимо проявлять педагогические способности и профессионально важные качества, такие как гибкость, терпеливость, тактичность, умение слушать и др.). От этого зависят действенность общения координаторов (преподавателей) с обучаемыми, их удовлетворенность, способность обратиться за помощью или разъяснением, понимание необходимости обучения, тем более когда речь идет о работе с уже состоявшимися профессионалами.

У слушателей формируются коммуникативные навыки, такие как принятие решения в опасных ситуациях и координация действий звена ГДЗС, тренируются психические процессы (память, внимание, мышление) и эмоционально-волевая сфера, вырабатываются способности к убеждению и критике, развиваются навыки восприятия (невербальная составляющая).

Эффективное обучение в области человеческого фактора предполагает системный взгляд на индивидуальность спасателя или пожарного-профессионала: рассмотрение динамических особенностей выполнения тренировочных упражнений и процессов принятия решения, учет свойств характера и социально-психологической направленности человека, анализ особенностей деятельности. Современная задача в работе с составом ГДЗС состоит в формировании высокого уровня культуры взаимоотношений и обучении современным видам подготовки в области человеческого фактора. Инновационная возможность данной УРК-технологии очень высока.

Вывод. Создание и внедрение программы управления ресурсами команды, приспособленной для профессиональной подготовки специалистов газодымозащитной службы, дает новый импульс для успешного использования тактической вентиляции на пожаре.

Список литературы / References

1. Gertman, D.I., Blackman, H.S. Human reliability and safety analysis data handbook. New York, 1995, 448 p. (In English).

2. Безопасность России. Человеческий фактор в проблемах безопасности / Н.А. Махутов, Р.С. Ахметханов, В.П. Петров, Д.О. Резников и др. – М.: Знание, 2008. – 687 с.

Makhutov N.A., Akhmetkhanov R.S., Petrov V.P., Reznikov D.O. et al. *Bezopasnost' Rossii. Chelovecheskii faktor v problemakh bezopasnosti* [Safety of Russia. Human factor in problems of safety]. Moscow, Znanie Publ., 2008, 687 p. (In Russian).

3. Либерман, А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А.Н. Либерман. СПб.: ВИС, 2006. – 103 с.

Liberman A.N. *Tekhnogennaya bezopasnost': chelovecheskii faktor* [Technogenic safety: human factor]. Saint Petersburg, VIS Publ., 2006, 103 p. (In Russian).

4. Матюшин, А.В. Оценка профессионального риска заболеваемости и гибели пожарных / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, Е.В. Бобров // Пожарная безопасность. – 2005. – № 6. – С. 68 – 74.

Matyushin A.V., Poroshin A.A., Bobrov Ye.V. *Otsenka professional'nogo riska zabolevaemosti i gibeli pozharnykh* [Evaluation of the professional morbidity and fatality risk of fire-fighters]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire safety*, 2005, no. 6, pp. 68 – 74. (In Russian).

5. Мамаев, В.В. Роль человеческого фактора в уровне травматизма / В.В. Мамаев, Е.Н. Розанова, И.Ф. Дикенштейн // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 4(54). – С. 82 – 91.

Mamayev V.V., Rozanova Ye.N., Dikenshteyn I.F. *Rol' chelovecheskogo faktora v urovne travmatizma* [Role of the human factor in a traumatism level]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 4(54), pp. 82 – 91. (In Russian).

6. Калиниченко, Н.А. Человеческий фактор гибели и травматизма спасателей / Н.А. Калиниченко // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования, 2020. – № 3(7). – С. 190 – 194.

Kalinichenko N.A. *Chelovecheskii faktor gibeli i travmatizma spasatelei* [Human factor of fatality and traumatism of rescuers]. *Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya – Fire and technosphere safety: problems and methods of improvement*, 2020, no. 3(7), pp. 190 – 194. (In Russian).

7. Зиньковская, С.М. Рисковать профессионально: системный взгляд на проблему человеческого фактора в опасных профессиях: монография / С.М. Зиньковская / Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2006. – 514 с.

Zin'kovskaya S.M. *Riskovat' professional'no: sistemnyi vzglyad na problemu chelovecheskogo faktora v opasnykh professiyakh: monografiya* [To risk professionally: the system view on the human factor problem in dangerous occupations: monograph]. Ural. gos. ped. un-t Press, Yekaterinburg, 2006, 514 p. (In Russian).

8. Кузнецов, А.А. Современные виды подготовки студентов высшей школы МЧС в области человеческого фактора / А.А. Кузнецов // Педагогические системы развития творчества: сб. науч. тр., 2010. – С. 86 – 93.

Kuznetsov A.A. *Sovremennye vidy podgotovki studentov vysshei shkoly MChS v oblasti chelovecheskogo faktora* [Contemporary types of training of EMERCOM high school students in the field of the human factor]. *Pedagogicheskie sistemy razvitiya tvorchestva: sb. nauch. tr.* [Pedagogical systems of creativity development: collected scientific papers]. 2010, pp. 86 – 93. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 25.01.2020

Mikhail Sergeyevich Khats'ko, head of subdepartment; e-mail: kursantaczu@bk.ru;

Nikolay Anatolyevich Nikityuk, magistrant; e-mail: nikityuk83@inbox.ru

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Civil Defence Academy” of the EMERCOM of DPR

283050, Donetsk, 34a, ulitsa Rozy Luxemburg. Phone: (+38 062) 304-13-09

Igor Feliksovich Dikenshteyn, scientific associate; e-mail: opbush@mail.ru;

Natalya Aleksandrovna Tokhtash, engineer; e-mail: kalinichenko_080597@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: +38 (062) 332-78-41

FORMATION OF PROFESSIONAL SKILLS OF MEMBERS OF THE MChS DPR GAS-SMOKE RESCUE SERVICE WITH REGARD TO HUMAN FACTOR

Purpose. Development of an innovation model for formation of the professional skills of the members of the MChS DPR gas-smoke rescue service with regard to the human factor.

Methods. Information-analytical investigations of tactic ventilation problems and professional skills of the MChS DPR gas-smoke rescue service members.

Results. The model for the professional training of the rescuers-fire-fighters has been proposed with regard to overcoming the negative influence of the human factor in employment of the tactic ventilation during a fire.

Scientific novelty. Development of the innovation model of the professional training of the rescuers-fire-fighters.

Practical value. Elaboration and implementation of the innovation model will give a new impulse for the successful implementation of the tactical ventilation of premises during the fire.

Keywords: fire-fighter; professional skills; human factor; emergency and rescue operations; rescuer; tactical ventilation; programs of team resource management; flashover; backdraft.

УДК [621.565.5+522.867.3]

Владимир Михайлович Медгаус, нач. отд.; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;

Ольга Владимировна Папазова, ст. науч. сотр.; e-mail: papazova.olya@yandex.ru;

Николай Николаевич Попов, науч. сотр.; e-mail: popov.nikn@yandex.ru;

Владислав Вячеславович Шлома, инж. 1 кат.; e-mail: ilsin1995@gmail.com

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел.: (+38 062) 332-78-51*

ВРЕМЯ ХРАНЕНИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ОЭ-2) ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Цель. Исследование теплообменных процессов в системе «охлаждающие элементы ОЭ-2 – теплоизолирующий контейнер – окружающая среда» и возможностей для увеличения времени хранения охлаждающих элементов ОЭ-2.

Методы. Информационно-аналитический и экспериментальный методы исследования. Были изучены информационные, патентные источники, проведен анализ результатов исследования макетного образца контейнера для транспортирования и хранения охлаждающих элементов, изготовленный с использованием слоя фольги из пенополистирола XPS Техноплекс.

Результаты. Могут быть использованы при разработке конструкторской документации на серийное производство изолирующих контейнеров с улучшенными эксплуатационными характеристиками для транспортирования и хранения охлаждающих элементов ОЭ-2. Применение контейнеров предлагаемой конструкции эффективно при эксплуатации специальной защитной одежды в горных выработках шахт.

Научная новизна. Впервые исследована конструкция и предложена технология изготовления теплоизолирующего контейнера для охлаждающих элементов ОЭ-2, улучшающие эффективность его применения при повышенных температурах окружающей среды.

Практическая значимость. Применение ступенчатой конструкции угловых стыков панелей при изготовлении корпуса контейнера позволяет улучшить его теплозащитные свойства и увеличить время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2. При использовании указанной конструкции и технологии возможно увеличение времени хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 и, как следствие, обеспечение надежной эксплуатации специальной защитной одежды.

Ключевые слова: охлаждающий элемент; теплоизолирующий контейнер; макетный образец; теплоизолирующий материал; специальная защитная одежда.

Постановка проблемы. В экстремальных условиях труда, при которых спасатели МЧС ДНР проводят аварийно-спасательные работы, основное воздействие оказывают опасные производственные факторы, значения которых превышают предельно допустимые нормы. В соответствии с этим для обеспечения безопасной работы спасателей требования к применению средств индивидуальной защиты (СИЗ) регулируются стандартами для специальной защитной одежды (СЗО).

Один из важнейших аспектов в системе активной защиты спасателей – обеспечение тепловой защиты, а именно: использование СЗО для снижения

тепловой нагрузки и, как следствие, эффективного ведения аварийно-спасательных работ.

В процессе создания метода комплексной оценки СЗО приняты четыре критерия. С их помощью определяются эффективность и уровень качества СЗО в целом [1].

Первый критерий – предельно допустимая температура на внутренней стороне материала, теплозащитного пакета или в подкостюмном пространстве СЗО и время её достижения $\tau_{\text{пдт}}$. Проведенные исследования позволили определить, что предельно допустимое локальное значение температуры при контакте с кожей человека для материалов с низкой теплопроводностью плюс 50 °С, а время ее достижения зависит от типа СЗО [1 – 3].

В данном исследовании первый критерий принят для оценки времени хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 при температуре плюс 40 °С.

Энергозатраты горноспасателей в экстремальных микроклиматических условиях составляют от 320 Вт до 700 Вт. Работа в таких условиях связана с опасностью теплового перенапряжения организма, которое может привести к тепловому удару. Следовательно, при ведении аварийно-спасательных работ по ликвидации подземных пожаров или в условиях нагревающего микроклимата шахты горноспасатели должны быть оснащены СЗО.

Для поддержания в подкостюмном пространстве СЗО горноспасателей температуры не более плюс 50 °С и увеличения времени пребывания в экстремальных условиях применяют водолеянные охлаждающие элементы ОЭ-2.

Для обеспечения первого критерия, в соответствии с требованиями стандарта «Средства индивидуальной противотепловой защиты горнорабочих. Общие технические требования и методы испытаний», температура охлаждающих элементов ОЭ-2 должна быть не выше минус 3 °С.

В настоящее время для хранения и доставки охлаждающих элементов ОЭ-2 к месту ведения аварийно-спасательных работ используют теплоизолирующий контейнер К-2.

Материалы исследования. В предыдущих исследованиях было определено время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 при температуре окружающей среды плюс 20 °С. Однако при ведении аварийно-спасательных работ температура окружающей среды, в которую доставляют и хранят контейнеры с охлаждающими элементами, может составлять плюс 40 °С. В связи с этим были проведены исследования теплообменных процессов в макетном образце теплоизолирующего контейнера при температуре окружающей среды плюс 40 °С.

В результате анализа проведённых ранее исследований условий эксплуатации контейнера теплоизолирующего К-2 были выбраны материалы для изготовления макета и изучения их теплоизолирующих свойств.

Цель испытаний – исследование теплообменных процессов в разработанном макетном образце контейнера с охлаждающими элементами ОЭ-2 при температуре окружающей среды плюс 40 °С.

Макетный образец контейнера предназначен для исследования теплообменных процессов при транспортировании и хранении охлаждающих элементов ОЭ-2, применяемых при эксплуатации СЗО. Он изготовлен из экструзионного пенополистирола XPS Техноплекс плотностью 26 кг/м³ [4].

В конструкции макетного образца применена алюминиевая фольга, наклеенная внутри контейнера на боковые стенки, дно и крышку для улучшения теплоизолирующих свойств изделия.

Процессы теплообмена в макетном образце представляют собой конвективную теплоотдачу воздуха окружающей среды с температурой $T_{\text{в}}$, равной плюс 40 °С наружной поверхности макета контейнера, с последующей передачей тепла через панели корпуса – охлаждающим элементам ОЭ-2 при их начальной температуре T_0 , равной минус 20 °С. В результате этих процессов температура охлаждающих элементов ОЭ-3 повышается и через некоторый промежуток времени при температуре T , равной минус 3 °С и выше, они становятся непригодными для использования.

Время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 является основной технической характеристикой, определяющей эффективность теплоизолирующего контейнера.

Рассматривая нестационарное распределение температурного поля внутри контейнера с охлаждающими элементами ОЭ-2 [5], а в дальнейшем описывая данный процесс уравнением теплопроводности в безразмерном виде [6], было показано, что наибольшая интенсивность теплообмена происходит в угловых точках.

В данном варианте макетного образца исследовано влияние технологии изготовления корпуса теплоизолирующего контейнера на процесс теплообмена, в том числе в угловых точках.

Проведено пять экспериментов с обработкой данных в программе Excel. На рис. 1 приведены зависимости температуры от времени в двух вариантах макетного образца.

Первый (1) вариант макетного образца контейнера изготовлен с толщиной панели корпуса 40 мм и стандартным (встык) соединением панелей. Корпус второго (2) варианта макетного образца контейнера выполнен из панелей толщиной 30 мм и их ступенчатым соединением.

Средние значения температур внутри макетных образцов контейнеров, зависящие от времени при температуре окружающей среды плюс 40 °С, приведены в таблице.

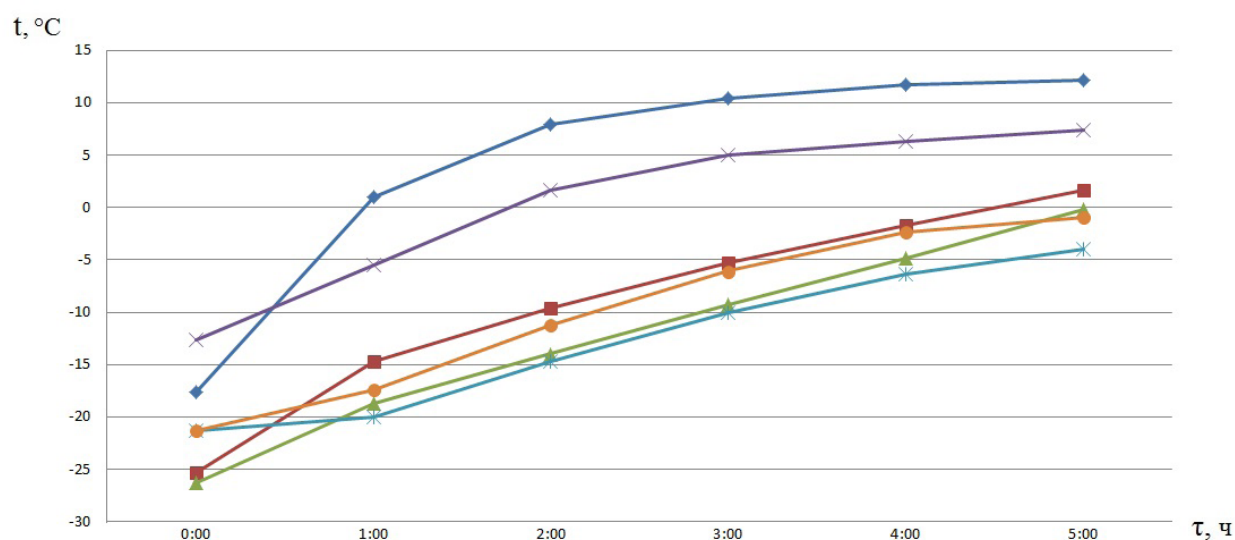


Рис. 1. Зависимость температуры внутри макетных образцов контейнеров от времени при температуре окружающей среды плюс 40 °C:

$\times - t_{B2}$; $\diamond - t_{B1}$; $\blacktriangle - t_{H1}$; $\blacksquare - t_{C1}$; $\bullet - t_{H2}$; $\ast - t_{C2}$

Средние значения температур внутри макетных образцов контейнеров

Время хранения, ч	Температура					
	Первый вариант макетного образца (1)			Второй вариант макетного образца (2)		
	t_B	t_C	t_H	t_B	t_C	t_H
0:00	-17,67	-25,33	-26,33	-12,67	-21,33	-21,33
1:00	1,00	-14,67	-18,67	-5,50	-20,00	-17,37
2:00	7,93	-9,67	-14,00	1,67	-14,67	-11,20
3:00	10,43	-5,33	-9,33	5,00	-10,00	-6,10
4:00	11,67	-1,67	-4,83	6,33	-6,33	-2,33
5:00	12,13	1,67	-0,17	7,40	-4,00	-1,00

Как видно на представленном графике (рис. 1), температура достигает значения минус 3 °C: в верхней части 1-го макетного образца контейнера в течение 40 мин, во 2-м образце – через 1 ч; в средней части 1-го образца – через 3 ч, во 2-м образце – через 5 ч; в нижней части 1-го образца – более чем через 4 ч, во 2-м образце – более чем через 3 ч.

По результатам исследований макетных образцов контейнеров установлена неравномерность распределения температурного поля внутри контейнеров, которая незначительно зависит от конструктивных особенностей. Наблюдения показали, что уменьшить неравномерность распределения температурного поля возможно при использовании автономных аккумуляторов холода, например дополнительных охлаждающих элементов ОЭ-2 в верхней части макетного образца контейнера, для сохранения необходимой температуры

основного массива охлаждающих элементов ОЭ-2 в течение времени их транспортирования.

Во втором макетном образце контейнера при изменении технологии его изготовления время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 при температуре окружающей среды плюс 40 °С составило не менее 5 ч в средней части. Панели корпуса соединены ступенчато, что позволило минимизировать теплообмен воздуха внутренней полости контейнера с окружающей средой.

По результатам анализа полученных экспериментальных данных смоделирован макет теплоизолирующего контейнера. Общий вид модели макета представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид модели макета теплоизолирующего контейнера

Внутри чехла расположен корпус макета теплоизолирующего контейнера. Чехол предназначен для предохранения корпуса от загрязнений при транспортировании по горным выработкам шахт, а также для удобства эксплуатации.

Данное конструктивное решение позволит рационально и с минимальными затратами времени вымыть и просушить теплоизолирующий контейнер после применения и подготовить его к дальнейшей эксплуатации.

Результаты, полученные при проведении данной работы, использованы при разработке Предложений по совершенствованию средств для транспортирования и хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 в горных выработках шахт.

Выводы. Время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 при температуре окружающей среды плюс 40 °С составляет не менее 5 ч, что на 40 % превышает значение времени хранения в 1-м макетном образце контейнера. Применение ступенчатой конструкции угловых стыков панелей при изготовлении корпуса контейнера позволяет улучшить его теплозащитные свойства и увеличить основную техническую характеристику теплоизолирующего контейнера – время хранения охлаждающих элементов ОЭ-2. При использовании указанной конструкции и технологии возможно увеличение времени хранения охлаждающих элементов ОЭ-2 и, как следствие, обеспечение надёжной эксплуатации специальной защитной одежды.

Список литературы / References

1. Логвинов, В.И. Общие принципы и особенности разработки различных видов специальной защитной одежды / В.И. Логвинов // Пожарная безопасность. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. – № 5. – С. 51 – 57.

Logvinov V.I. *Obshhie printsipy i osobennosti razrabotki razlichnykh vidov spetsial'noi zashchitnoi odezhdy* [General principles and peculiarities of design of different types of the special protective clothing]. *Pozharnaya bezopasnost'* – Fire safety, Moscow, FGU VNIPO MChS Rossii Publ., 2002, no. 5, pp. 51 – 57. (In Russian).

2. Клепиков, В.Ф. Совершенствование изоляционных свойств противотепловой одежды / В.Ф. Клепиков, Е.М. Прохоренко, В.В. Колесникова, Е.Л. Завьялова // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. – Донецк, 2010. – Вып. 47. – С. 127 – 133.

Klepikov V.F., Prokhorenko Ye.M., Kolesnikova V.V., Zav'yalova Ye.L. *Sovershenstvovanie izolyatsionnykh svoystv protivoteplovoi odezhdy* [Improvement of insulation properties of the heat protective clothing]. *Gornospasatel'noe delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2010, issue 47, pp. 127 – 133. (In Russian).

3. Колесникова, В.В. Выбор типа охлаждающих элементов для средства противотепловой защиты организма / В.В. Колесникова // Матеріали міжнародної конф. «Форум гірників – 2009». – Донецьк: Національний гірничий ун-т, 2009. – С. 100 – 104.

Kolesnikova V.V. *Vybor tipa okhlazhdayushhikh elementov dlya sredstva protivoteplovoi zashchity organizma* [Choosing the type of cooling elements for a body heat protective gear]. *Materialy mizhnar. konf. "Forum hirnykiv – 2009"* [Materials of the international conference "Miners' forum – 2009"]. Dnepropetrovsk, Natsional'nyi hirnychiy un-t Press, 2009, pp. 100 – 104. (In Russian).

4. Повышение эффективности хранения охлаждающих элементов / В.М. Медгаус, О.В. Папазова, Н.Н. Попов, В.В. Шлома // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-практ. журн. – Донецк, 2020. – № 3(57). – С. 92 – 98.

Medgaus V.M., Papazova O.V., Popov N.N., Shloma V.V. *Povysheniye effektivnosti khraneniya okhlazhdayushhikh elementov* [Efficiency improvement of storage of cooling elements]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2020, no. 3(57), pp. 92 – 98. (In Russian).

5. Марийчук, И.Ф. Математическая формулировка задач исследований теплообменных процессов в контейнере с водоледяными аккумуляторами холода / И.Ф. Марийчук, В.О. Положий // Вісті Донецького гірничого інституту: зб. наук. праць ДонНТУ. – Донецьк, 2008. – № 1. – С. 44 – 54.

Mariychuk I.F., Polozhii V.O. *Matematicheskaya formulirovka zadach issledovaniy teploobmennyykh protsessov v konteynere s vodoledyanymi akkumulyatorami kholoda*

[Mathematical formulation of research problems of heat exchange processes in a container with water-ice cold accumulators]. *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu: zb. nauk. prats' DonNTU* [News of the Donetsk mining institute: collection scientific papers of the DonNTU]. Donetsk, 2008, no. 1, pp. 44 – 45. (In Russian).

6. Положий, В.О. Моделирование теплообменных процессов в контейнере с водоледяными аккумуляторами холода / В.О. Положий, И.Ф. Марийчук // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. НИИГД. – Донецк. – 2008. – Вып. 45. – С. 147 – 158.

Polozhii V.O., Mariychuk I.F. *Modelirovanie teploobmennyykh protsessov v konteynere s vodoledyanymi akkumulyatorami kholoda* [Modeling of heat exchange processes in a container with water-ice cold accumulators]. *Gornospasatel'noe delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2008, issue 45, pp. 147 – 158. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Ю.Ф. Булгаковым
Дата поступления рукописи 26.11.2020

Vladimir Mikhaylovich Medgaus, head of department; e-mail: vladimir_medgaus@mail.ru;
Olga Vladimirovna Papazova, senior scientific associate; e-mail: papazova.olya@yandex.ru;
Nikolay Nikolayevich Popov, scientific associate; e-mail: popov.nikn@yandex.ru;
Vladislav Vyacheslavovich Shloma, engineer of the 1st category; e-mail: ilsln1995@gmail.com
The "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,
Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-51

STORAGE TIME OF THE ОЭ-2 COOLING ELEMENTS IN ELEVATED TEMPERATURE OF AMBIENT ENVIRONMENT

Purpose. Investigation of heat-exchange processes in a system "ОЭ-2 cooling elements – heat-insulating container – environment" and of possibilities for increase of the storage time of the ОЭ-2 cooling elements.

Methods. Information and analytical and experimental methods of investigations. The information and patent sources have been studied, the results of investigations of the breadboard container made of XPS Техноплекс technopolystyrene with the used added foil layer for transportation and storage of the ОЭ-2 cooling elements have been analyzed.

Results. The results may be used in developing the engineering drawings for mass production of insulated containers with improved performance characteristics for transportation and storage of the ОЭ-2 cooling elements. The application of the containers of the proposed design is effective with the use of the special protective clothing in mine workings of coal mines.

Scientific novelty. For the first time the construction has been investigated and the technology has been suggested for manufacture of the heat-insulating container for the ОЭ-2 cooling elements that improve the effectiveness of its usage in the elevated ambient temperatures of the environment.

Practical value. The application of the stepped construction in angle joints of the panels in production of the container body makes it possible to improve its heat-protective properties and to increase the storage time of the ОЭ-2 cooling elements. Using the given construction and technology it is very likely to increase the storage time of the ОЭ-2 cooling elements and as a result to ensure safety of service of the special protective clothing.

Keywords: cooling element; heat-insulating container; breadboard specimen; heat-insulating material; special protective clothing.

III. Охрана труда и экологическая безопасность

УДК 614.894.7:620.1.05

Руслан Сергеевич Плетенецкий, ст. науч. сотр.; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Любовь Алексеевна Зборщик, ст. науч. сотр.; e-mail: oszd_niigd_1@mail.ru;

Александр Витальевич Чапкович, гл. инженер; e-mail: sisept@mail.ru;

Виктор Иванович Францев, вед. инж.; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР*

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-45

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Цель. Исследовать процессы тепломассообмена для обоснования параметров тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов в соответствии с требованиями нормативных документов.

Методы. Экспериментальные и расчетные методы исследований.

Результаты. Проведенные исследования позволили обосновать параметры тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов, обеспечивающие необходимую скорость нагрева и вариацию температуры во внутреннем объеме.

Научная новизна. Усовершенствована конструкция тепловой камеры, обеспечивающая регламентированную ГОСТ Р 12.4.253-2011 и ГОСТ Р 12.4.292-2015 вариацию в части положительных температур во внутреннем объеме за счет оптимизации процессов нагрева и циркуляции воздуха.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований позволили усовершенствовать тепловую камеру для испытания дыхательных аппаратов, соответствующую требованиям ГОСТ Р 12.4.253-2011 и ГОСТ Р 12.4.292-2015.

Ключевые слова: *тепловая камера; климатическая камера; дыхательный аппарат; респиратор; самоспасатель изолирующий.*

Постановка проблемы. Дыхательные аппараты в процессе испытаний на динамической установке с «искусственными легкими» должны подвергаться воздействию определенных микроклиматических условий, в частности воздействию повышенных температур (40 и 60 °С). Для этого применяются тепловые (климатические) камеры, сопряженные с динамической установкой с «искусственными легкими».

Согласно требованиям ГОСТ Р 12.4.253-2011 и ГОСТ Р 12.4.292-2015, максимальное значение температуры, при котором проводятся испытания дыхательных аппаратов, 60 °С, при этом вариация температуры во внутреннем объеме климатической камеры не должна превышать ± 2 °С.

Для соответствия требованиям современных стандартов тепловой камеры динамической установки для испытаний регенеративных дыхательных аппаратов, регенеративных патронов и сорбентов возникла необходимость ее усовершенствования из-за превышения значений вариации температуры во внутреннем объеме и недостаточной скорости достижения заданных температур.

Анализ последних исследований. Для усовершенствования тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов решались задачи по расчету параметров нагревательных элементов и системы циркуляции воздуха. Необходимая мощность нагревательных элементов определяется массой и теплоёмкостью самой тепловой камеры, дыхательного аппарата, воздуха внутри камеры, а также суммой теплопотерь.

В процессе передачи теплоты от теплой среды к холодной через разделяющее их ограждение участвуют все виды теплообмена: на поверхностях имеют место конвективный и лучистый теплообмен, а в материальных слоях – теплопроводность. Этот сложный процесс называется теплопередачей.

При расчете теплопередачи принято не разделять лучистую и конвективную составляющие в общем теплообмене на поверхностях. Считается, что на внутренней поверхности наружного ограждения в отапливаемом помещении происходит тепловосприятие, оцениваемое общим коэффициентом теплоотдачи на внутренней поверхности ограждения α_B , Вт/(м²·°C), а на наружной поверхности – теплоотдача, интенсивность которой определяется коэффициентом теплоотдачи на наружной поверхности ограждения α_H , Вт/(м²·°C). При этом коэффициенты теплоотдачи (теплообмена) на наружной и внутренней поверхностях ограждения равны сумме коэффициентов лучистого и конвективного теплообмена с каждой стороны:

$$\alpha_B = \alpha_{к.В} + \alpha_{л.В}, \quad (1)$$

где $\alpha_{к.В}$ – коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения;

$\alpha_{л.В}$ – коэффициент лучистого теплообмена на внутренней поверхности ограждения.

$$\alpha_H = \alpha_{к.Н} + \alpha_{л.Н}, \quad (2)$$

где $\alpha_{к.Н}$ – коэффициент конвективного теплообмена на наружной поверхности ограждения;

$\alpha_{л.Н}$ – коэффициент лучистого теплообмена на наружной поверхности ограждения.

Величины, обратные коэффициентам теплоотдачи, – сопротивления теплообмену на внутренней R_B , м²·°C/Вт, и наружной R_H , м²·°C/Вт, поверхностях ограждения:

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B}; \quad (3)$$

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H}. \quad (4)$$

Кривые распределения температуры при стационарном тепловом режиме при теплопередаче через многослойную стенку представлены на рис. 1.

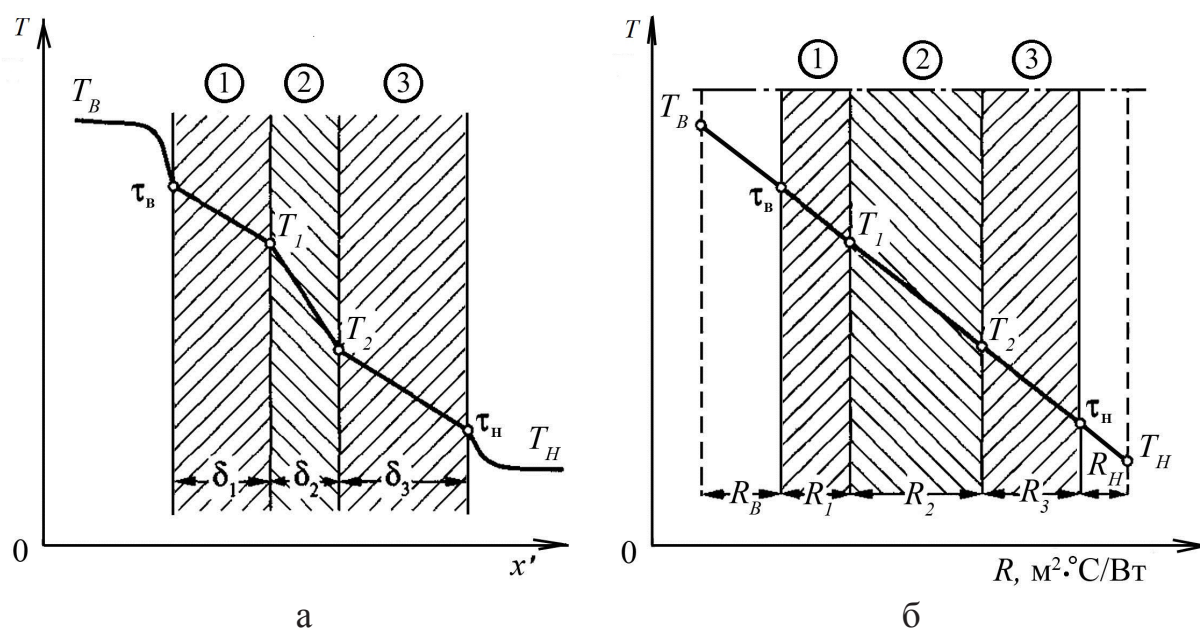


Рис. 1. Кривые распределения температуры при стационарном тепловом режиме [1]:

а – в масштабе толщин; б – в масштабе термических сопротивлений;

1, 2, 3 – слои многослойной стенки; δ_1 , δ_2 , δ_3 – толщины слоев, м;

R_1 , R_2 , R_3 – термические сопротивления слоев, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; R_H , R_B – сопротивления теплообмену на наружной и внутренней поверхностях стенки, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; T_H , T_B , T_1 , T_2 – температуры, $^\circ\text{C}$; τ_B – температура на внутренней поверхности стенки, $^\circ\text{C}$;

τ_H – температура на наружной поверхности стенки, $^\circ\text{C}$

Для определения величины теплотерь через плоскую стенку Q , Вт, используют уравнение закона теплопроводности Фурье

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dx} dS, \quad (5)$$

где $\frac{dT}{dx}$ – градиент температур;

λ – коэффициент теплопроводности материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

S – площадь, м^2 .

Градиент температур определяется из уравнения теплопроводности плоской стенки:

$$T = \frac{T_{cm2} - T_{cm1}}{\delta} x + T_{cm1}, \quad (6)$$

где δ – толщина стенки, м;

T_{cm1} – температура с одной стороны стенки, $^\circ\text{C}$;

T_{cm2} – температура с другой стороны стенки, $^\circ\text{C}$.

Так как тепловой поток в плоской стенке одномерный, то

$$\frac{\partial T}{\partial S} = \frac{dT}{dS} = \frac{T_{cm2} - T_{cm1}}{\delta}. \quad (7)$$

Подставляя полученное выражение в уравнение закона теплопроводности Фурье, получим:

$$dQ = -\lambda \frac{T_{cm2} - T_{cm1}}{\delta} dS = \lambda \frac{T_{cm1} - T_{cm2}}{\delta} dS. \quad (8)$$

После интегрирования данного уравнения уравнение потерь теплоты через плоскую стенку выглядит следующим образом:

$$Q = \lambda \frac{T_{cm1} - T_{cm2}}{\delta} S. \quad (9)$$

Параметры системы циркуляции воздуха определяются конструкцией воздухопроводов и параметрами нагнетательного устройства, в данном случае – осевого вентилятора. При усовершенствовании тепловой камеры в настоящих условиях осуществима лишь замена вентилятора. В инженерных методиках, используемых для расчета осевых вентиляторов на стадии их проектирования, прибегают к определенным допущениям, позволяющим, с одной стороны, упростить вычисления, а с другой – в целом правильно оценить основные характеристики вентилятора. Дальнейшее уточнение характеристик производится путем введения поправочных коэффициентов, получаемых из имеющейся экспериментальной базы данных [2]. Сложность расчета характеристик вентилятора теоретическими методами, необходимость эмпирического определения поправочных коэффициентов и учета влияния воздухопроводных путей обусловили экспериментальное определение характеристик системы циркуляции.

Неполное соответствие тепловой камеры, сопрягаемой с динамической установкой, требованиям нормативной документации обусловило необходимость разработки проекта ее усовершенствования и его осуществления силами и средствами НИИГД «Респиратор».

Результаты исследований. При усовершенствовании тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов решены две задачи: расчет параметров нагревательных элементов и системы циркуляции воздуха.

Для определения мощности нагревательных элементов произведен расчет массы и теплоемкости всех элементов тепловой камеры (схема и габариты тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов представлены на рис. 2). Общий объем камеры $V_{общ}$ приблизительно равен 0,73 м³.

Исходя из того, что плотность воздуха $\rho_{возд}$ равна 1,225 кг/м³ (барометрическое давление 760 мм рт. ст., температура 15 °С), определяем массу воздуха $m_{возд}$, которую необходимо нагреть:

$$m_{\text{возд}} = V_{\text{общ}} \cdot \rho_{\text{возд}}, \quad (10)$$

$$m_{\text{возд}} = 0,89425 \text{ кг.}$$

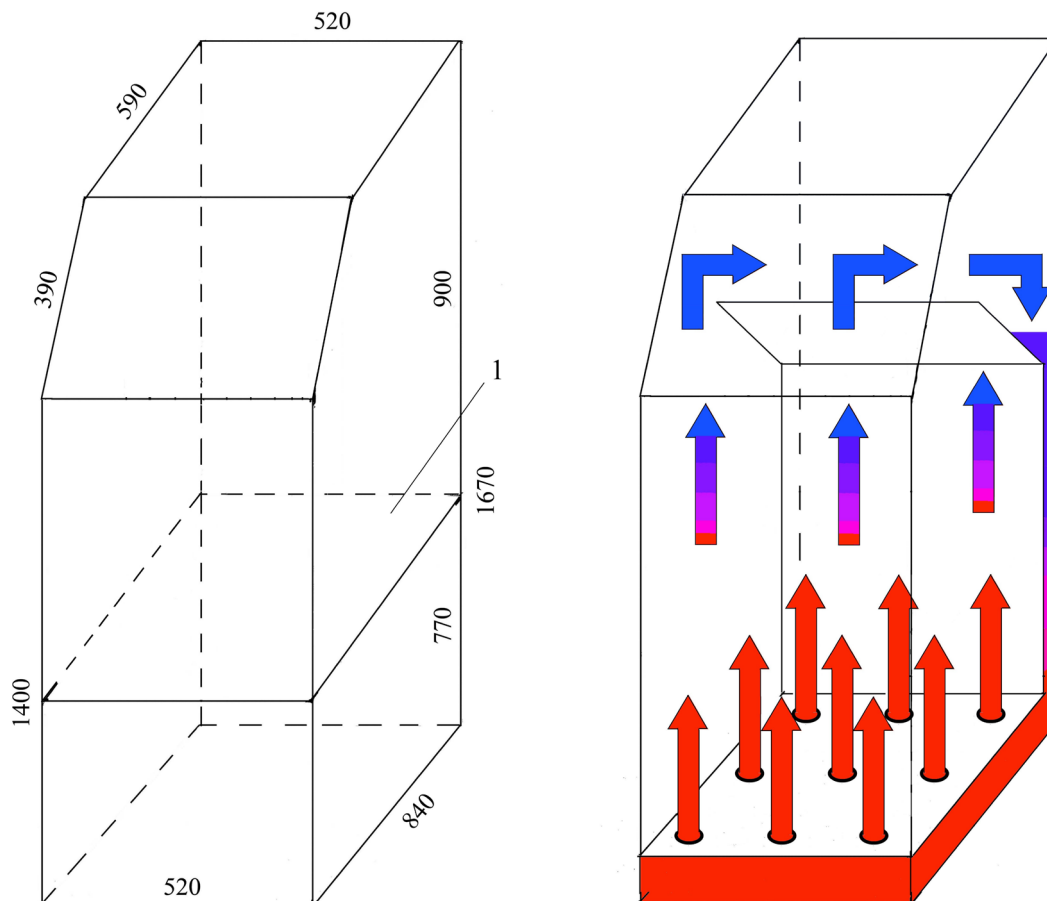


Рис. 2. Схема и габариты тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов:

а – внутренний объем тепловой камеры с размерами; б – схема циркуляции воздуха;
1 – плоскость стола для размещения дыхательного аппарата

Находим количество теплоты, необходимое для нагрева воздуха $Q_{\text{Нвозд}}$, Дж, по формуле

$$Q_{\text{Нвозд}} = m_{\text{возд}} \cdot C_{\text{возд}} \cdot (T_{\text{см2}} - T_{\text{см1}}), \quad (11)$$

где $C_{\text{возд}}$ – удельная теплоемкость воздуха, [Дж/(кг · °С)]
($C_{\text{возд}} = 1006,1$ Дж/(кг · °С) при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа).

$$Q_{\text{Нвозд}} = 40,49 \text{ кДж.}$$

Аналогично определяется количество теплоты, необходимое для нагрева внутреннего алюминиевого корпуса, $Q_{\text{Налюм}}$, Дж. Учитывая, что удельная

теплоемкость алюминия равна 0,92 кДж/(кг · °С), а масса внутреннего алюминиевого корпуса 24,9 кг, для нагрева внутреннего корпуса тепловой камеры от температуры 20 до 65 °С потребуется 1030,86 кДж.

Мощность, необходимая для нагрева тепловой камеры, определяется по формуле

$$P_H = k \frac{Q_{Hвозд} + Q_{Hалюм}}{t}, \quad (12)$$

где k – коэффициент, учитывающий запас мощности ($k = 1,2$);

t – время нагрева, с ($t = 1800$ с).

$$P_H = 0,71 \text{ кВт.}$$

Поскольку стенка тепловой камеры состоит из нескольких слоев – внутреннего алюминиевого, слоя из кирпича, наружного алюминиевого, – при расчете теплопотерь следует принимать во внимание, что тепловой поток проходит последовательно через все слои стенки тепловой камеры. Поэтому определяется термическое сопротивление каждой прослойки по формуле [3]

$$R = \delta / \lambda. \quad (13)$$

Ввиду того, что величина теплового сопротивления алюминия толщиной 1,5 мм ($6,355 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) бесконечно мала по сравнению с тепловым сопротивлением кирпича из газобетона ($0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$), ею можно пренебречь. Расчет теплопотерь через кирпичную стенку $Q_{\text{стенк}}$ производится по формуле (7). Теплопотери через кирпичную стенку $Q_{\text{стенк}}$ равны 332,89 Вт.

По этой же формуле определяется величина теплопотерь через окно $Q_{\text{окна}}$ (площадь окна $S_{\text{окна}} = 0,1748 \text{ м}^2$, толщина стекла $\delta_{\text{стекла}} = 5 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности стекла $\lambda_{\text{стекла}} = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$). $Q_{\text{окна}} = 1\,197,26 \text{ Вт}$.

Общие теплопотери равны сумме теплопотерь через стенки камеры и через окно:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{стенк}} + Q_{\text{окна}} = 1\,530,15 \text{ Вт.}$$

С учетом инфильтрации через неплотности двери (обычно принимается 10 %) потери увеличиваются, и общие теплопотери с учетом инфильтрации $Q_{\text{общ инф}}$ равны:

$$Q_{\text{общ инф}} = 1\,683,165 \text{ Вт.}$$

Необходимая суммарная мощность равна сумме мощности, требуемой для нагрева тепловой камеры, и общих теплопотерь с учетом инфильтрации:

$$P = P_n + Q_{\text{общ инф}} = 710,000 + 1\,683,165 = 2\,393,165 \text{ Вт.}$$

Поскольку при проверке работоспособности тепловой камеры до усовершенствования обнаружен чрезмерный нагрев электродвигателя циркуляционного вентилятора, он был заменен более мощным (электрическая мощность $P = 0,12$ кВт, частота вращения $n = 1325$ об/мин). Для установления факта, обеспечивает ли имеющийся вентилятор производительность, необходимую для усреднения температуры по всему объему камеры, были произведены расчеты и экспериментальные исследования. Требуемая производительность вентилятора Q_v , м³/ч, определяется по формуле [4]

$$Q_v = \frac{60 \cdot (T_1 - T_2) \cdot V_{\text{общ}}}{T_{\text{нагр}} \cdot \Delta T \cdot k_p}, \quad (14)$$

где $T_{\text{нагр}}$ – время нагрева камеры до заданной температуры, мин;
 ΔT – температура нагрева воздуха за один проход через нагревательные элементы, °С;
 k_p – коэффициент, учитывающий запас мощности ($k_p = 1,2$).

Данный расчет тепловой мощности камеры не зависит от выбранного типа энергоносителя и определяет только количество теплоты, необходимое для нагрева заданного объема воздуха. Для определения требуемой производительности вентилятора Q_v нужно предварительно определить температуру нагрева воздуха за один проход через теплообменник ΔT . Принимая во внимание сложность учета всех факторов, влияющих на данный параметр (форма нагревательных элементов, скорость потока и объемный расход, турбулентность потока), его определяют экспериментальным путем.

Экспериментально определив температуру воздушного потока на входе с пятью работающими электрическими нагревательными элементами $T_{\text{вх5}} = 26$ °С и среднюю температуру воздушного потока на выходе с пятью работающими электрическими нагревательными элементами $T_{\text{вых5ср}} = 54$ °С, получаем температуру нагрева воздуха за один проход вдоль электрических нагревательных элементов, равную 28 °С.

По формуле (14) определяется необходимая производительность вентилятора:

$$Q_v = 2,085 \text{ м}^3/\text{ч} = 34,75 \text{ дм}^3/\text{мин.}$$

Производительность вентилятора с новым электродвигателем устанавливали эмпирически при помощи ручного крыльчатого анемометра (ГОСТ 6376-52). В соответствии с законом сохранения массы все количество воздуха в сети, прошедшее через входное и выходное сечение вентилятора, равно его производительности. Измерение скорости воздушного потока

производили вверху камеры (до вентилятора) и внизу ее (после вентилятора). Для обеспечения точности измерений отверстия в нижней части тепловой камеры закрывали.

Согласно проведенным измерениям скорость потока воздуха составила вверху 1,03 м/с, внизу 2,16 м/с. Определив площадь верхнего отверстия $S_{\text{отв.верх}}$ равной 0,04368 м², площадь нижнего отверстия $S_{\text{отв.нижн}}$ равной 0,027 м², получаем расход воздуха в верхней и нижней части тепловой камеры, составляющий соответственно 44,90 и 58,32 дм³/с.

Различия в полученных результатах определения объемного расхода воздуха объясняются невозможностью такого размещения крыльчатого анемометра в верхней части тепловой камеры, чтобы он располагался вертикально и при этом в плоскости, перпендикулярной воздушному потоку. Однако даже минимальное полученное значение (44,90 дм³/с) объемного расхода существенно превышает необходимое, полученное расчетным путем (34,75 дм³/мин). Это позволяет сделать вывод об обеспечении циркуляции воздуха в степени, достаточной для минимизации вариации температуры во внутреннем объеме тепловой камеры.

Проведенные испытания усовершенствованной тепловой камеры показали увеличение скорости ее нагрева после установки дополнительных нагревательных элементов. До усовершенствования температура 60 °С достигалась на 120-й минуте, после усовершенствования тепловой камеры – на 23-й. Благодаря усовершенствованию системы циркуляции воздуха удалось снизить вариацию температуры во внутреннем объеме камеры до требуемых ± 2 °С.

Динамика значений температуры в геометрическом центре и нижней части тепловой камеры после усовершенствования представлена на рис. 3.

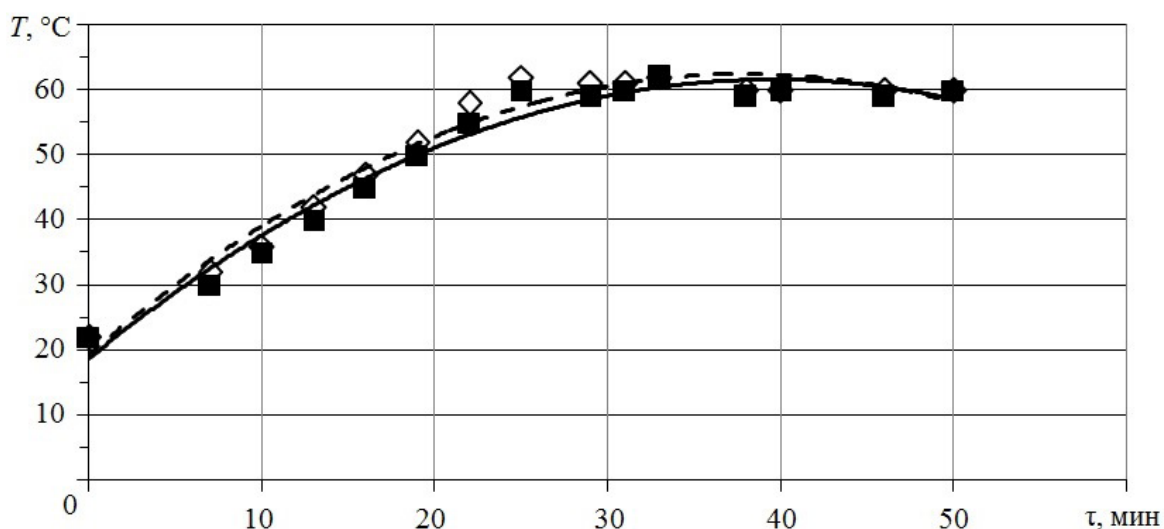


Рис. 3. Динамика значений температуры в геометрическом центре и нижней части тепловой камеры после усовершенствования:
◇ – значение температуры в геометрическом центре тепловой камеры;
■ – значение температуры в нижней части тепловой камеры

Выводы. Проведенные исследования позволили обосновать параметры тепловой камеры для испытания дыхательных аппаратов (рассчитать необходимую мощность нагревательных элементов, экспериментально определить скорость воздушного потока), что позволило достичь требуемой вариации температур во внутреннем объеме. Испытания усовершенствованной камеры подтвердили ее соответствие требованиям ГОСТ Р 12.4.253-2011 и ГОСТ Р 12.4.292-2015.

Список литературы / References

1. Малявина, Е.Г. Теплотери здания / Е.Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.

Malyavina Ye.G. *Teploteri zdaniya*. [Heat losses of a building]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2007, 144 p. (In Russian).

2. Пикущак, Е.В. Метод расчета аэродинамического коэффициента полезного действия осевого вентилятора / Е.В. Пикущак, Л.Л. Миньков // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2016. – № 1(39). – С. 90 – 101.

Pikushchak Ye.V., Min'kov L.L. *Metod raschyota aerodinamicheskogo koeffitsienta poleznogo deistviya oseвого ventilyatora* [Method of calculation of the aerodynamic efficiency coefficient of an axial flow fan]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika – Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2016, no. 1(39), pp. 90 – 101. (In Russian).

3. Аржаева, Н.В. Тепломассообмен / Н.В. Аржаева, Н.А. Орлова, С.В. Соболев; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 112 с.

Arzhaeva N.V., Orlova N.A., Sobolev S.V., *Teplomassoobmen. Pod obshh. red. d-ra techn. nauk, prof. Yu.P. Skachkova*. [Heat and mass exchange. Dr. Sci. (Tech.), prof. Yu.P. Skachkov, ed.]. Penza, PGUAS Press, 2013, 112 p. (In Russian).

4. Тимухин, С.А. Осе-радиальные вентиляторы: научная монография / С.А. Тимухин, В.Ф. Копачёв; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 252 с.

Timukhin S.A., Kopachyov V.F. *Ose-radial'nye ventilyatory: nauch. monografiya* [Axial flow and centrifugal fans: scientific monograph]. Yekaterinburg, Izd-vo UGGU Press, 2011, 252 p. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым
Дата поступления рукописи 21.01.2020

Ruslan Sergeyevich Pletenetskiy, senior scientific associate; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Lyubov Alekseyevna Zborshchik, senior scientific associate; e-mail: oszd_niigd_1@mail.ru;

Aleksandr Vitalyevich Chapkovich, engineering manager; e-mail: sisept@mail.ru;

Viktor Ivanovich Frantsev, advanced engineer; e-mail: szd_niigd_3@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-45

HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES OF A HEAT CHAMBER FOR TESTING BREATHING APPARATUSES

Purpose. To investigate the heat and mass exchange processes in order to substantiate parameters of the temperature chamber for testing the breathing apparatuses in accordance with the requirements of the normative regulations.

Methods. Experimental and calculation methods of investigations.

Results. The conducted investigations have made it possible to substantiate the parameters of the temperature chamber for testing the breathing apparatuses ensuring the required rate of heating and the temperature variation in the inner volume.

Scientific novelty. The temperature chamber construction has been improved ensuring the variation specified by GOST R 12.4.253-2011 and GOST R 12.4.292-2015 in terms of positive temperatures in the inner volume due to optimization of heating and air circulation processes.

Practical value. The obtained results of the investigations have made it possible to improve the temperature chamber for testing the breathing apparatuses that complies with the requirements of GOST R 12.4.253-2011 and GOST R 12.4.292-2015.

Keywords: *temperature chamber; climate chamber; breathing apparatus; respirator; self-contained self-rescuer.*

УДК 622.457.2/3

Александр Михайлович Симонов, нач. отд.; e-mail: avrstla@mail.ru;

Николай Викторович Карнаух, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: avrstla@mail.ru;

Александр Владиславович Агарков, асп., вед. инж.; e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru;

Владимир Владимирович Захлебн, инж. I кат.; e-mail: avarvent@mail.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,

пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-34

КОНТРОЛЬ ЗА ВЫДЕЛЕНИЕМ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Цель. Обоснование необходимости проведения контроля за выделением вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями горноспасательной службы при ликвидации (консервации) шахт.

Методы. Использованы аналитический метод исследования, включающий анализ и обработку специальных источников, научной литературы, нормативных правовых актов и ведомственных документов; научно-техническое обобщение результатов исследований и статистический анализ.

Результаты. Выполнены научно-технический анализ причин, источников, путей и условий выделения вредных газов на земную поверхность, анализ аварийности и травматизма. Предложены метод и приборы контроля за выделением вредных газов путем отбора и анализа проб воздуха.

Научная новизна. Предложен новый подход к оценке результатов контроля за выделением вредных газов на земную поверхность, определению его продолжительности и изменению зон контроля, что расширит представление о механизме процессов и позволит усовершенствовать систему контроля и его качество.

Практическая значимость. Мониторинг окружающей среды с целью обеспечения безопасности людей на поверхности, в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: *вредные газы; земная поверхность; источники выделения и пути миграции метана; контроль содержания вредных газов; инструментальное оборудование; отбор проб воздуха.*

Постановка проблемы. После отработки выемочных полей, ликвидации и консервации шахт, прекращения проветривания и затопления горных выработок увеличивается выделение вредных газов на земную поверхность, что требует их постоянного мониторинга и контроля с целью обеспечения безопасности людей [1, 2].

Цель исследований. Обоснование необходимости контроля за выделением вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями горноспасательной службы при ликвидации (консервации) шахт. Для этого требуется исследовать источники, пути и причины выделения вредных газов, определить необходимость, порядок, периодичность и меры безопасности при проведении контроля.

Материалы и результаты исследований. На основании выполненных исследований установлено, что источниками выделения вредных газов

являются изолированные отработанные выработанные пространства, в полостях обрушения которых произошло накопление газов. Пути поступления вредных газов на земную поверхность представляют собой: стволы, шурфы, скважины, тектонические и геологические трещины и другие выработки, имеющие связь с выработанными пространствами и выходящие на поверхность. Причины выделения вредных газов: прекращение проветривания и откачки воды при наличии вертикальных и наклонных выработок, выходящих на земную поверхность. Выделение вредных газов на земную поверхность возможно также в зонах влияния горных выработок, выходящих на земную поверхность, где газовый обмен происходит за счет молекулярной диффузии и гравитационного напора, формирующегося в результате появления градиента плотности газов. Наибольшую опасность по выделению вредных газов на поверхность имеют краевые части угрожаемых участков, зафиксированных на плане поверхности на стадии разработки проекта ликвидации шахты.

Газовыделение в первую очередь связано с антиклинальными складками (рис. 1), пористыми и трещиноватыми породами, вертикальными и наклонными выработками (рис. 2), тектоническими нарушениями дизъюнктивного характера, геологическими трещинами, имеющими выход на земную поверхность.

Изучению проблемы проникновения метана на земную поверхность, в здания и сооружения посвящены научные работы, опубликованные еще в 1950-х гг. Наглядными примерами являются случаи проникновения и воспламенения метана в домах и погребях в поселке Ольховчик Шахтерского района, в горных отводах шахт «Анна» и «Виктория», а также шахты № 2/43.

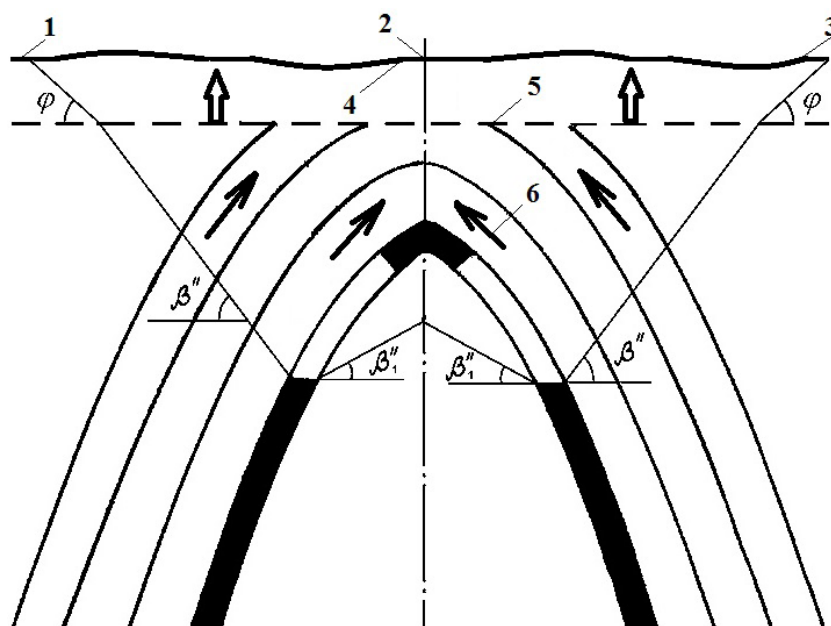


Рис. 1. Схема выхода вредных газов на земную поверхность при отработке пласта в антиклинальной складке:

1, 2, 3 – зоны выхода вредных газов на земную поверхность; 4 – земная поверхность; 5 – граница метановой зоны; 6 – направление движения вредных газов

В общей сложности по состоянию на 01.06.2014 на земной поверхности горных отводов Донбасса произошло 82 случая воспламенения метана, в результате которых травмировано 95 человек, в том числе на поверхностных объектах действующих шахт произошло 47 взрывов, в результате которых травмировано 49 человек. На поверхностных объектах горных отводов закрытых шахт зафиксировано 38 участков земной поверхности, где произошло 35 воспламенений и взрывов, травмировано 46 человек, причем 4 из них – смертельно [2 – 4]. Такие же случаи имели место в условиях горных отводов шахт Российской Федерации и других горнодобывающих стран. В местах газовыделения наблюдались нагрев и изменение температуры почвы (примерно до 45 °С), изменение ее структуры и окисление, выгорание растительности. Почва становилась непригодной для земледелия. Концентрация метана в некоторых домах и погребах достигала опасных значений.

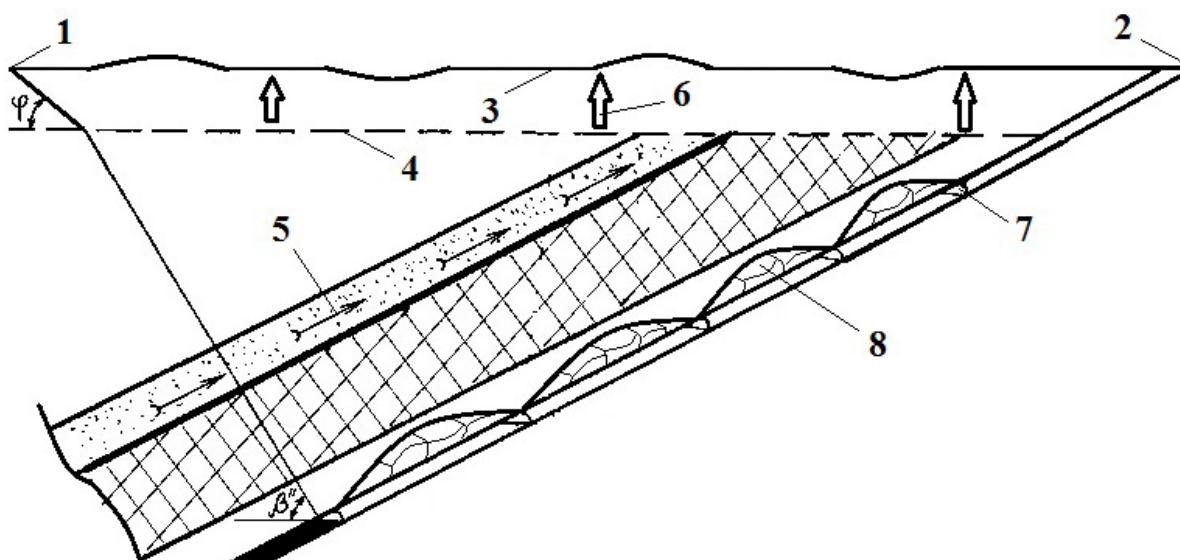


Рис. 2. Геологический разрез пород в месте возможного выделения метана на земную поверхность:

- 1, 2 – места возможного выделения метана на земной поверхности; 3 – земная поверхность; 4 – граница метановой зоны; 5, 6 – направления движения вредных газов; 7 – наклонная горная выработка; 8 – зона обрушения над выработанным пространством

Анализ литературных источников [1 – 5], посвященных настоящей теме, свидетельствует о различных подходах к решению данной задачи, что подтверждает необходимость расширения и углубления исследований в этом направлении с учетом особенностей объектов «закрытая шахта» как своеобразных потенциальных техногенных скоплений метана и других вредных газов.

В Донбассе практика предварительной дегазации месторождений практически не применяется, поэтому имеет место интенсивное выделение метана на земную поверхность, что приводит к воспламенениям и взрывам.

В связи с этим исследования, посвященные контролю за выделением вредных газов на земную поверхность, отбору проб воздуха и оценке экологической безопасности территорий горных отводов шахт, достаточно актуальны в настоящее время.

Действующие шахты Донбасса весьма газообильны. Большинство шахт имеет протяженную вентиляционную сеть выработок и большую площадь отработанных выработанных пространств, заполненных метаном и другими газами.

По мере отработки запасов и углубления шахт, прекращения проветривания, затопления шахт и изменения давления основными каналами выделения газа становятся стволы, технические скважины и горные выработки, связывающие отработанные пространства и горизонты с земной поверхностью, а также другие выработки, антиклинальные складки, тектонические и геологические нарушения, рассекающие породы до поверхности и имеющие связь с отработанными пространствами по выработкам и трещинам.

Выделение метана на поверхность происходит в определенных местах, как правило, по стволам, шурфам и скважинам. Под напором воды при затоплении ствола, скважины и шахты или резком перепаде атмосферного давления в выработанном пространстве (пустотах) возникает избыточное давление, что приводит к значительному увеличению выделения газа на земную поверхность.

Смесь метана с воздухом горит со взрывом при наличии источника огня (искры) и концентрации метана 6...16 %. В случае концентрации метана 9 % сила взрыва максимальная. При концентрации более 16 % метановоздушная смесь горит самостоятельно (без взрыва) при условии притока кислорода (свежего воздуха) к месту горения.

Необходимо учитывать, что вместе с метаном из шахты в процессе затопления может вытесняться шахтная среда с низким содержанием кислорода и повышенным содержанием диоксида углерода. Диоксид углерода наравне с метаном представляет опасность для жизнедеятельности людей. Он тяжелее воздуха в 1,5 раза, поэтому скапливается у почвы сооружений. Даже при небольших его концентрациях (около 1 %) у человека затрудняется дыхание, наступает обморок, а затем – удушье.

По степени опасности выделения метана участки земной поверхности разделяются на неопасные, угрожаемые и опасные зоны:

- к неопасным зонам относятся площади горных отводов, в пределах которых отсутствует и не ожидается выделение вредных газов;
- к угрожаемым зонам относятся площади горных отводов, где не наблюдается выделение вредных газов на земную поверхность, но оно может возникнуть в результате ведения горных работ;
- к опасным зонам относятся площади горных отводов, в пределах которых обнаружено выделение вредных газов.

В настоящее время на 44 ликвидированных шахтах Донецкой Народной Республики площадь обследуемых горных отводов достигла 11800 га, зафиксировано 412 опасных и 17939 угрожаемых зон, при этом общее количество точек замеров достигло 78440.

При ликвидации и консервации шахт проблемы контроля выделяющихся на земную поверхность газов усложняются из-за большого объема и разбросанности точек замеров по территории горных отводов.

Обеспечить действенный и надежный контроль выделения вредных газов, отбора и анализа проб воздуха могут сотрудники Государственной военизированной горноспасательной службы МЧС ДНР (ГВГСС МЧС ДНР), так как данная служба в пределах своих полномочий – государственный орган по вопросам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Для контроля содержания вредных газов применяют приборы эпизодического действия (интерферометры типа ШИ-11 и ШИ-12), а отбор проб воздуха производят в специальные емкости (резиновые камеры или стеклянные бюретки) в соответствии с [4, 5]. Для измерения содержания газов в почвенном воздухе используют специальное воздухозаборное устройство (рис. 3), которое погружают в почву на глубину 1 м путем вращения его за ручки 5. Запирающий элемент 4 при этом находится внутри штанги 1. После погружения запирающего элемента прочищают газозаборное отверстие 2 путем вращения его вокруг оси, а затем запирающий элемент 4 извлекают из штанги 1. После этого газозаборный штуцер 6 соединяют с шахтным интерферометром, производят 10 нажатий на пневматическую грушу и определенный по шкале отсчет записывают в рабочую тетрадь. Отбор проб почвенного воздуха для лабораторного анализа производят «мокрым» способом в стеклянные бутылки емкостью 0,5 л, закрытые резиновыми пробками с двумя трубками.

Предлагается плановые замеры концентрации метана и других газов производить не реже:

- 1 раза в месяц – в зданиях и сооружениях, газодренажных скважинах и трубопроводах, расположенных в угрожаемой зоне;
- 3 раз в месяц – в жилых и общественных зданиях, расположенных в опасной зоне.

Плановые отборы проб воздуха для лабораторного анализа в специализированных газоаналитических лабораториях ГВГСС МЧС ДНР рекомендуется производить не реже 1 раза в квартал.

В зданиях, где установлено наличие метана, необходимо производить внеплановые отборы проб воздуха в течение суток со дня его обнаружения. Результаты анализов являются основанием для перевода угрожаемой зоны в опасную. При содержании метана в отдельных помещениях 1 % и более работы в здании следует прекратить, вывести людей из здания, отключить электроэнергию, разрешить доступ в здание только лицам, осуществляющим контроль за содержанием метана. Нужно принять меры по обеспечению

усиленного контроля за содержанием метана в здании, выяснить причины выделения и скопления метана и способствовать его ликвидации (проветривание помещений и защита здания от проникновения метана). Допуск людей в такие здания разрешается только после ликвидации скопления метана и создания постоянных условий, исключающих его повторное образование. Если подобные условия не могут быть обеспечены, то население этих домов должно быть переселено.

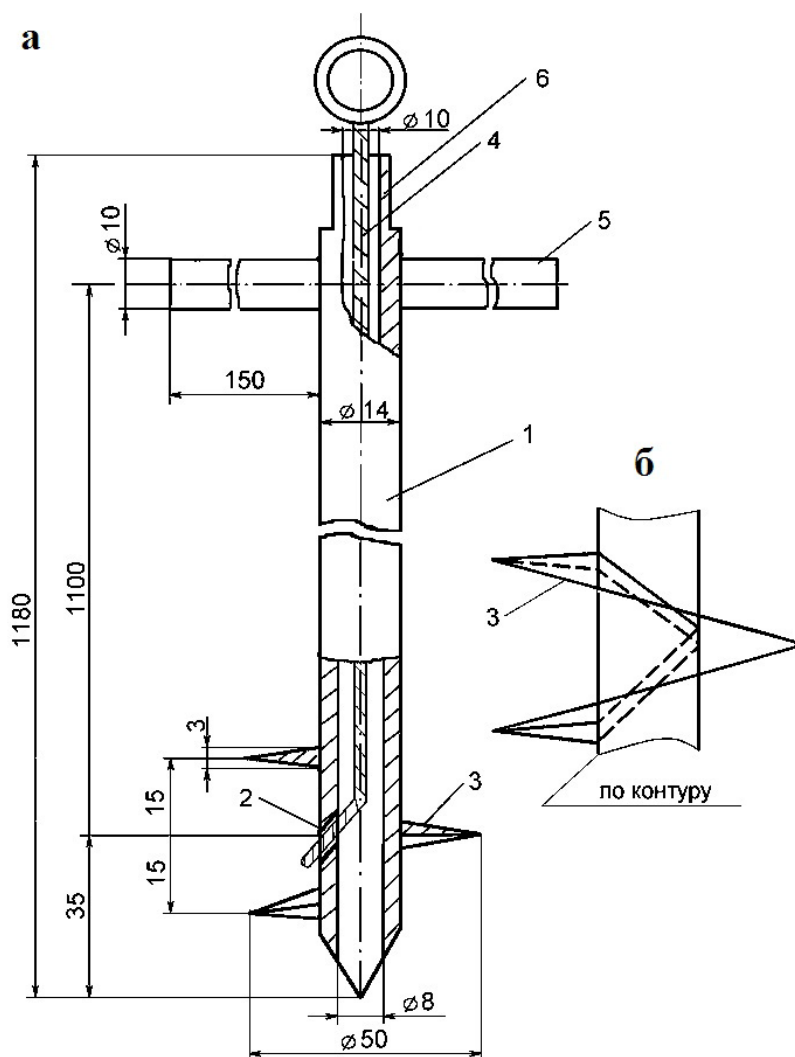


Рис. 3. Воздухозаборное устройство (а) и шнековая навивка (б):

- 1 – стальная труба (штанга); 2 – газозаборное отверстие диаметром 4 мм;
 3 – отрезок шнековой навивки; 4 – запирающий элемент в виде стального шомпола диаметром 3 мм; 5 – ручки для погружения (ввинчивания) устройства в грунт;
 6 – газозаборный штуцер

Выводы. В работе выполнено обоснование необходимости контроля за выделением вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения подразделениями горноспасательной службы при ликвидации (консервации) шахт, проведены исследования опасности выделения вредных газов, их источников, путей, условий и механизма поступления на земную поверхность.

Основные причины выделения вредных газов на земную поверхность, в здания и сооружения – прекращение проветривания и затопление выработок водой при ликвидации или консервации шахт. Вредные газы вытесняются на земную поверхность, проникают в погреба, здания и сооружения, представляя опасность для жизнедеятельности людей. Приведено деление участков земной поверхности на зоны опасности по выделению вредных газов.

Список литературы / References

1. Техногенные исследования закрытия угольных шахт Украины / Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков, Ю.Ф. Кренида [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 632 с.

Gavrilenko Yu.N., Ermakov V.N., Krenida Yu.F. et al. *Tekhnogenneye issledovaniya zakrytiya ugol'nykh shakht* [Technogenic investigations of closure of coal mines of Ukraine]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2004, 632 p. (In Russian).

2. Яковенко, А.В. Опасность выделения газов на поверхность из закрытых шахт, ее прогноз и предотвращение / А.В. Яковенко, В.А. Безбородов // Материалы 11-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула, Изд. ТулГУ, 2016. – С. 31 – 36.

Yakovenko A.V., Bezborodov V.A. *Opasnost' vydeleniya gazov na poverkhnost' iz zakrytykh shakht, eyo prognoz i predotvrashhenie* [Hazard of emission of gases on the surface from the closed mines, its prediction and prevention]. *Materialy 11-y mezhdunarodnoi konferentsii po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki* [Materials of the 11th International conference on problems of mining industry, building and energy]. Tula, Izd. TulGU Press, 2016, pp. 31 – 36. (In Russian).

3. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт / под ред. д-ра техн. наук. проф. И.Ф. Ярембаша. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 238 с.

Tekhnologiya zakrytiya (likvidatsii) ugol'nykh shakht. Pod red. d-ra techn. nauk, prof. I.F. Yarembasha. [Technology of closure (liquidation) of coal mines. Dr. Sci. (Tech.), prof. I.F. Yarembash, ed.]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2004, 238 p. (In Russian).

4. Исследование содержания метана в почвенном воздухе в области выходов под наносы геологических нарушений / Т.А. Василенко, Н.И. Василенко, Н.И. Волошина, И.Е. Кольчик [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 159 – 166.

Vasilenko T.A., Vasilenko N.I., Voloshina N.I., Kol'chik I.Ye. et al. *Issledovanie sodержaniya metana v pochvennom vozdukhe v oblasti vykhodov pod nanosy geologicheskikh narushenii* [Investigation of methane content in soil air in the area outcrops being under soils of geological faults]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy*

byulleten' – Mining information and analytical bulletin, 2016, no. 7, pp. 159 – 166. (In Russian).

5. Руководство по проведению депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2020. – 92 с.

Rukovodstvo po provedeniyu depressionnykh i gazovykh s'yomok v ugol'nykh shakhtakh [Guidelines on implementation of depression and gas surveys in coal mines]. Donetsk, NIIGD “Respirator” Publ., 2020, 92 p. (In Russian).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым
Дата поступления рукописи 25.12.2020

Aleksandr Mikhaylovich Simonov, head of department; e-mail: avrstla@mail.ru;

Nikolay Viktorovich Karnaukh, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: avrstla@mail.ru;

Aleksandr Vladislavovich Agarkov, post graduate, advanced engineer;

e-mail: aleksander_agarkov@mail.ru;

Vladimir Vladimirovich Zakhlebin, engineer of the 1st category; e-mail: avarvent@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-34

MONITORING OF THE EMISSION OF HARMFUL GASES ON THE GROUND SURFACE

Purpose. Substantiation of necessity to conduct monitoring of the emission of harmful gases on the ground surface, in buildings and constructions by the mine-rescue service subdivisions during liquidation (conservation) of mines.

Methods. The analytical method of investigation consisting of analysis and processing the special sources, scientific literature, statutory and regulatory enactments and institutional documents, scientific and technical generalization of the investigation results and statistical analysis have been applied.

Results. The scientific and technical analysis of causes, sources, ways and conditions of the emission of harmful gases on the ground surface, the analysis of the accident and traumatism rate have been done. The method and devices for monitoring of the emission of harmful gases by collecting and testing the air samples have been suggested.

Scientific novelty. The new approach has been proposed regarding the evaluation of the monitoring results of the emission of harmful gases on the ground surface, determination of the monitoring duration, relocation of the monitoring zones that will expand the notion of mechanism of the processes and will make it possible to improve the monitoring system and its quality.

Practical value. Environmental monitoring with the purpose to ensure the safety of people on the surface, in buildings and constructions.

Keywords: harmful gases; ground surface; methane emission sources and migration ways; monitoring of content of harmful gases; instrument equipment; air sampling.

УДК 621.841.245:621.313.012.5*Владлен Валерьевич Гуржий, ст. науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru;**Александр Андреевич Березин, инж.; e-mail: fire408@mail.ru**Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР**283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-80**Дмитрий Константинович Свердил, нач. отд-ния; e-mail: ipldnr@mail.ru**Испытательная пожарная лаборатория Республиканского спасательного центра МЧС ДНР*
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 071) 300-39-17

ПРИЗНАКИ ЛОКАЛЬНОГО НАГРЕВА В КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Цель. Установление признаков локального нагрева в местах контактных соединений фрагментов электроустановок, изъятых с места пожара.

Методы. Инструментальные исследования контактных соединений со следами воздействия высокой температуры.

Результаты. Установлены характерные признаки локального нагрева в контактных соединениях электроустановок, изъятых с места пожара, с целью определения причинно-следственной связи между аварийным режимом и возникновением пожара.

Научная новизна. Представлены характерные признаки аварийного режима работы – большое переходное сопротивление в контактных соединениях электроустановок при локальном нагреве (безыскровой режим работы).

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют определить причастность аварийных режимов работы электроустановок к возникновению пожара.

Ключевые слова: аварийные режимы работы; большое переходное сопротивление; контактное соединение; локальный нагрев; безыскровой режим; электроустановка; оплавления.

Постановка проблемы. Причинно-следственная связь между аварийными режимами работы электроустановок и возникновением пожара определяется только на основании комплексного рассмотрения объектов исследования и вещественных доказательств, изъятых с места пожара. Один из его этапов – исследование фрагментов электроустановок на наличие признаков аварийных режимов работы, образовавшихся до или вследствие пожара. Необходимость инструментальных исследований обусловлена пожарной опасностью аварийных режимов, возникающих во время работы электроустановок и сопровождающихся тепловыми эффектами, которые могут стать причиной воспламенения горючих веществ и материалов [1].

Пожарная опасность электрического соединения при аварийном режиме в электроустановках – большое переходное сопротивление (далее – БПС) – проявляется при номинальных значениях электрического тока или при значениях тока меньше номинального, что приводит к нагреванию участка электрической цепи вследствие увеличения величины переходного сопротивления в контактных соединениях. Вероятные источники возгорания веществ и материалов при

этом – повышение температуры изоляционной оболочки проводов и кабелей выше допустимых значений, установленных нормативными документами, дуговое замыкание, разлет раскаленных или горящих частиц металла, что приводит к оплавлению поверхностей изоляции проводов и контактных соединений.

Причины возникновения БПС в контактных соединениях как пожароопасного режима работы электроустановок следующие [2]:

- недостаточное контактное усилие в соединениях автоматических выключателей и контакторов;
- окисление контактируемых материалов;
- вибрационная нагрузка электроустановки, приводящая к ослаблению контактного соединения;
- недостаточная площадь контактных поверхностей;
- неправильное соединение жил проводов и кабелей;
- дефекты токопроводящих шин, жил проводов и кабелей;
- старение изоляции проводов и кабелей;
- некачественный монтаж контактных соединений и т.д.

Значительное тепловыделение (на единицу площади) в месте соприкосновения контактных поверхностей при недостаточной площади приводит к возникновению аварийных режимов работы. Тепловыделение способствует деформации контактирующих поверхностей и уменьшению площади соприкосновения контактов, что обуславливает возникновение микроскопических дуговых электрических разрядов, которые значительно повышают температуру контактных соединений и, следовательно, его пожарную опасность [3].

Схема возникновения пожара при локальном нагреве поверхности контактного соединения представлена на рис. 1 [3].

БПС, с точки зрения пожарной опасности, может быть двух видов: искрение (искровой режим) и локальный нагрев (безыскровой режим), которые могут встречаться как раздельно, так и одновременно в одной точке электрической цепи в зависимости от:

- внешних условий (температуры, влажности, агрессивности среды и т.д.);
- величины силы тока;
- других факторов (вибрации и т.д.).

Если искрение в месте контактного соединения не происходит, а площадь контактного соединения недостаточна для нормального прохождения электрического тока, то это приводит к локальному повышению температуры [4].

В работе [5] отмечено, что при протекании длительно допустимого электрического тока по жиле провода устанавливается стационарный режим работы, при котором величина температуры токопроводящей жилы провода в месте контактного соединения достигает постоянного значения, обусловленного величиной тока.



Рис. 1. Схема возникновения пожара при локальном нагреве поверхности контактного соединения

Изменение величины температуры в контактном соединении происходит в одном из возможных режимов [6]:

- величина температуры контактного соединения растет быстрее, чем у жилы провода, что обусловлено большим переходным сопротивлением в месте контактного соединения;
- величина температуры контактного соединения на начальной стадии растет быстрее, чем в токопроводящих жилах, поэтому с течением времени устанавливается равновесный стационарный режим и возникает баланс между выделением теплоты в контактном соединении и его отводом в окружающую среду.

Анализ последних исследований. В работе [7] исследованы и систематизированы признаки, характерные для больших переходных сопротивлений в контактных соединениях при визуальном осмотре. В работе [8] представлены характерные признаки БПС (искровой режим работы) при морфологическом анализе с применением цифрового микроскопа с программным обеспечением.

Результаты исследований. Основная задача исследований изменения свойств материалов вследствие внутреннего или внешнего теплового воздействия при морфологическом анализе состоит в решении вопроса о причинах оплавлений поверхностей контактных соединений и изоляции.

При инструментальных исследованиях структуры поверхностей образцов, изъятых с места пожара, с целью определения наличия (отсутствия) на нем признаков, характерных для БПС, изучали поверхность участков образцов,

используя оптическое увеличение цифрового микроскопа с программным обеспечением.

При инструментальном исследовании поверхности штепсельной электророзетки, которая была изъята с места пожара и подвергалась воздействию высокой температуры, выявлено локальное оплавление поверхности полимерного материала корпуса электророзетки в месте подключения штифта штепсельной электровилки к штепсельному гнезду (см. рис. 2).

Для дальнейшего исследования штепсельное гнездо было разобрано. Установлены локальное потемнение на поверхности штепсельного гнезда, которое возникло в результате недостаточной площади контакта между штифтом штепсельной электровилки и штепсельным гнездом (см. рис. 3); локальное потемнение корпуса штепсельной электровилки в месте контактного соединения (см. рис. 4) и оплавление на поверхности штифта штепсельной электровилки в месте контактного соединения (см. рис. 5).



Рис. 2. Локальное оплавление поверхности полимерного материала корпуса электророзетки при увеличении в 350 раз

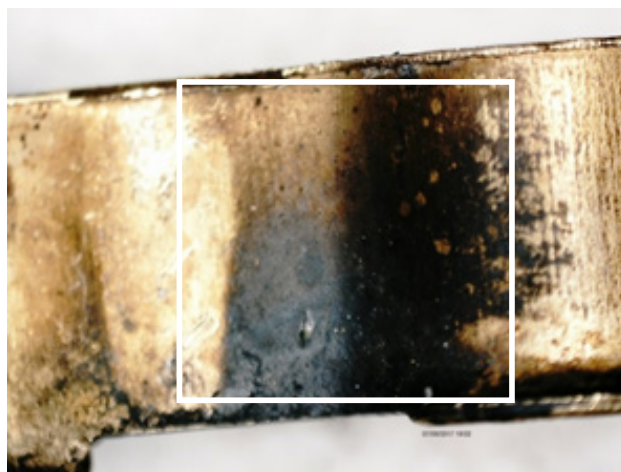


Рис. 3. Локальное потемнение участка на поверхности штепсельного гнезда в месте контактного соединения при увеличении в 400 раз



Рис. 4. Локальное потемнение на поверхности корпуса штепсельной электровилки в месте контактного соединения

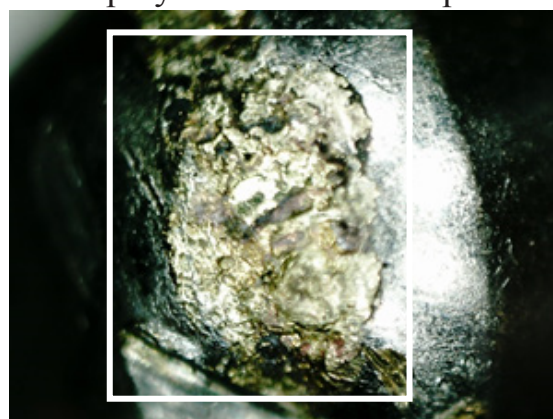


Рис. 5. Оплавление на поверхности штифта штепсельной электровилки в месте контактного соединения при увеличении в 400 раз

При инструментальных исследованиях поверхностей винтового контактного соединения установлено сплавление фрагмента жилы медного провода без изоляции с поверхностью винта контактного соединения (см. рис. 6) и имели место волнообразные наплывы на поверхности винтового контактного соединения (см. рис. 7).



Рис. 6. Сплавление фрагмента жилы медного провода с поверхностью винта контактного соединения при увеличении в 350 раз

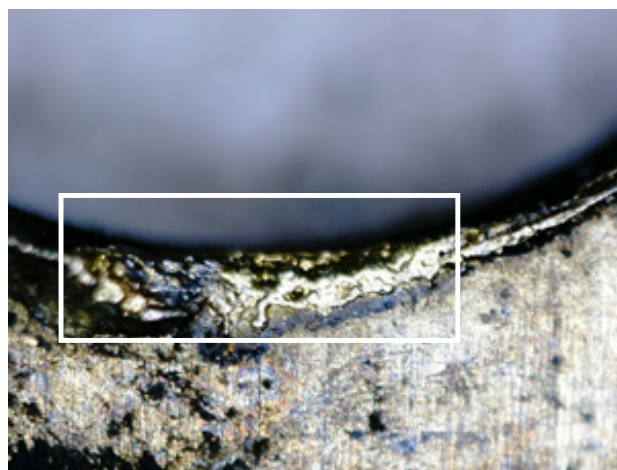


Рис. 7. Волнообразные наплывы на поверхности винтового контактного соединения при увеличении в 400 раз

При инструментальных исследованиях поверхностей контактных соединений «в скрутку» установлено следующее:

- контактное соединение «в скрутку» (медь+медь) – образование оксидной пленки на поверхности жил медных проводов в месте контактного соединения (см. рис. 8);
- контактное соединение «в скрутку» (алюминий+медь) – сплавление жил медного и алюминиевого проводов в месте контактного соединения (см. рис. 9).



Рис. 8. Образование оксидной пленки на поверхности жил медных проводов в месте контактного соединения «в скрутку» при увеличении в 350 раз

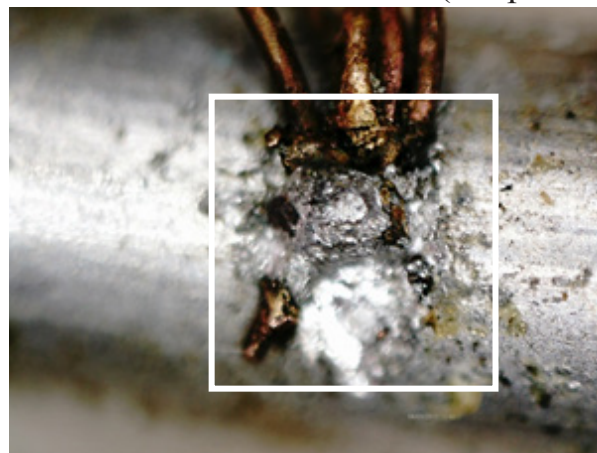


Рис. 9. Сплавление жил медного и алюминиевого проводов в месте контактного соединения «в скрутку» при увеличении в 400 раз

Выводы

- В результате инструментальных исследований свойств материалов вследствие внутреннего или внешнего теплового воздействия при морфологическом анализе с применением цифрового микроскопа с программным обеспечением установлено, что характерные признаки большого переходного сопротивления для основных видов контактных соединений, подвергавшихся локальному нагреву (безыскровой режим работы электроустановок), проявляются в виде оплавлений, сплавлений, волнообразных наплывов, локальных потемнений, оксидной пленки.
- При морфологическом анализе представлены основные характерные признаки локального нагрева (безыскрового режима работы электроустановок) в контактных соединениях.
- Результаты инструментальных исследований применяются при установлении признаков аварийных режимов работы электроустановок для определения их причастности к возникновению пожара.

Список литературы / References

1. Гуржий, В.В. Практическая значимость Атласа по определению признаков аварийных режимов работы электрооборудования / В.В. Гуржий, А.А. Березин, С.В. Искрук // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2020. – № 4(57). – С. 103 – 109.

Gurzhiy V.V., Berezin A.A., Iskruck S.V. *Prakticheskaya znachimost' Atlasa po opredeleniyu avariinykh rezhimov raboty elektrooborudovaniya* [Practical value of the Atlas for determination of emergency states of the electrical equipment operation]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2020, no. 4(57), pp. 103 – 109. (In Russian).

2. Черкасов, В.Н. Пожарная безопасность электроустановок / В.Н. Черкасов, Н.П. Косторев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

Cherkasov V.N., Kostorev N.P. *Pozharnaya bezopasnost' elektroustanovok* [Fire safety of electric installations]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Press, 2002, 377 p. (In Russian).

3. Лебедев, К.Б. Следы больших переходных сопротивлений в электротехнических устройствах и их экспертное исследование / К.Б. Лебедев, И.Д. Чешко // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 6. – С. 32 – 38.

Lebedev K.B., Cheshko I.D. *Sledy bol'shikh perekhodnykh soprotivlenii v elektro-tekhnicheskikh ustroystvakh i ikh ekspertnoe issledovanie* [Marks of high transient resistances in electrical devices and their expert investigation]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2003, no. 6, pp. 32 – 38. (In Russian).

4. Атлас по определению признаков аварийных режимов работы электрооборудования: утв. МЧС ДНР 18.10.2018. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2018. – 154 с.

Atlas po opredeleniyu priznakov avariinykh rezhimov raboty elektrooborudovaniya: utv. MChS DNR 18.10.2018 g. [The Atlas for determination of emergency states of the electric equipment operation: approved by the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters on October 18, 2018]. Donetsk, NIIGD "Respirator" Publ., 2018, 154 p. (In Russian).

5. Зинченко, Е.О. Температура нагревания проводников в контактных соединениях электроустановок / Е.О. Зинченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 3(54). – С. 36 – 47.

Zinchenko Ye.O. *Temperatura nagrevaniya provodnikov v kontaktnykh soedineniyakh elektroustanovok* [Temperature of heating the conductors in contact couplings of electrical installations]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 3(54), pp. 36 – 47. (In Russian).

6. Анисьяев, А.М. Практические указания по определению возможной причастности токов короткого замыкания к воспламенению изоляции проводников / А.М. Анисьяев, А.А. Иванович, В.Ж. Хвасько. – Минск: МЧС Республики Беларусь, 2002. – 62 с.

Anisyaev A.M., Ivanovich A.A., Khvas'ko V.Zh. *Prakticheskie ukazaniya po opredeleniyu vozmozhnoi prichastnosti tokov korotkogo zamykaniya k vosplameneniyu izolyatsii provodnikov* [Practical guidelines on determination of possible participation of short circuit currents in combustion of insulation of conductors]. Minsk, MChS Respubliki Belarus' Publ., 2002, 62 p. (In Russian).

7. Гуржий, В.В. Признаки больших переходных сопротивлений в контактных соединениях / В.В. Гуржий, Е.О. Зинченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2018. – № 2(55). – С. 74 – 79.

Gurzhiy V.V., Zinchenko Ye.O. *Priznaki bol'shikh perekhodnykh soprotivlenii v kontaktnykh soedineniyakh* [Marks of high transient resistances in contact couplings]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nach.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2018, no. 2(55), pp. 74 – 79. (In Russian).

8. Гуржий, В.В. Искровые разряды в контактных соединениях электроустановок / В.В. Гуржий, Е.О. Зинченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 2(56). – С. 22 – 27.

Gurzhiy V.V., Zinchenko Ye.O. *Iskrovye razryady v kontaktnykh soedineniyakh elektroustanovok* [Spark discharges in contact couplings of electrical installations]. *Nauchnyi vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, no. 2(56), pp. 22 – 27. (In Russian).

Vladelen Valeryevich Gurzhiy, senior scientific associate; e-mail: opbush@mail.ru;

Aleksandr Andreyevich Berezin, engineer; e-mail: fire408@mail.ru

The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work,

Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 062) 332-78-80

Dmitry Konstantinovich Sverdil, commander of unit; e-mail: ipldnr@mail.ru

The Fire Investigation Laboratory of the Republican Rescue Centre of the MChS DPR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone: (+38 071) 300-39-17

MARKS OF LOCAL HEATING IN CONTACT COUPLINGS OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

Purpose. Determination of local heating marks in spots of contact couplings of fragments of the electrical installations taken from a place of fire.

Methods. Instrumental investigations of the contact couplings with traces of the high temperature exposure.

Results. The typical marks of the local heating in the contact couplings of the electrical installations taken from the place of fire have been established with the purpose to determine the cause-and-effect relation between the emergency mode and the fire outbreak.

Scientific novelty. The typical marks of the emergency operating mode, i.e. high transient resistance in the contact couplings of the electrical installations during the local heating (sparkless operating mode) have been presented.

Practical value. The results of investigations make it possible to determine the participation of the emergency operating modes of the electrical installations in the fire outbreak.

Keywords: *emergency operating modes; high transient resistance; contact coupling; local heating; sparkless mode; electrical installation; flowings.*

Требования к оформлению и опубликованию статьи

К рассмотрению принимаются статьи, сопровождаемые электронной версией (Microsoft Word 2007, 2010).

Текст рукописи статьи необходимо разместить на странице с полями 2,0 см, первые строки всех абзацев – с отступом 1,25 см, шрифт Times New Roman, кегль 14, интервал 1,5. Название статьи, заголовки элементов основного текста выделяются полужирным шрифтом.

Структура статьи:

- индекс УДК (в верхнем левом углу страницы);
- полностью имена, отчества и фамилии всех авторов (не более 4 человек), научная степень, место работы (полное название организации), должность, город, номера телефонов и электронная почта;

- название статьи (до 10 слов) на русском и английском языках;
- реферат (от 200 до 300 слов исключительно общепринятой терминологии) должен быть структурирован и содержать следующие элементы: цель; методы; результаты; научная новизна; практическая значимость; ключевые слова (не менее 5 слов) на русском и английском языках;

- основной текст статьи;
- список литературы;
- кем рекомендована статья к публикации;
- раздел журнала для размещения статьи.

Основной текст статьи должен содержать следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы;
- анализ последних исследований и публикаций;
- выделение нерешенных ранее частей общей проблемы;
- формулировка цели статьи (постановка задания);
- описание методов (структуры, последовательности) проведения исследования;
- изложение основного материала и полученных научных результатов;
- выводы и перспективы дальнейшего развития в этом направлении.

Объем статьи, включая текст, таблицы, рисунки, должен быть от 7 до 10 страниц. Рекомендуется, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25 % общего объема. Материал должен быть изложен сжато, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте.

Рисунки (диаграммы, фотоснимки и др.) предоставляются в виде отдельных файлов общепринятых графических форматов (jpeg, bmp). Диаграммы, схемы, графики должны быть доступны для редактирования (Word, Excel, Visio). *Рисунки* (диаграммы, фотоснимки и др.) располагают вместе с текстом в местах ссылок на них. Изображения должны быть четкими и контрастными, иметь разрешение не менее 300 dpi. Рисунки нумеруют, если их два или более. Подрисуночные подписи обязательны. Недопустимо включать их в сам рисунок.

Формулы выполняются в редакторе Math Type (кроме однострочных), стиль – математический (курсив). Формулы отделяют от текста сверху и снизу одним интервалом и располагают по центру строки. Номер формулы указывается справа в круглых скобках. Нумеруют только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Все физические величины приводятся в системе СИ.

Таблицы располагаются в книжной ориентации, они должны иметь заголовки и быть пронумерованными, если их две или более. Желательная длина таблицы – не больше одной страницы.

Список литературы (не более 15 источников) приводят в порядке упоминания в тексте; обозначают цифрами в квадратных скобках. Порядок изложения элементов библиографического описания на русском языке определен требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из различных изданий. В списке литературы должно быть не более 20 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи. Не следует включать в список литературы нормативные документы, ГОСТы, патенты; ссылки на них должны быть даны непосредственно в тексте статьи.

Статья должна быть тщательно проверена, печатный вариант – подписан всеми авторами и сопровождаться письменной рекомендацией доктора наук соответствующего профиля.

Рецензия

• Поступившая в редакцию рукопись научной статьи рассматривается главным редактором (заместителем главного редактора) на предмет соответствия профилю журнала и требованиям к оформлению. Если рукопись научной статьи соответствует тематике журнала и содержит новые актуальные результаты, то ее направляют рецензентам (соответствующего профиля) для экспертной оценки.

- Рецензент оценивает статью и дает заключение о целесообразности ее публикации.
- Рецензии хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

Если статья не соответствует профилю журнала, то автору сообщается о невозможности её публикации.

В случае положительного решения редакция регистрирует статью и совместно с автором ведёт подготовку статьи к публикации. Перед публикацией статьи автору представляется отредактированный сверстаный вариант для просмотра.

Рукописи статей, принятые к публикации, автору не возвращаются.

Ответственность за содержание статьи несет автор.

Статьи, которые не соответствуют данным требованиям, не рассматриваются.

Научный вестник НИИГД «Респиратор»

Научно-технический журнал
2021, № 1(58)

На русском и английском языках

Ответственный редактор Л.В. Барзий

Переводчик Л.А. Ахундова

Технический редактор Н.Н. Грибенюк

Учредитель и издатель

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР*

Поступившие на издание статьи проходят рецензирование

**Авторы опубликованных материалов несут ответственность
за использование сведений, не подлежащих открытой публикации**

Подписано к использованию 04.02.2021.

Адрес редакции и издателя: НИИГД «Респиратор», ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: (+38 062) 332-78-01; 332-78-60

Объем 5,25 Мб

E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

Дата размещения на сайте 5 марта 2021 г.