



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(55)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2018

УДК 614.8"363"+355.244.2+622.867

Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2018. – № 1(55). – 130 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 № 1134 от 01.11.2016).

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	П.С. Пашковский – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	Ю.Ф. Булгаков
д-р техн. наук	С.П. Высоцкий
д-р техн. наук	С.П. Греков
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	К.Н. Лабинский
д-р техн. наук	В.В. Мамаев
д-р техн. наук	Ф.В. Недопекин
д-р техн. наук	Д.Ю. Палеев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	Г.П. Стариков
д-р техн. наук	В.Г. Сынков
канд. техн. наук	В.С. Харьковский (Республика Казахстан)

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

Подписан к печати по рекомендации ученого совета НИИГД «Респиратор» (протокол № 1 от 30.01.2018).

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

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

Свидетельство о регистрации сетевого издания ААА № 000121 от 20.04.2017.



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 Defense Affairs, Emergencies, and Liquidation of Consequences of Natural Disasters

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NIIGD "RESPIRATOR"

Scientific-technical journal

No. 1(55)

Published quarterly

Found in 1970

Donetsk
2018

UDC 614.8"363"+355.244.2+622.867

Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal. – Donetsk, 2018. – No. 1(55). – 130 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 which the basic scientific results of dissertations for degrees of doctor and candidate of sciences should be published in (order of the Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic no. 1134 from 01.11.2016).

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 Defense Affairs, Emergencies, and Liquidation of Consequences of Natural Disasters.

Editorial board:

Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Ageyev – editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	P.S. Pashkovskiy – deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	Yu.F. Bulgakov
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Vysotskiy
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Grekov
Dr. Sci. (Tech.)	A.Ph. 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.)	K.N. Labinskiy
Dr. Sci. (Tech.)	V.V. Mamayev
Dr. Sci. (Tech.)	F.V. Nedopekin
Dr. Sci. (Tech.)	D.Yu. Paleyev (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	G.P. Starikov
Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Synkov
Cand. Sci. (Tech.)	V.S. Kharkovskiy (Republic of Kazakhstan)

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

Approved for printing according to the reference of the academic council of the NIIGD "Respirator" (proceeding no. 1 from 30.01.2018).

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

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

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

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

**Греков С.П., Зинченко И.Н.,
Орликова В.П., Глушенко К.В.**
Температурное поле при очаговом
самонагревании органического
вещества 7

Мамаев В.В., Мамаева В.В.
Управление индивидуальным
пожарным риском в общественных
зданиях при спасении людей 22

**Греков С.П., Орликова В.П.,
Пашковский О.П.**
Параметры теплообмена при очаговом
нагревании насыпи шахтной породы 33

Гуржий В.В., Зинченко Е.О.
Дифференциация коротких замыканий
медных и алюминиевых проводников 47

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

Кострубицкий А.А.
Характеристика нормативно-правовой
базы Донецкой Народной Республики в
сфере защиты населения и территорий
от чрезвычайных ситуаций 54

**Пашковский П.С., Чапкович А.В.,
Зинченко Н.Г.**
Принципы построения и технические
характеристики высокочастотной
аппаратуры горноспасательной связи 65

Канин В.А.
Закрепление неустойчивых горных
пород 73

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

**Grekov S.P., Zinchenko I.N.,
Orlikova V.P., Hlushenko K.V.**
The temperature field by the focal self-
heating of an organic substance 7

Mamayev V.V., Mamayeva V.V.
Management of the individual fire risk in
public buildings by rescue of the people 22

**Grekov S.P., Orlikova V.P.,
Pashkovskiy O.P.**
Heat exchange parameters by focal heating
the embankment of the mine rock 33

Gurzhiy V.V., Zinchenko Ye.O.
Differentiation of short circuits of copper
and aluminium conductors 47

II. Safety in emergencies

Kostrubitskiy A.A.
Characteristic of the normative legal basis
Of the Donetsk People's Republic in the
sphere of defense of population and
territories against emergencies 54

**Pashkovskiy P.S., Chapkovich A.V.,
Zinchenko N.G.**
Principles of construction and technical
characteristics of the high-frequency mine-
rescue communication equipment 65

Kanin V.A.
Strengthening the unstable rocks 73

Иващенко В.Д., Потапенко А.И. Методика определения площадей многомерных фигур методом взвешивания	82	Ivashchenko V.D., Potapenko A.I. Methodology of determination of areas of multidimensional figures with the weighting method	
III. Охрана труда и экологическая безопасность		III. Labor protection and environmental safety	
Агеев В.Г., Гребёнкин С.С., Кравченко Е.В., Буряк Д.С. Эколого-экономические проблемы комплексного использования природных ресурсов и возможные пути их решения	89	Ageyev V.G., Grebyonkin S.S., Kravchenko Ye.V., Buryak D.S. Ecoeconomic problems of the complex use of natural resources and possible ways of their solution	
Долженков А.Ф., Бутукова Т.С., Мартынова Н.А. Современные подходы к оценке пылепроницаемости и пылеемкости тканей спецодежды шахтеров	104	Dolzhenkov A.F., Butukova T.S., Martynova N.A. Modern approaches to estimation of dust permeability and dust capacity of fabrics of the miner's working clothes	
Кулакова С.И. Безопасность комплексно- механизированных лав при больших нагрузках	113	Kulakova S.I. safety of fully mechanized faces by heavy loads	
Тарасенко С.Л. Испытание ткани на стойкость к истиранию	122	Tarasenko S.L. Abrasion resistance testing of fabrics	
Требования к оформлению статьи	129	Requirements of execution of an article	

I. Пожарная и промышленная безопасность

УДК [614.841.41:536.244:536.12]:001.891.573

Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: obep.niigd@list.ru;

Игорь Николаевич Зинченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: zinstar@mail.ru;

Виктория Петровна Орликова, науч. сотр.; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com;

Кристина Валериевна Глушенко, мл. науч. сотр.; e-mail: kristina.hlushenko@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-81*

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ОЧАГОВОМ САМОНАГРЕВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Цель. Разработать математическую модель распределения температуры при самонагревании органического вещества с внутренним точечным источником теплоты.

Методика. Математическое моделирование процесса самонагревания вещества растительного происхождения на примере травяной муки в условиях изоляции.

Результаты. В явном виде получено численное решение математической задачи процесса самонагревания органического вещества от источника теплоты. Показано, что безразмерное время достижения критической температуры за счет микробиологической активности существенно превышает время в случае присутствия искусственного точечного источника теплоты. Сравнительный анализ результатов расчёта численным и аналитическим методами с экспериментальными данными показал удовлетворительную сходимость. Путем моделирования самонагревания травяной муки рассчитаны значения коэффициента теплоотдачи и критерия Био внутри насыпи с вмещающими частицами (воздухом). Преимущество численного метода перед аналитическим состоит в возможности определить реакционную активность дисперсной среды, коэффициенты температуропроводности и теплопроводности с учётом испарения влаги.

Научная новизна. Численный метод позволяет определять коэффициент теплоотдачи внутри насыпи дисперсного вещества в условиях реально развивающегося очага самонагревания на основе экспериментальных данных.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют прогнозировать динамику температуры в слое растительного сырья в местах хранения и переработки, используя лишь показания термодатчиков.

Ключевые слова: *нестационарная теплопроводность; очаговое самонагревание; температурное поле; точечный источник теплоты; моделирование; коэффициент теплоотдачи; критерий Био; реакционная активность.*

Постановка проблемы. Самонагревание растительного сырья было причиной многих пожаров и взрывов на предприятиях, где его перерабатывали и хранили. Как известно, этот процесс связан с жизнедеятельностью микроорганизмов, которые находятся в этом сырье. При выделении теплоты вследствие микробиологической активности в определённой зоне зерновой массы может возникнуть очаг самонагревания и с течением времени превратиться в очаг пожара, поэтому крайне важно прогнозировать процессы самонагревания в растительной массе с целью предупреждения её возгорания.

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций, а также обеспечения надлежащих условий хранения растительного сырья фиксируют температуру в насыпях больших объёмов с помощью технических систем контроля. Однако данные термодатчиков показывают температуру в момент измерений и не дают информации о том, как будет развиваться температурный режим в последующие моменты времени [1]. Теоретическое решение поставленной задачи – достаточно сложное, поскольку на самонагревание влияют микробиологические процессы, воздушный и тепловой режимы в хранилище, массовая концентрация влаги в растительном сырье и др. [2]. Для описания распространения теплоты и прогнозирования динамики температуры в дисперсных средах, которыми являются насыпи растительного сырья, разрабатываются соответствующие математические модели, основанные на классических уравнениях теплопроводности.

Анализ последних исследований. Согласно полученным решениям задачи теплопроводности для расчёта развития температуры во времени необходимо использовать параметры внутренних точечных очагов самонагревания [3 – 6]. Так, в работе [3] приведены зависимости для вычисления максимальной температуры T_{\max} , °С, в центре скопления и времени достижения τ , с, любой текущей температуры. Однако в формулах используют постоянное значение функции тепловыделения q_0 , равное 100 Вт/м^3 , которая на самом деле зависит от скорости химической реакции окисления конкретного вещества. Также отсутствуют параметры, определяющие теплообмен в скоплении вещества при испарении влаги и теплоотдаче.

В работе [6] решена центрально-симметричная задача нестационарной теплопроводности для бесконечного пространства, при этом изменение интенсивности тепловыделения $q(r)$, Вт/м^3 , по радиальной координате r , м, описано дробно-рациональной функцией

$$q(r) = q_0 \frac{R^4}{r^4 + R^4}, \quad (1)$$

где $q_0 = q(0)$ – интенсивность тепловыделения в центре очага, Вт/м^3 ;

R – геометрический параметр, характеризующий локализацию очага самонагревания (или радиус насыпи), м.

В работе И.А. Корольченко [7] функция тепловыделения из предположения о вероятностном распределении частиц в насыпи представлена в виде экспоненциальной зависимости (2)

$$q(r) = q_0 \exp \left[- \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right], \quad (2)$$

что не является научно обоснованным и корректным, поскольку неизвестно, как будет накапливаться теплота в системе во время испарения влаги и химической реакции окисления.

В работе [4] математическая модель процесса очагового самонагрева насыпи представлена в двумерных координатах и решена численным методом с помощью неявной разностной схемы. Однако результаты численного эксперимента, проведенного на базе разработанной модели, не подтверждены экспериментальными данными и сама модель не предусматривает расчет коэффициента теплоотдачи внутри насыпи с вмещающими частицами (воздухом).

Подводя итог обзора публикаций [3 – 7], можно сделать вывод, что математические модели температурных полей при очаговом самонагревании не учитывают потерю теплоты при испарении влаги, накопление теплоты при химической реакции окисления вещества, реакционную активность дисперсной среды, теплоотдачу внутри насыпи или же априорно задают некоторые теплофизические характеристики растительного сырья константами.

Цель исследования – разработать адекватную математическую модель температурного поля при очаговом самонагревании органического вещества с внутренним источником теплоты.

Материалы и результаты исследований. Процесс распределения температуры в насыпи при очаговом самонагревании с внутренним источником теплоты может быть адекватно смоделирован в рамках одномерной задачи нестационарной теплопроводности, которая сформулирована следующим образом. В дисперсной среде с начальной температурой T_0 в момент времени $\tau = 0$ начинает действовать сферический источник тепловыделения, возникший в результате микробиологической активности или химического реагирования вещества с кислородом в межкусковом пространстве с интенсивностью тепловыделения q_0 . При этом граничная сферическая поверхность представляет собой не границу насыпи (таких форм насыпи в природе нет, а есть лишь симметричное распространение теплоты [3]), а некоторую условную поверхность, окаймляющую очаг самонагрева. На этой условно выделенной внутри насыпи поверхности при теплообмене с окружающим пространством прирост температуры принимаем равным нулю. На начальном этапе самонагрева избыточная температура в очаге T почти не зависит от радиуса окаймляющей сферы R при условии, что он значительно больше радиуса очага, как показано на рис. 1. Поскольку скопление представляет собой двухфазную среду, состоящую из твёрдого вещества и воздуха, то происходит самонагревание не только вещества, но и воздушной массы. Вследствие возникающей при этом разницы плотностей и подъёмной силы в поле тяжести нагревающийся воздух преимущественно движется вверх. Это движение сопровождается переносом теплоты и перемешиванием объёмов воздуха с различной температурой и называется конвекцией. В результате самонагревание дисперсной среды будет несимметричным относительно

источника, процесс самонагрева будет направлен вверх. Таким образом, представляет интерес изучение динамики температуры в верхней части насыпи. В настоящей работе рассмотрен перенос теплоты в скоплении только теплопроводностью.

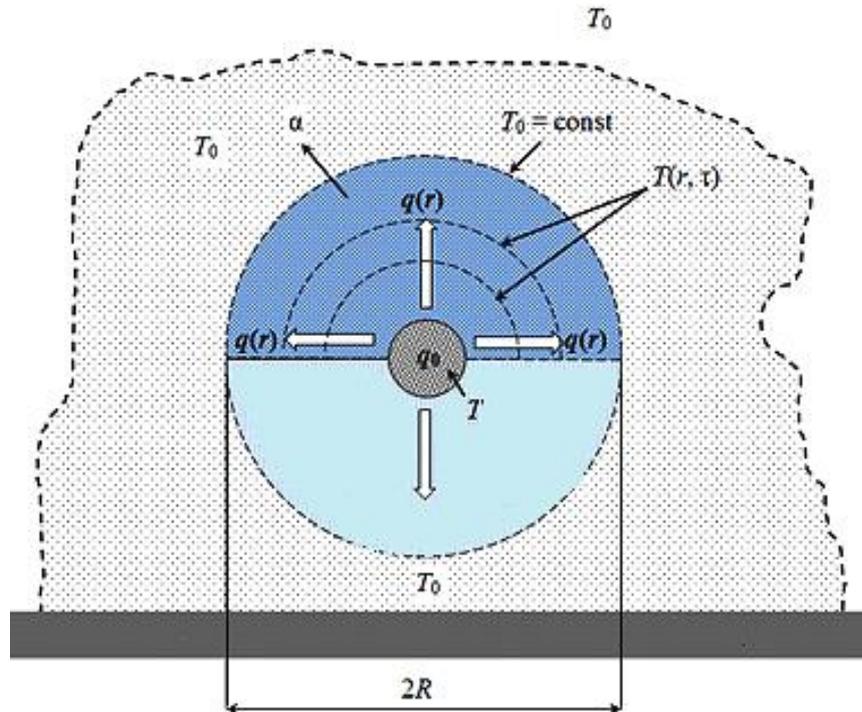


Рис. 1. Модель очагового самонагрева насыпи дисперсного вещества с внутренним источником теплоты

Для описания процесса теплообмена с учётом испарения влаги из частиц твёрдого дисперсного вещества используем уравнение теплопроводности в сферических координатах [8, 9]

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{2}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} \right) + \frac{\xi q_1 k_1 C_{O_2}}{\rho c_v} \exp \left(\frac{E_1}{RT_0} - \frac{E_1}{RT} \right) - \frac{q_2 k_2 W}{\rho c_v} \left[\exp \left(\frac{E_2}{RT_0} - \frac{E_2}{RT} \right) - 1 \right] \quad (\tau > 0; \quad 0 < r < R), \quad (3)$$

с начальными

$$\left| \begin{array}{l} T(0, t) = T_0 - \text{в отсутствии точечного источника теплоты,} \\ T(0, t) = T_{\text{ист}} - \text{в присутствии точечного источника теплоты,} \end{array} \right. \quad (4)$$

и граничными условиями

$$\left. \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} \right|_{R=0} = 0; \quad (5)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R} = \alpha [T_0 - T(r, \tau)],$$

где T – переменная температура при самонагревании, К;

r, R – переменный и постоянный радиусы, м;

τ – время, с;

a – коэффициент температуропроводности горючего вещества, м²/с;

ξ – отношение площади реакционной поверхности пор к площади поверхности (или реакционная активность дисперсной среды);

q_1, q_2 – теплота реакции окисления дисперсного вещества и испарения влаги соответственно, Дж/моль;

k_1, k_2 – константа скорости химической реакции и испарения влаги соответственно, с⁻¹;

C_{O_2} – молярная концентрация кислорода в порах вещества, моль/м³;

ρ – плотность вещества дисперсной среды, кг/м³;

c_v – удельная теплоёмкость вещества, Дж/(кг·К);

E_1, E_2 – энергия активации при химической реакции и испарении влаги соответственно, Дж/моль;

T_0 – начальная температура внутри насыпи и окружающей среды, К;

$T_{ист}$ – температура точечного источника теплоты в центре насыпи, К;

W – молярная концентрация влаги в веществе, моль/м³;

λ – коэффициент теплопроводности вещества, Вт/(м·К);

α – коэффициент теплоотдачи вещества на границе «дисперсная среда – окружающее пространство», Вт/(м²·К).

Введём обозначения

$$A = \frac{\xi q_1 k_1 C_{O_2}}{\rho c_v}; \quad B = \frac{q_2 k_2 W}{\rho c_v};$$

и выразим дифференциальное уравнение (3) через приращения аргументов

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = a \frac{2 \Delta T}{r \Delta r} + a \frac{\Delta^2 T}{\Delta r^2} + A \exp\left(\frac{E_1}{RT_0} - \frac{E_1}{RT}\right) - B \left[\exp\left(\frac{E_1}{RT_0} - \frac{E_1}{RT}\right) - 1 \right], \quad (6)$$

где A – параметр, характеризующий процесс окисления вещества, К/с;

B – параметр, характеризующий процесс испарения влаги при самонагревании вещества, К/с.

Рассмотрим разностную схему для численного интегрирования моделирующего уравнения (6). Используем равномерную прямоугольную сетку (рис. 2).

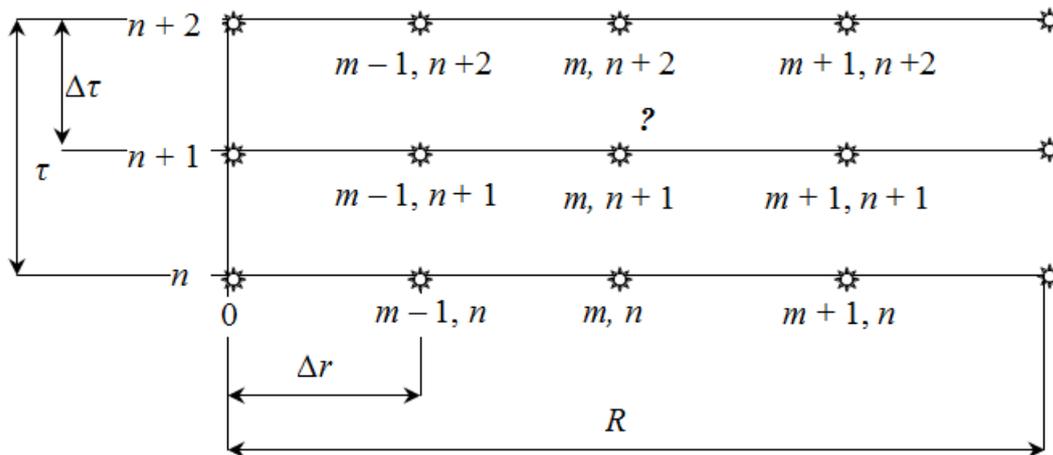


Рис. 2. Сетка численного интегрирования температуры T_m^{n+1} на разном расстоянии от центра в разные моменты времени:

m – количество шагов по радиусу; Δr – длина шага изменения радиуса, м;
 $R = \Delta r m$ – радиус, м; n – количество шагов по времени; $\Delta\tau$ – длина шага изменения времени, с; $\tau = \Delta\tau n$ – время, с

Первые производные по времени и по радиусу уравнения (3) аппроксимируем так:

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{T_m^{n+1} - T_m^n}{\Delta \tau}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} = \frac{\Delta T}{\Delta r} = \frac{T_{m+1}^n - T_m^n}{\Delta r}. \quad (8)$$

Вторую производную представим следующим образом:

$$\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} = \frac{\Delta^2 T(r, \tau)}{\Delta r^2} = \frac{T_{m-1}^n - 2T_m^n + T_{m+1}^n}{\Delta r^2}, \quad (9)$$

где разностный оператор температуры T_m^n предложено в работе [10] расписывать в виде

$$2T_m^n = T_m^{n-1} + T_m^{n+1}. \quad (10)$$

С учётом (7) – (10) перепишем уравнение (6) в безразмерном виде:

$$\frac{\bar{T}_m^{n+1} - \bar{T}_m^n}{\Delta\tau} = \frac{2a}{r\Delta r} \bar{T}_{m+1}^n - \frac{2a}{r\Delta r} \bar{T}_m^n + \frac{a}{\Delta r^2} \bar{T}_{m-1}^n - \frac{a}{\Delta r^2} \bar{T}_m^{n-1} - \frac{a}{\Delta r^2} \bar{T}_m^{n+1} + \frac{a}{\Delta r^2} \bar{T}_{m+1}^n + \\ + A \exp\left(\bar{E}_1 - \frac{\bar{E}_1}{T}\right) - B \left[\exp\left(\bar{E}_2 - \frac{\bar{E}_2}{T}\right) - 1 \right],$$

где $\bar{T} = \frac{T(r, \tau)}{T_0}$; $\bar{E}_1 = \frac{E_1}{RT_0}$; $\bar{E}_2 = \frac{E_2}{RT_0}$.

Поскольку $r = \Delta r m$, $\tau = \Delta t n$ и $Fo = \frac{a\Delta\tau}{\Delta r^2}$, то получим

$$\bar{T}_m^{n+1} = \bar{T}_m^n + \frac{2Fo}{m} \bar{T}_{m+1}^n - \frac{2Fo}{m} \bar{T}_m^n + Fo \bar{T}_{m-1}^n - Fo \bar{T}_m^{n-1} - Fo \bar{T}_m^{n+1} + Fo \bar{T}_{m+1}^n + \\ + \bar{A} \exp\left(\bar{E}_1 - \frac{\bar{E}_1}{T}\right) - \bar{B} \left[\exp\left(\bar{E}_2 - \frac{\bar{E}_2}{T}\right) - 1 \right], \quad (11)$$

где $\bar{A} = A\Delta\tau$, K ; $\bar{B} = B\Delta\tau$, K .

Путем элементарных математических преобразований зависимости (11) получена явная расчётная схема (12) безразмерной температуры по радиусу полушария на искомом временном слое \bar{T}_m^{n+1} при условии, что на предыдущем временном слое в центре насыпи $\bar{T}_m^n = \frac{T_{ист}}{T_0} \geq 1$ и на поверхности вследствие

теплоотдачи $\bar{T}_m^n = 1$:

$$\bar{T}_m^{n+1} = \frac{\bar{T}_m^n \left(1 - \frac{2Fo}{m}\right) + Fo \bar{T}_{m+1}^n \left(\frac{2}{m} + 1\right) + Fo \left(\bar{T}_{m-1}^n - \bar{T}_m^{n-1}\right)}{(1 + Fo)} + \\ + \frac{\bar{A} \exp\left(\bar{E}_1 - \frac{\bar{E}_1}{T}\right) - \bar{B} \left[\exp\left(\bar{E}_2 - \frac{\bar{E}_2}{T}\right) - 1 \right]}{(1 + Fo)}. \quad (12)$$

Из условия устойчивости системы множитель в первом слагаемом числителя (12) должен быть больше нуля, т.е. $2Fo/m < 1$, откуда следует, что схемное число Фурье равно $Fo < m/2$ и при $m = 1$ $Fo \leq 0,5$.

С помощью моделирования по формуле (12) рассчитаем динамику температуры \bar{T}_m^{n+1} по радиусу m и во времени n при возникновении теплоты в начальный момент времени вследствие повышенной влажности и микробиологической активности $\bar{T}_0^n = 1$ и при введении искусственного точечного источника теплоты в центре насыпи $\bar{T}_0^n > 1$. При расчётах в качестве исходных данных использовали: $Fo = 0,25$; $m = 0 \dots 10$ ($m = 1$ – центр; $m = 0$ – узел вблизи центра; $m = 10$ – поверхность); при $m = 0 \dots 9$ $\bar{T}_m^n = 1$ (или имеющиеся данные термодатчиков); $\bar{T}_{10}^n = 1 = \text{const}$; $n = 0 \dots 500$; $E_1 = 14000$ Дж/моль; $E_2 = 6000$ Дж/моль; $\bar{A} = 0,0025$ К; $\bar{B} = 0,0017$ К; $\bar{\alpha} = 1000$.

Для определения схемного коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}$ перепишем второе граничное условие в уравнении (5) в виде прироста аргумента:

$$\lambda \frac{T_r^\tau - T_{r-1}^\tau}{\Delta r} = \alpha \left(T_0 - T_r^\tau \right). \quad (13)$$

Уравнение (13) в безразмерных координатах примет вид

$$\bar{T}_r^\tau - \bar{T}_{r-1}^\tau = \bar{\alpha} \left(1 - \bar{T}_r^\tau \right), \quad (14)$$

где $\bar{\alpha} = \frac{\alpha \Delta r}{\lambda}$.

Из уравнения (14) получим зависимость, описывающую температуру на граничном слое насыпи:

$$\bar{T}_r^\tau = \frac{\bar{T}_{r-1}^\tau + \bar{\alpha}}{1 + \bar{\alpha}} = \bar{T}_{10}^n = 1 = \text{const}, \quad (15)$$

из которой видно, что при моделировании температурного поля в дисперсной среде необходимо найти такое значение $\bar{\alpha}$, при котором $\bar{T}_{10}^n = 1$, а потом можно с лёгкостью определить размерный коэффициент теплоотдачи α , используя значения λ и Δr .

Результаты моделирования температуры в скоплении вещества при микробиологическом самонагревании $\bar{T}_0^n = 1$ представлены на рис. 3, анализ которого показывает, что до момента безразмерного времени $n \approx 300 \dots 350$

температура растет медленно, далее наблюдаем резкий скачок температуры, соответствующий тепловому взрыву. Очевидно, что это безразмерное время соответствует температуре самонагрева дисперсного вещества. На рис. 4 показано, что со временем температура в центре и по радиусу симметрично растет, а на поверхности остается постоянной из-за теплообмена с окружающей средой.

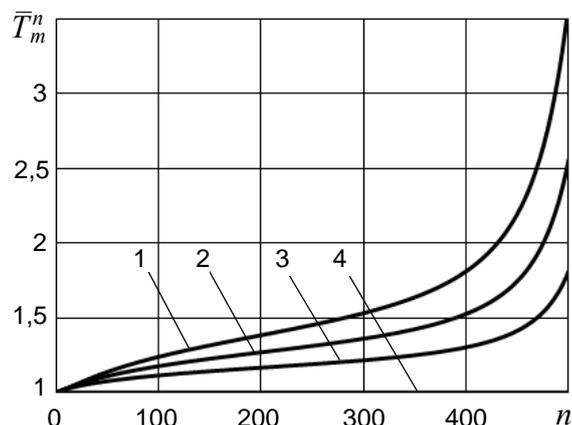


Рис. 3. Динамика безразмерной температуры во времени в слое насыпи на разном расстоянии от центра при микробиологическом самонагревании $\bar{T}_0^n = 1$:
1 – $m = 0$ (центр); 2 – $m = 5$; 3 – $m = 7$; 4 – $m = 10$ (поверхность)

На рис. 4 представлены результаты моделирования температуры при тепловом самонагревании $\bar{T}_0^n = 1,4$.

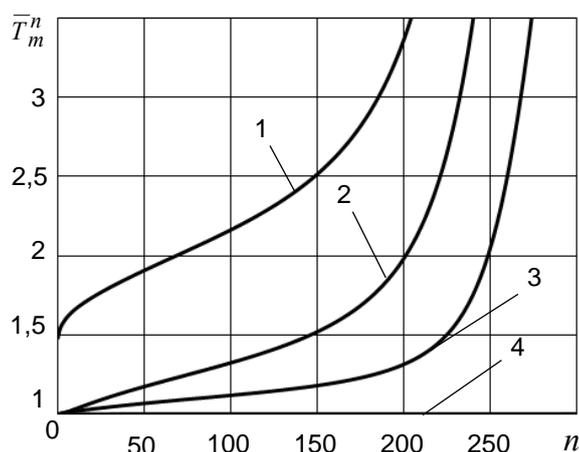


Рис. 4. Динамика безразмерной температуры во времени в слое насыпи на разном расстоянии от центра при тепловом самонагревании $\bar{T}_0^n = 1,4$:
1 – $m = 0$ (центр); 2 – $m = 5$; 3 – $m = 7$; 4 – $m = 10$ (поверхность)

На рис. 4 показано, что с момента времени $n \approx 125$ при $m = 5$ начинается скачкообразный рост температуры, описывающий тепловой взрыв, т.е. время достижения критической температуры гораздо меньше времени при

моделировании процесса, когда $\bar{T}_0^n = 1$ (см. рис. 3). Видно, что распределение температуры в центре и по радиусу симметрично, однако кривые со временем спрямляются из-за отсутствия искусственного точечного источника теплоты.

Проведём опробование численного решения задачи (12) на литературных данных по самонагреванию травяной муки повышенной влажности без принудительной подачи теплоты при $\bar{T}_0^n = 1$.

Исследования самонагревания влажной травяной муки были выполнены на лабораторной установке «Бункер» [11], в которую засыпали муку влажностью 10,4 % слоем 30 см, затем – слой в 40 см с влажностью 40...50 %, и доверху засыпали сырье исходной влажности, выдерживая при этом исходную насыпную плотность. Вследствие повышенной влажности центрального слоя в нем при комнатной температуре (20 °С) начиналась активная деятельность микроорганизмов, приводящая к выделению теплоты. Температуру в слое фиксировали термопарами.

Результаты экспериментов показали вертикальную направленность теплового потока и симметричное развитие температурного поля в насыпи относительно центральной плоскости, что говорит о выполнении первого граничного условия (5). Термопары, лежащие в одной горизонтальной плоскости, фиксировали близкие по значениям показания температуры, что свидетельствует о горизонтальности изотермических поверхностей. Таким образом, поток теплоты можно считать одномерным, и его распространение допустимо описывать дифференциальным уравнением (3) или его численным решением (12).

На рис. 5 приведены экспериментальные данные в виде маркеров и температурные кривые, полученные численным методом при $R = 0,15$ м, когда очаг «не чувствует границ», т.е. теплоотдача от нагретой массы передаётся только близлежащим слоям, а не границе скопления. Показана хорошая корреляция численной модели с опытными данными.

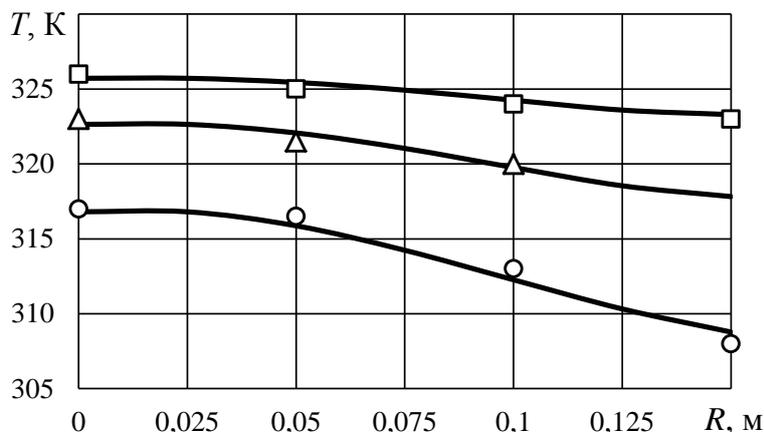


Рис. 5. Динамика температуры по радиусу в насыпи травяной муки в разные моменты времени микробиологического самонагревания:

○ – $\tau = 2$ сут; Δ – $\tau = 3$ сут; \square – $\tau = 4$ сут

Исходные экспериментальные и расчётные данные:

$q_1 = 3,5 \cdot 10^5$ Дж/кг = $1,803 \cdot 10^6$ Дж/моль; $k_1 = 7,081 \cdot 10^{-10}$ с⁻¹; $\tau_1 = 2$ сут = 172800 с; $\tau_2 = 3$ сут = 259200 с; $\tau_3 = 4$ сут = 345600 с; $C_{O_2} = 21$ % = 9,36 моль/м³; $\rho = 230$ кг/м³; $q_2 = 2,033 \cdot 10^4$ Дж/моль; $c_v = 1800$ Дж/(кг·К); $k_2 = 9,66 \cdot 10^{-10}$ с⁻¹; $W = 45$ % = 5750 моль/м³; $T_0 = 293$ К; $R = 0,15$ м; $E_1 = 117000$ Дж/моль; $E_2 = 45000$ Дж/моль; $Fo = 0,5$; $n = 100$; $m = 6$.

Результаты моделирования самонагрева влажной травяной муки численным методом по экспериментальным данным приведены в табл. 1, а расчётные значения коэффициента теплоотдачи и критерия Био при различных τ – в табл. 2.

Таблица 1

Результаты моделирования процесса самонагрева в насыпи травяной муки

$\tau, \text{с}$	n	$\Delta\tau = \tau/n, \text{с}$	$\Delta r = r/m, \text{м}$	$A/\xi, \text{К/с}$	$B, \text{К/с}$	$\bar{A} = A\Delta\tau, \text{К}$	$\bar{B} = B\Delta\tau, \text{К}$	ξ
172800	26	6646,15	0,025	$2,886 \cdot 10^{-8}$	$2,728 \cdot 10^{-7}$	$1,218 \cdot 10^{-3}$	$1,813 \cdot 10^{-3}$	6,35
259200	31	8361,29				$1,082 \cdot 10^{-3}$	$2,281 \cdot 10^{-3}$	4,48
345600	25	13824				$1,454 \cdot 10^{-3}$	$3,771 \cdot 10^{-3}$	3,64

Таблица 2

Расчётные значения параметров теплообмена внутри насыпи травяной муки

$\tau, \text{с}$	$Fo = \frac{a_{\text{ср}} \Delta\tau_{\text{ср}}}{\Delta r^2}$	$\Delta\tau_{\text{ср}}, \text{с}$	$a_{\text{ср}} = \frac{Fo \Delta r^2}{\Delta\tau_{\text{ср}}}, \text{м}^2/\text{с}$	$\bar{\alpha}$	$\lambda_{\text{ср}} = a_{\text{ср}} \rho c_v, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Bi
172800	0,5	9610,48	$3,25 \cdot 10^{-8}$	0,0978	0,0135	0,0528	0,587
259200				0,029		0,0157	0,174
345600				0,01		0,0054	0,06

Анализируя результаты, представленные в табл. 1, видим, что реакционная поверхность травяной муки во времени уменьшается вследствие процесса окисления. В табл. 2 показано, что со временем уменьшаются значения коэффициента теплоотдачи и критерия Био, потому что отсутствует интенсивный теплообмен с окружающей средой из-за наличия теплоизоляционного покрытия. Расчётные значения параметров теплообмена согласуются с физикой процесса самонагрева в условиях изоляции, поскольку при $\alpha \rightarrow 0$ температура в верхнем слое стремится к температуре в центре, т. е. происходит сплошное прогревание насыпи дисперсного вещества.

Численным методом рассчитаны коэффициенты теплоотдачи внутри скопления в условиях изоляции. Достоверность полученных результатов проверим путем моделирования процесса самонагрева по аналитической зависимости.

В работе [12] описан метод определения коэффициентов теплоотдачи внутри насыпи, основанный на аналитическом решении математической задачи очагового самонагревания [8, 9]. С помощью предложенного ранее метода рассчитаем критерий Био и коэффициенты теплоотдачи внутри скопления травяной муки, используя зависимость

$$T_{r=R} = T_{R=0} \frac{\sin\left(\bar{R}\sqrt{3\text{Bi}}\right)}{\bar{R}\sqrt{3\text{Bi}}}, \quad (16)$$

где $T_{r=R}$ – температура на некотором расстоянии от центра насыпи при самонагревании, К;

$T_{R=0}$ – температура в центре насыпи при самонагревании, К;

$\bar{R} = r/R$ – относительный радиус изучаемого поля температур;

r, R – переменный радиус и радиус поля самонагреваемого вещества, м.

В табл. 3 приведены результаты моделирования изменения температуры по формуле (16) и установлено, что значение критерия Био при $\tau = 2$ сут в 2,55 раза меньше аналогичного, приведенного в табл. 2. Столь существенное различие в полученных результатах объясняется разными подходами к описанию теплообмена в численном и аналитическом методах. Численный метод предполагает $\text{Bi} \rightarrow \infty$ (задача Д.А. Франк-Каменецкого) и соответствует постоянству температуры граничного слоя насыпи, а аналитический метод рассматривает процесс при $\text{Bi} \rightarrow 0$ (задача М.М. Семенова), когда градиент температуры в рассматриваемой области отсутствует.

Таблица 3

Результаты моделирования и расчётные значения параметров теплообмена внутри насыпи травяной муки радиусом $R = 0,15$ м

τ , сут	τ , с	λ , Вт/(м·К)	Bi	$\alpha = \frac{\text{Bi}\lambda}{R}$, Вт/(м ² ·К)
2	172800	0,0135	0,23	0,0207
3	259200		0,178	0,01602
4	345600		0,075	0,00675

Дальнейшие исследования будут направлены на моделирование процесса самонагревания в условиях теплообмена с окружающей средой (в отсутствии изоляции) и присутствия искусственного точечного источника нагревания.

Выводы. Разработан численный метод расчёта динамики температуры в слое дисперсного вещества при микробиологическом самонагревании и в

случае присутствия внутреннего точечного источника теплоты. Преимущество предложенного численного решения задачи состоит в возможности определить коэффициент теплоотдачи внутри скопления дисперсной среды в условиях реально развивающегося очага самонагрева на основе экспериментальных данных.

Список литературы / References

1. Системы автоматизированного контроля температуры в силосах элеваторов / В. Гусев, Ю. Мазалов, С. Мирошин, Р. Огнев // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 1. – С. 24 – 27.

Gusev, V., Mazalov, Yu., Miroshin, S., Ognev, R. *Sistemy avtomatizirovannogo kontrolya temperatury v silosakh elevatorov* [Systems of the computerized temperature testing in silos of grain elevators]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii – The modern automation technologies*, 2008, no. 1, pp. 24 – 27.

2. Горшков, В.И. Самовозгорание веществ и материалов / В.И. Горшков. – М.: ВНИИПО, 2003. – 446 с.

Gorshkov, V.I. *Samovozgoraniye veshchestv i materialov* [Spontaneous combustion of substances and materials]. Moscow, VNIPO Publ., 2003, 446 p.

3. Ольшанский, В.П. Температурное поле гнездового самонагрева насыпи в силосе / В.П. Ольшанский // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38, № 6. – С. 134 – 139.

Ol'shanskiy, V.P. *Temperaturnoye pole gnezdovogo samonagrevaniya nasypi v silose* [The temperature field of the nest self-heating of the embankment in a silo]. *Fizika goreniya i vzryva – Physics of combustion and explosion*, 2002, vol. 38, no. 6, pp. 134 – 139.

4. Беляева, В.В. Математическое моделирование процесса самонагрева насыпи растительного сырья / В.В. Беляева // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. «Механіка». – 2014. – Вип. 18, № 5. – С. 12 – 16.

Belyayeva, V.V. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessa samonagrevaniya nasypi rastitel'nogo syr'ya* [The mathematical modeling of the process of self-heating the embankment of a vegetable raw material]. *Visnyk Dnipropetrovs'kogo universytetu. Ser. "Mekhanika"* [Bulletin of the Dnipropetrovsk university. Series "Mechanics"]. 2014, issue 18, no. 5, pp. 12 – 16.

5. Абрамов, Ю.А. Математические модели тепловых полей насыпи растительного сырья с учетом температуры окружающей среды / Ю.А. Абрамов, А.Ю. Кирочкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – № 3. – С. 21 – 27.

Abramov, Yu.A., Kirochkin, A.Yu. *Matematicheskiye modeli teplovykh poley nasypi rastitel'nogo syr'ya s uchyotom temperatury okruzhayushchey sredy* [The mathematical models of thermal fields of the embankment of a vegetable raw

material with due regard for the temperature of the environment]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2000, no. 3, pp. 21 – 27.

6. Ларин, А.Н. Задачи нестационарной теплопроводности при самонагревании сырья гнездовыми очагами / А.Н. Ларин, В.П. Ольшанский, В.В. Тригуб. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 160 с.

Larin, A.N., Ol'shanskiy, V.P., Trigub, V.V. *Zadachi nestatsionarnoy teploprovodnosti pri samonagrevanii syr'ya gnezdovymi ochagami* [Problems of the non-stationary thermal conductivity by the self-heating of a raw material with nest foci]. Kharkov, KhNADU Publ., 2003, 160 p.

7. Корольченко, И.А. Тепловое самовозгорание насыпей и отложений твердых дисперсных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ВНИИПО, 2007. – 472 с.

Korol'chenko, I.A. *Teplovoye samovozgoraniye nasypey i otlozheniy tvyordykh dispersnykh materialov: diss. d-ra tekhn. nauk* [Heat spontaneous combustion of embankments and accumulations of solid disperse materials. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, VNIPO Publ., 2007, 472 p.

8. Березовский, А.А. Математическое моделирование процессов самовозгорания промышленных материалов / А.А. Березовский, С.П. Греков, Я. Цыганкевич // Физико-технические и технологические приложения математического моделирования: сб. статей. – Киев: Ин-т математики НАН Украины, 1999. – С. 27 – 31.

Berezovskiy, A.A., Grekov, S.P., Cygankiewicz, Ja. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov samovozgoraniya promyshlennykh materialov* [The mathematical modeling of processes of the spontaneous combustion of commercial materials]. *Fiziko-tekhnicheskiye i tekhnologicheskkiye prilozheniya matematicheskogo modelirovaniya: sb. statey* [The applied-physics and technological applications of the mathematical modeling: collection of papers]. Kiev, Institut matematiki NANU Ukrainy, 1999, pp. 27 – 31.

9. Математическая модель процесса самонагревания угля / С.П. Греков, Я. Цыганкевич, А.А. Березовский, Б.И. Кошовский // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2001. – С. 33 – 46.

Grekov, S.P., Cygankiewicz, Ja., Berezovskiy, A.A., Koshovskiy, B.I. *Matematicheskaya model' protsessa samonagrevaniya uglya* [The mathematical model of the process of self-heating the coal]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2001, pp. 33 – 46.

10. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

Samarskiy, A.A., Vabishchevich, P.N. *Vychislitel'naya teploperedacha* [The calculating heat transfer]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003, 784 p.

11. Дегтярев, А.Г. Научные основы обнаружения самовозгорания и горения растительного сырья: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1998. – 448 с.

Degtyaryov, A.G. *Nauchnyye osnovy obnaruzheniya samovozgoraniya i goreniya rastitel'nogo syr'ya: diss. d-ra tekhn. nauk* [Scientific basis of detection of spontaneous ignition and combustion of a vegetable raw material: Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 1998, 448 p.

12. Греков, С.П. Расчет коэффициентов теплоотдачи в слое зернистого вещества / С.П. Греков, И.Г. Старикова, К.В. Глушенко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 2 (54). – С. 59 – 69.

Grekov, S.P., Starikova, I.G., Hlushenko, K.V. *Raschyot koeffitsiyentov teplootdachi v sloye zernistogo veshchestva* [Calculation of heat-transfer coefficients in the layer of a granular substance]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 2 (54), pp. 59 – 69.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Г.П. Стариковым.
Дата поступления рукописи 31.08.2017

Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), head of department, e-mail: obep.niigd@list.ru;

Igor Nikolayevich Zinchenko, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: zinstar@mail.ru;

Viktoria Petrovna Orlikova, scientific associate; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com;

Kristina Valeryevna Hlushenko, research associate; e-mail: kristina.hlushenko@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) 332-78-81

THE TEMPERATURE FIELD BY THE FOCAL SELF-HEATING OF AN ORGANIC SUBSTANCE

Purpose. To work out the mathematical model of temperature distribution by self-heating the organic substance with the internal point heat source.

Methods. Mathematical modeling the process of self-heating the vegetable matter by way of example of the grassy meal under isolation conditions.

Results. The computational solution of the mathematical problem of the process of self-heating the organic substance from the heat source was obtained in explicit form. It is shown that the non-dimensional time of achievement of the critical temperature at the expense of the microbiological activity exceeds the time considerably if the artificial point heat source is available. The comparative analysis of the calculation results by means of the use of the numerical and analytical methods with experimental data has shown the satisfactory convergence. The values of the heat-transfer coefficient and Bio criterion were calculated inside the embankment with containing particles (air) by means of modeling the self-heating of the grassy meal. The advantage of the numerical method over the analytical one consists in a possibility to determine reactionary activity of the dispersive medium, thermal diffusivity and heat conductivity coefficients with due regard for moisture evaporation.

Scientific novelty. The numerical method allows determining the heat-transfer coefficient inside the embankment of the disperse substance under conditions of the really developing place of self-heating on the basis of the experimental data.

Practical value. The results obtained permit to forecast the dynamics of the temperature in the layer of the vegetable raw material in the storage and processing places using only the data of temperature detectors.

Keywords: *non-stationary thermal conductivity; focal self-heating; temperature field; point heat source; modeling; heat-transfer coefficient; Bio criterion; reactionary activity.*

УДК [614.8:614.841.4]: 001.891.573

Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, замдиректора по научной работе;

e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Виктория Валериевна Мамаева, экономист по планированию I кат.; e-mail: mem0@list.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

УПРАВЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ПОЖАРНЫМ РИСКОМ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ ПРИ СПАСЕНИИ ЛЮДЕЙ

Цель. Повышение уровня производственного и финансового контроля состояния объекта, безопасной его эксплуатации, минимизации случаев пожаров и уменьшения количества погибших и пострадавших людей.

Методика. Анализ особенностей обеспечения безопасной эвакуации и спасения, а также самоспасания людей при пожарах в высотных зданиях.

Результаты. Разработана вероятностная модель и системный подход к оценке индивидуального риска с учётом требований действующих методических и нормативных документов для прогноза спасения людей, присутствующих при пожаре в высотном здании.

Научная новизна. Предложенная математическая модель определения индивидуального пожарного риска учитывает совместное влияние многих факторов на возможность гибели людей в общественном здании при функционировании систем обеспечения его пожарной безопасности.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют разрабатывать противопожарные мероприятия по управлению индивидуальным риском, достоверно характеризующим уровень безопасности и возможность гибели людей, а также оценить последствия аварии при страховании ответственности владельцев объектов, возможности государственных служб по защите людей при пожаре.

Ключевые слова: *индивидуальный риск; пожар; высотное здание; гибель людей; пути эвакуации; спасение; самоспасание; противопожарная защита.*

Постановка проблемы. Обеспечение безопасной эвакуации и самоспасания людей из высотных многофункциональных зданий приобретает особую актуальность. Это связано прежде всего с тем, что при пожарах в них скорость распространения пламени и нарастание температуры носят значительно более опасный характер, чем в других сооружениях, обуславливает сложность тушения, эвакуации и ведения аварийно-спасательных работ.

Кроме того, для таких объектов характерна большая плотность людей, а размеры материального ущерба, причинённого в результате пожаров в них, и количество потерпевших могут быть значительными.

Действующая в настоящее время нормативная документация в известной степени отражает многие аспекты этой проблемы, однако не всегда позволяет при проектировании высотных зданий обеспечить безопасность эвакуации и самоспасания людей. При этом необходимо учитывать влияние многочисленных факторов: скопление большого количества людей различного

возраста и физического состояния, геометрические размеры проходов и лестничных клеток, возможность использования технических средств спасения на высоте.

Реализация на практике основных требований действующих нормативно-правовых документов в области пожарной безопасности позволяет обеспечить соответствующий современному состоянию развития общества уровень защиты от пожаров, создаёт необходимые условия для выбора вариантов противопожарной защиты объекта. При этом важным вопросом по-прежнему является устранение технических барьеров для достижения нормированного уровня пожаробезопасности с использованием механизмов оценки пожарного риска, снижение необоснованных материальных затрат на создание подобных систем защиты объектов.

Анализ последних исследований. Особую актуальность приобретает разработка и внедрение в практику научно обоснованных методик количественной оценки пожарного риска, позволяющих устанавливать соответствие реально существующего уровня пожарного риска его нормативному значению. Эти методы должны позволять на основании заданных параметров объекта прогнозировать возможность возникновения и развития пожара, эвакуации людей, оценивать ущерб и последствия аварии [1 – 6]. Кроме того, методы количественного прогнозирования развития и последствий пожара необходимы для оценки экономической эффективности проектных решений, а также для определения тарифов страхования ответственности и имущественного страхования при пожаре.

Цель исследования. Повышение достоверности прогноза спасения людей в общественных зданиях управлением индивидуальным пожарным риском.

Материалы и результаты исследования. Разработка противопожарных мероприятий по снижению пожарного риска основана на достоверности и адекватности его реальным условиям защищаемого объекта.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара определяют с учётом частоты его возникновения в здании, возможности эвакуации людей и функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий.

Определение максимально возможного количества потерпевших осуществляют на основании исходных данных владельцев объектов при заключении договора обязательного страхования его гражданской ответственности за причинение вреда в результате пожара.

Для повышения безопасности человека во всех сферах его жизнедеятельности необходимо выделение материальных средств на нейтрализацию опасных факторов и минимизацию рисков, что требует расходования некоторой части ограниченных ресурсов общества и денежных компенсаций возмещения утраченного будущего дохода в связи с временной утратой трудоспособности по причине производственных травм и профзаболеваний или преждевременной смертности людей.

Возможность гибели людей при пожаре в зависимости от класса функциональной пожарной опасности здания непосредственно связывают с расчётом индивидуального пожарного риска R :

$$R = \max\{R_i\},$$

где R – максимальное значение пожарного риска из рассмотренных сценариев пожара;

R_i – расчётное значение пожарного риска для i -го сценария пожара;
 $i = \overline{1, N}$;

N – количество рассмотренных сценариев пожаров.

Для каждого i -го сценария пожара расчётное значение индивидуального пожарного риска определяют по формуле (индекс i здесь опущен)

$$R = Q_{\text{п}} (P_{\text{уг}}/n_*) (1 - K_{\text{ап}}) P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{э}}) (1 - K_{\text{пз}}) (1 - P_{\text{сп}}), \quad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ – частота (вероятность) возникновения пожара в здании в течение года;

$P_{\text{уг}}$ – условная вероятность гибели людей при пожаре в здании определённого класса функциональной пожарной опасности согласно работе [7];

n_* – номинальное количество людей в здании, на которое оно рассчитано (включая обслуживающий персонал, посетителей);

$K_{\text{ап}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие автоматических установок пожаротушения требованиям нормативной документации по пожарной безопасности;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании;

$P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей по установленным путям выхода;

$K_{\text{пз}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативной документации по пожарной безопасности;

$P_{\text{сп}}$ – вероятность спасения людей при пожаре.

Рассмотрим особенности обеспечения безопасной эвакуации и спасения, а также самоспасания людей при пожарах в высотных зданиях (гостиницах) на основе определения расчётного индивидуального риска.

Частота $Q_{\text{п}}$ возникновения пожаров в здании равна

$$Q_{\text{п}} = 2,81 \cdot 10^{-2} \text{ (Россия); } Q_{\text{п}} = 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ (Украина).}$$

Условная вероятность $P_{\text{уг}}$ гибели людей при пожаре в здании согласно работе [7] равна $P_{\text{уг}} = 0,100$.

Номинальное количество одновременно присутствующих людей n_* зафиксировано в нормативно-технической документации на здание и определяют по формуле

$$n_* = n_1 + n_2, \quad (2)$$

где n_1 – среднее количество проживающих в гостинице в течение года;

$$n_1 = kn;$$

k – коэффициент, учитывающий заполняемость гостиницы (по сезону, месту расположения и т.п.); $0 \leq k \leq 1$;

n – общее количество мест для одновременного проживания в гостинице;

n_2 – среднее количество обслуживающего персонала гостиницы в зависимости от её категории; $n_2 = \beta n$;

β – коэффициент, учитывающий категорию гостиницы по уровню обслуживания персоналом; $0 \leq \beta \leq 1$.

Значение параметра $K_{ап}$ принимают равным:

$$K_{ап} = \begin{cases} K_n, & \text{если } K_n \geq 0,9 \text{ – при необходимости оборудования зданий системой} \\ & \text{автоматических установок пожаротушения;} \\ 0,9 & \text{– оборудование зданий системой автоматических установок} \\ & \text{пожаротушения не требуется;} \\ 0,0 & \text{– в остальных случаях,} \end{cases} \quad (3)$$

где K_n – показатель надёжности работы системы автоматических установок пожаротушения согласно технической документации на данную систему.

Вероятность $P_{пр}$ присутствия людей в здании определяют из соотношения

$$P_{пр} = t_{ф}/24, \quad (4)$$

где $t_{ф}$ – время нахождения людей в здании, ч.

Вероятность $P_э$ эвакуации людей из здания по установленным путям до выхода наружу (или в зону безопасного нахождения) рассчитывают по формуле

$$P_э = \begin{cases} 0,999 \frac{0,8t_{бл} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p \leq 0,8t_{бл} < t_p + t_{эн} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,000, & \text{если } t_p > 0,8t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин,} \end{cases} \quad (5)$$

где $t_{бл}$ – время от начала пожара до блокирования опасными факторами пожара эвакуационных путей, мин (с учётом предполагаемого развития пожара).

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара равны:

- по повышенной температуре 70 °С;
- по тепловому потоку 1400 Вт/м²;
- по потере видимости 20 м (для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);
- по пониженной концентрации кислорода 0,226 кг/м³;
- по концентрации каждого из токсичных газообразных продуктов горения (CO₂ = 0,11 кг/м³; CO = 1,16·10⁻³ кг/м³; HCL = 23·10⁻⁶ кг/м³).

Расчётное время эвакуации людей t_p из помещений и зданий определяют на основе моделирования движения людских потоков. При упрощённой аналитической модели движения людского потока расчётное время эвакуации людей t_p до свежего воздуха из загазованной зоны определяют по формуле

$$t_p = \sum_{i=1}^z t_i = \sum_{i=1}^z \frac{l_i}{V_i}, \quad (6)$$

где t_i – время движения людского потока (человека) на i -м участке пути, мин (в зависимости от плотности потока D);

l_i – длина i -го участка пути, м;

V_i – скорость движения людского потока (человека) на i -м участке пути, м/мин;

z – количество участков пути эвакуации;

$t_{эн}$ – время начала эвакуации, мин. Определяют в зависимости от класса функциональной пожарной опасности зданий и наличия в них системы оповещения и управления эвакуацией людей. В частности, для зданий гостиниц, оборудованных данной системой, расчётное время эвакуации равно 3 мин (здания I-II типа) и 2 мин (здания III-IV типа), а для зданий, не оборудованных системой оповещения и управления эвакуацией, 6,0 мин;

$t_{ск}$ – длительность скопления людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

Коэффициент $K_{пз}$ соответствия системы противопожарной защиты требованиям нормативной документации определяют по формуле

$$K_{пз} = \prod_{i=1}^m (1 - K_i), \quad (7)$$

где K_i – коэффициент соответствия i -й подсистемы противопожарной защиты требованиям нормативной документации;

m – общее количество подсистем противопожарной защиты на путях эвакуации людей из здания (условно $m = 7$);

- $K_1 = K_{обн} K_{оп}$ – коэффициент эффективной работы подсистемы оповещения людей о пожаре и управления их эвакуацией;
- $K_{обн}$ – коэффициент соответствия системы пожарной сигнализации требованиям нормативной документации;
- $K_{оп}$ – коэффициент соответствия системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативной документации;
- $K_2 = K_{обн} K_{пдз}$ – коэффициент эффективной работы подсистемы противодымной защиты;
- $K_{пдз}$ – коэффициент соответствия системы противодымной защиты требованиям нормативных документов;
- $K_3 = K_{обн} K_{ап}$ – коэффициент эффективности работы подсистемы автоматического пожаротушения;
- $K_{ап}$ – коэффициент соответствия автоматических систем пожаротушения требованиям нормативных документов;
- $K_4 = K_{но} K_{ог}$ – коэффициент эффективности работы подсистемы применения переносных или передвижных огнетушителей;
- $K_{он}$ – коэффициент соответствия наличия огнетушителя в здании требованиям нормативных документов;
- $K_{ог}$ – коэффициент соответствия надёжности огнетушителей требованиям нормативных документов;
- $K_5 = K_{нвз} K_{вз}$ – коэффициент эффективности работы подсистемы устройств водяных завес, способствующих локализации пожара;
- $K_{нвз}$ – коэффициент соответствия количества устройств водяных завес требованиям нормативных документов;
- $K_{вз}$ – коэффициент соответствия надёжности устройств водяных завес требованиям нормативных документов;
- K_6 – коэффициент соответствия требованиям нормативных документов регламентируемой огнестойкости конструкции здания на путях эвакуации людей;
- K_7 – коэффициент соответствия регламентируемой группы горючести деревянных элементов конструкций в здании, пропитанных огнезащитными веществами или обработанных огнезащитными покрытиями.

Вышеуказанные коэффициенты принимаются равными:

$$K_{обн} = \begin{cases} K_{срс}, & \text{если } K_{срс} \geq 0,8 \text{ – показатель надёжности оборудования систем пожарной} \\ & \text{сигнализации по нормативным документам;} \\ 0,8, & \text{если системы пожарной сигнализации в здании не требуются;} \\ 0,0, & \text{если } K_{срс} < 0,8. \end{cases}$$

$$K_{оп} = \begin{cases} K_{опу}, \text{ если } K_{опу} \geq 0,8 - \text{показатель надёжности оборудования системы} \\ \text{оповещения и управления эвакуацией согласно} \\ \text{нормативным документам;} \\ 0,8, \text{ если система оповещения и управление эвакуацией не требуется;} \\ 0,0, \text{ если } K_{опу} < 0,8. \end{cases}$$

$$K_{пдз} = \begin{cases} K_{пдзн}, \text{ если } K_{пдзн} \geq 0,8; \\ 0,8, \text{ если системы противодымной защиты не требуются;} \\ 0,0, \text{ если } K_{пдзн} < 0,8. \end{cases}$$

$$K_{ап} = \begin{cases} K_{апп}, \text{ если } K_{апп} \geq 0,8; \\ 0,8, \text{ если автоматические системы пожаротушения не требуются;} \\ 0,0, \text{ если } K_{апп} < 0,8. \end{cases}$$

$$K_{но} = \begin{cases} 1,0, \text{ если количество огнетушителей в здании соответствует} \\ \text{нормативным документам;} \\ 0,0, \text{ если не соответствует.} \end{cases}$$

$$K_{ог} = \begin{cases} 1,0, \text{ если коэффициент надёжности огнетушителя соответствует} \\ \text{требованиям нормативных документов;} \\ 0,0, \text{ если не соответствует.} \end{cases}$$

$$K_{нвз} = \begin{cases} 1,0, \text{ если количество устройств водяных завес соответствует} \\ \text{требованиям нормативных документов;} \\ 0,0, \text{ если не соответствует.} \end{cases}$$

$$K_{вз} = \begin{cases} K_{взн}, \text{ если } K_{взн} \geq 0,8 - \text{показатель надёжности установленных устройств} \\ \text{водяных завес согласно нормативным документам;} \\ 0,8, \text{ если водяные завесы не требуются;} \\ 0,0, \text{ если } K_{взн} < 0,8. \end{cases}$$

$$K_6 = \begin{cases} 1,0, \text{ если регламент огнестойкости конструкции соответствует} \\ \text{нормативным документам;} \\ 0,0, \text{ если не соответствует.} \end{cases}$$

$$K_{но} = \begin{cases} 1,0, \text{ если регламент группы горючего соответствует требованиям} \\ \text{нормативных документов;} \\ 0,0, \text{ если не соответствует.} \end{cases}$$

$P_{сп}$ – вероятность спасения людей при пожаре определяют по формуле [8]

$$P_{сп} = P_{сп1} + P_{сп2}, \quad (8)$$

где $P_{сп1}$ – вероятность самоспасания человека (спасение самостоятельно по аварийным путям и выходам);

$P_{сп2}$ – вероятность спасения человека силами пожарно-спасательной службы.

Вероятность $P_{сп1}$ определяют по формуле

$$P_{сп1} = P_{дв} + P_{спЭ} + P_{сп стс}, \quad (9)$$

где $P_{дв}$ – вероятность выхода людей из здания через аварийные или иные выходы (для производственных зданий $P_{дв} = 0,03$ – при наличии таких выходов, $P_{дв} = 0,001$ – при их отсутствии);

$P_{спЭ}$ – вероятность выхода людей из здания через эвакуационные выходы, блокированные опасными факторами пожара;

$P_{сп стс}$ – вероятность самостоятельного спасения людей с помощью специальных технических средств (при их наличии).

Вероятность $P_{спЭ}$ определяют по формуле

$$P_{спЭ} = 1 - (1 - P_{Э1})(1 - P_{Э2})(1 - P_{Э3}) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{Эi}), \quad (10)$$

где m – количество опасных факторов пожара, блокирующих эвакуационные выходы, $1 \leq m \leq 5$.

Фильтрующие противогазы:

$$P_{Э1} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } C_{O_2} \geq 0,226 \text{ кг/м}^3; \\ 0,000, & \text{если } C_{O_2} < 0,226 \text{ кг/м}^3. \end{cases}$$

Изолирующие самоспасатели:

$$P_{Э2} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } \tau_{зс} > t_p \text{ и } T_3 \leq T_n; \\ 0,000, & \text{если } \tau_{зс} \leq t_p. \end{cases}$$

$$P_{Э3} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } T_3 \leq 70^\circ\text{C}; \\ 0,000, & \text{если } T_3 > 70^\circ\text{C}. \end{cases}$$

Вероятность $P_{сп2}$ определяют по формуле

$$P_{сп2} = \begin{cases} P_{сп2}^{\max}, & \text{если } 0,8t_{гиб} \geq t_{приб} + t_{разв}; \\ P_{сп2}^{\max} \frac{0,8t_{гиб} - t_{приб}}{t_{разв}}, & \text{если } t_{приб} < 0,8t_{гиб} < t_{приб} + t_{разв}; \\ 0, & \text{если } 0,8t_{гиб} \leq t_{приб}, \end{cases}$$

где $P_{сп2}^{\max}$ – максимальное значение вероятности спасения людей силами пожарно-спасательной службы;

- $t_{\text{гиб}}$ – время от начала пожара до момента гибели человека, мин;
 $t_{\text{приб}}$ – время от начала пожара до момента прибытия к объекту сил пожарно-спасательной службы, мин;
 $t_{\text{разв}}$ – время, необходимое для проведения боевой разведки при пожаре (время обнаружения заблокированных опасными факторами пожара людей), мин.

Если вероятность $P_{\text{сп}_2}$ определить по формуле (11) не представляется возможным, то её оценивают на основе статистических данных по формуле [8]

$$P_{\text{сп}_2} = \frac{N_{\text{сп}_2}}{N_{\text{сп}_2} + N_{\text{гиб}}}, \quad (12)$$

где $N_{\text{сп}_2}$ – количество спасённых людей за период Δt ;
 $N_{\text{гиб}}$ – количество людей, погибших на пожарах за период Δt ;
 $(N_{\text{сп}_2} + N_{\text{гиб}})$ – количество людей в здании, заблокированных опасными факторами пожара.

Согласно статистике пожаров МЧС России [8] за период с 2003 по 2010 год вероятность спасения пожарно-спасательной службой людей, заблокированных опасными факторами пожара в здании, равна $P_{\text{сп}_2} = 0,85$.

При невозможности получения подобной информации считают, что вероятность спасения $P_{\text{сп}}$ при отсутствии в здании аварийных и иных выходов будет не менее 0,851, а при их наличии – не менее 0,9 (для жилых зданий) и 0,88 (для остальных).

Выводы. Результаты исследования позволяют объективно оценить уровень противопожарной защиты здания (объекта) и повысить достоверность прогноза гибели людей в общественном здании, а также оценить последствия аварии при страховании ответственности владельцев объектов, возмещении вреда пострадавшим лицам по договору обязательного страхования гражданской ответственности владельца за причинение вреда в результате пожара на объекте, сделать выплаты адекватными понесённому ущербу.

Исследования направлены на повышение уровня производственного и финансового контроля состояния объекта, безопасной его эксплуатации, минимизации случаев пожаров и уменьшения количества погибших и пострадавших людей.

Список литературы / References

1. Брушлинский, Н.Н. Индивидуальный пожарный риск: понятие и вычисление / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: науч.-информ. сб. ВИНТИ. – М., 2013. – № 5. – С. 30 – 41.

Brushlinskiy, N.N., Sokolov, S.V. *Individual'nyy pozharney risk: ponyatiye i vychisleniye* [Individual fire risk: conception and calculation]. *Problemy*

bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy: nauch.-inform. sb. VINITI [Problems of safety and emergencies: scientific-information collection of the VINITI]. Moscow, 2013, no. 3, pp. 30 – 41.

2. Корольченко, А.Я. Количественная оценка величины пожарного риска / А.Я. Корольченко, С.А. Бушманов // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 6. – С. 27 – 29.

Korol'chenko, A.Ya., Bushmanov, S.A. *Kolichestvennaya otsenka velichiny pozharnogo riska* [Quantitative estimation of the fire risk value]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2010, vol. 19, no. 6, pp. 27 – 29.

3. Махутов, Н.А. Системный подход к оценке и управлению рисками / Н.А. Махутов, Р.С. Ахметханов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: науч.-информ. сб. ВИНТИ. – М., 2012. – № 5. – С. 56 – 69.

Makhutov, N.A., Akhmetkhanov, R.S. *Sistemnyy podkhod k otsenke i upravleniyu riskami* [The system approach to estimation and risk management]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy: nauch.-inform. sb. VINITI* [Problems of safety and emergencies: scientific-information collection of the VINITI]. Moscow, 2012, no. 5, pp. 59 – 69.

4. Варламова, Д.М. Управление уровнем пожарной опасности образовательных учреждений с использованием величины пожарного риска / Д.М. Варламова // Пожарная безопасность. – 2013. – № 7. – С. 125 – 129.

Varlamova, D.M. *Upravleniye urovnem pozharnoy opasnosti obrazovatel'nykh uchrezhdeniy s ispol'zovaniyem velichiny pozharnogo riska* [Management of the fire hazard level of educational institutions with the use of the fire risk value]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire safety*, 2013, no. 7, pp. 125 – 129.

5. Оценка неопределенности результата расчета индивидуального пожарного риска на примере общественного здания / М.З. Максимова, М.В. Стахеев, Г.А. Черкасский и др. // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 4. – С. 41 – 45.

Maksimova, M.Z., Stakheyev, M.V., Cherkasskiy, G.A. etc. *Otsenka neopredelyonnosti rezul'tata raschyota individual'nogo pozharnogo riska na primere obshchestvennogo zdaniya* [Estimation of the uncertainty of the calculation result of the individual fire risk by way of example of a public building]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 41 – 45.

6. Григорьева, Н.А. Особенности обеспечения безопасной эвакуации, спасения и самоспасения людей при пожарах в высотных зданиях / Н.А. Григорьева // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: науч.-информ. сб. ВИНТИ. – М., 2009. – № 3. – С. 78 – 83.

Grigor'yeva, N.A. *Osobennosti obespecheniya bezopasnoy evakuatsii, spaseniya i samospaseniya lyudey pri pozharakh v vysotnykh zdaniyakh* [Peculiarities of control of safe evacuation and rescue and self-rescue of the people by fires in high-rise buildings]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy: nauch.-inform. sb. VINITI* [Problems of safety and emergencies: scientific-information collection of the VINITI]. Moscow, 2009, no. 3, pp. 78 – 83.

7. Фирсов, А.В. Влияние класса функциональной пожарной опасности здания и сооружения на расчётную величину индивидуального пожарного риска / А.В. Фирсов, Г.Х. Харисов // Проблема безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2013. – № 3. – С. 43 – 45.

Firsov, A.V., Kharisov, G.Kh. *Vliyaniye klassa funktsional'noy pozharnoy opasnosti zdaniya i sooruzheniya na raschyotnyuyu velichinu individual'nogo pozharnogo riska* [Influence of the class of the functional fire hazard of a building and construction on a design value of the individual fire risk]. *Problema bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy – Problem of safety and emergencies*, 2013, no. 3, pp. 43 –45.

8. Седов, Д.В. Вероятность спасения людей как фактор снижения индивидуального пожарного риска в общественных зданиях / Д.В. Седов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т.20, № 7. – С. 28 – 31.

Sedov, D.V. *Veroyatnost' spaseniya lyudey kak factor snizheniya individual'nogo pozharnogo riska v obshchestvennykh zdaniyakh* [Probability of the life-saving of the people as a factor of decrease of the individual fire risk in public buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 28 – 31.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым.
Дата поступления рукописи 30.08.2017

Valery Vladimirovich Mamayev, Dr. Sci. (Tech.), deputy director on science;
e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Viktoria Valeryevna Mamayeva, economist on planning of the 1st category; e-mail: mem0@list.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

MANAGEMENT OF THE INDIVIDUAL FIRE RISK IN PUBLIC BUILDINGS BY RESCUE OF THE PEOPLE

Purpose. Rise of level of the industrial and financial control of the state of an object, its safe operation, minimization of the fire cases and diminution of a number of the perished people and casualties.

Methods. Analysis of peculiarities of guaranteeing the safe evacuation and rescue as well self-rescue of the people by fires in high-rise buildings.

Results. The probabilistic model and the system approach to the estimation of the individual risk with due regard to requirements of the effective methodical and normative documents for the prognosis of rescue of the people being presented by the fire in the high-rise building have been worked-out.

Scientific novelty. The mathematical model of determination of the individual fire risk proposed takes into account the combined influence of many factors relative to possibility of loss of life in the public building when functioning of the systems of guaranteeing its fire safety.

Practical value. The results obtained permit to work out the fire preventive measures on control the individual risk that describes the safety level and possibility of loss of life for sure as well to estimate the consequences of the accident by insurance of liability of object owners, possibilities of the State services on protection of the people by the fire.

Keywords: *individual risk; fire; high-rise building; loss of life; escape routes; rescue; self-rescue; fire protection.*

УДК [622.822.22:622.693.26]:536.12

Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: obep.niigd@list.ru;

Виктория Петровна Орликова, науч. сотр.; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com;

Олег Петрович Пашковский, мл. науч. сотр.; e-mail: kingston-4@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-81*

ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОЧАГОВОМ НАГРЕВАНИИ НАСЫПИ ШАХТНОЙ ПОРОДЫ

Цель. Исследование процессов теплообмена в твердых дисперсных органических веществах по распределению температуры при нагревании шахтной породы и определение коэффициента теплоотдачи очага в окружающую среду.

Методика. Математическое моделирование процесса нагревания шахтной породы внутренним точечным источником теплоты с учетом испарения влаги и кинетики реакции окисления; исследование температурных полей при очаговом нагревании с помощью разработанной лабораторной установки.

Результаты. Предложен численный метод расчёта динамики температуры в слое дисперсного вещества при наличии внутреннего точечного источника теплоты. Разработана лабораторная установка для изучения температурного поля при нагревании дисперсных органических веществ. Получена удовлетворительная корреляция численной модели с экспериментальными данными распределения температуры от центра корзинки к верхней плоскости породной массы отвала шахты «Колосниковская». Показан порядок определения параметров теплообмена дисперсного вещества. Сравнительный анализ рассмотренного численного и аналитического методов расчета параметров теплообмена показал удовлетворительную сходимость полученных результатов.

Научная новизна. Показана возможность лабораторного определения параметров теплообмена внутри образца органического вещества на примере шахтной породы. Опробован численный метод расчета температуры при наличии источника теплоты внутри скопления вещества.

Практическая значимость. Численный метод позволяет по показаниям термодатчиков прогнозировать динамику температуры в слое дисперсного вещества при хранении и в условиях реально развивающегося очагового нагревания.

Ключевые слова: шахтная порода; очаговое самонагревание; температурное поле; точечный источник теплоты; моделирование; теплообмен; коэффициент теплоотдачи; критерий Био.

Постановка проблемы. Изучение теплопередачи в породных массах отвалов угольных шахт имеет важное теоретическое и практическое значение для установления причин возникновения и развития в них очагов самонагревания и самовозгорания. Породные отвалы предприятий угольной промышленности классифицируются как зоны повышенной экологической опасности. В Донецком регионе из 177 породных отвалов 69 являются горящими [1]. Известно, что при наличии таких факторов, как водно-воздушная эрозия, значительные сезонные перепады температур, окислительные реакции и процессы жизнедеятельности тионовых бактерий, происходит образование химически активных соединений с повышением температуры пород. Если

образующаяся теплота не рассеивается достаточно быстро, процесс окисления усиливается, что при отсутствии соответствующих мероприятий приводит к самопроизвольному возгоранию. В этом отношении отвалы конусообразной формы выше 40 м наиболее опасны.

В породной массе отвалов присутствуют аргиллиты (60...80 %), алевролиты (10...30 %), песчаники (4...10 %), известняки (до 6 %), а также значительные примеси угля (6...20 %). В результате гравитационной сегрегации отвальных пород крупные и тяжелые обломки концентрируются у подножья отвалов, а углистое вещество распределяется неравномерно, что объясняет локальный характер очагов самовозгорания.

Кроме того, причиной самовозгорания породной массы отвалов является не только её химическая активность, но также структура (порозность) отвала, определяющая условия теплообмена с окружающей средой.

Наиболее интенсивно и устойчиво очаговое горение в зоне отсыпки пород, где температура горения достигает 800...1200 °С. В слоях, расположенных над слоем горения и под ним, температура золы и пород ниже. В процессе горения, протекающего на глубине 0,5...3 м от поверхности, происходит качественное изменение вещества, слагающего отвалы, с образованием золы, спекшейся массы и обожжённой породы. В результате оползней вскрываются породы с температурой несколько сот градусов, доступ кислорода к которым до этого был ограничен, что способствует возникновению значительных восходящих конвективных потоков и приводит к интенсивному горению этих пород.

По данным съемки, температура некоторых участков достигала 320...450 °С на глубине 50 см, что послужило причиной разложения породообразующих минералов, углефицированного вещества и попавшего в отвал угля, при этом происходит выделение оксидов углерода, серы и азота. При таких температурах увеличивается пористость преобразованных пород и целых участков отвала, очаги горения смещаются вглубь; в результате химических реакций высвобождается железо, калий, кальций и натрий, магний, алюминий; образуются гипс, квасцы, которые накапливаются в приповерхностном слое.

Самонагревание породных отвалов – сложное явление, обусловленное рядом факторов, которые по характеру влияния подразделяются на две основные группы. Первая группа – генетические факторы, определяющие реакционную способность складированной массы к кислороду при низких температурах, вторая – внешние факторы.

К генетическим факторам относят состав складированной массы, восстанавливаемость углистых компонентов и наличие в складированной массе веществ, тормозящих реакции окисления.

При обследовании породных отвалов ряда шахт установлено, что при разработке пластов с 70 % углистых пород породные отвалы подвержены самовозгоранию и, наоборот, при разработке угольных пластов простого

строения (и отсутствии углистого материала в породах кровли и почвы) самовозгорание породных отвалов весьма редко.

Повышенная реакционная способность высокозольных углей и углистых пород к окислителям объясняется тем, что угольное вещество этих компонентов отвальной массы представлено в основном фюзеном, который характеризуется наиболее лёгкой окисляемостью при низких температурах по сравнению с другими ингредиентами ископаемых углей. Другим компонентом, существенно влияющим на скорость окисления при низких температурах и также связанным с генетическими особенностями разрабатываемых пластов, является пирит.

К внешним факторам, влияющим на процесс самонагревания и самовозгорания, а также на интенсивность горения, относят размер, форму отвалов и концентрацию в породах отвала низкзольного угля.

Размер и форма отвалов влияют, прежде всего, на интенсивность теплообмена в их глубинных зонах. Наряду с гранулометрическим составом породной массы отвала эти факторы определяют фильтрующие свойства отвалов и тем самым способствуют или препятствуют генерации и аккумуляции теплоты, т.е. влияют на протекание процессов, приводящих со временем к самовозгоранию.

Анализ последних исследований. Исследование теплообменных процессов в слое зернистых веществ проводили на примере углей при наличии химических реакций окисления, сопровождаемых выделением теплоты [2, 3]. Часть этих работ выполняли в изолированных от притока кислорода ёмкостях, где массообмен с окружающей средой ограничен, другая – в проточных реакторах, более отвечающих условиям окисления углей в шахтах. При этом скорость потока, омывающего частицы угля, в разных опытах использовали от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ м/с, которую считают наиболее пожароопасной [4], а фракционный состав разными авторами принимали или постоянным во всем объёме и равным 0,1...1 мм [5, 6], или использовали конгломерат частиц («рядовой уголь» [3]), взятый непосредственно после его отбойки различными механизмами.

В первом случае критическая температура самонагревания углей различной химической активности и влажности часто достигалась через 0,5...2,5 сут после начала эксперимента [7, 8], затем нагревание резко ускорилось. Во втором – не достигалась и после 50 сут [3], что говорит о существенном влиянии параметров тепло- и массопереноса на самонагревание угля.

В первом случае при теплоизоляции скопления угля и нагревании его частиц происходит их тепло- и массообмен только с фильтрующимся через уголь воздухом, во втором – с внешней средой, окружающей скопление частиц. При этом разность температур между поверхностью частиц угля и потоком воздуха обеспечивает отвод теплоты, разность концентраций поперек пограничного слоя создаёт поток влаги от поверхности частиц к потоку воздуха

и кислорода от потока воздуха к поверхности частиц угля. От параметров тепло- и массообмена в значительной степени зависит интенсивность самонагрева угля и инкубационный период самовозгорания.

Проблема тепломассообмена в твёрдых дисперсных веществах рассмотрена в ряде работ [9 – 11]. При нагревании или охлаждении зернистого вещества коэффициент теплоотдачи представляют в виде критериальных зависимостей

$$\text{Nu} = f(\text{Ra}, \text{Pr}); \quad \text{Nu}_g = f(\text{Pe}), \quad (1)$$

где Nu – число Нуссельта;

Ra – число Релея;

Pr – число Прандтля;

Pe – число Пекле.

В случае самонагрева неподвижной среды, когда тепло- и массообмен протекают за счёт молекулярной диффузии, принимают $\text{Nu} = \text{Nu}_g = 2$.

При рассмотрении условий очагового самонагрева породной массы отвала надо полагать, что скорость потока в ней весьма мала (действует только фильтрация воздуха за счёт ветровой нагрузки). Поэтому для расчёта объёмного коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·К), воспользуемся формулой [9, 10]

$$\text{Nu} = \frac{6\alpha}{\varphi S \lambda_{\Gamma}}, \quad (2)$$

где $\varphi = 0,8 \dots 0,9$ – коэффициент формы;

$S = S_{\text{ч}} / V$ – площадь поверхности в единице объёма, м⁻¹;

$S_{\text{ч}}$ – площадь поверхности частиц, м²;

V – объём частиц, м³;

λ_{Γ} – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К).

Предположим, что частицы, образующие породную массу, одинаковы по размеру и имеют форму куба. Тогда S рассчитывают по формулам

$$S_{\text{ч}} = 6d^2; \quad V = d^3; \quad S = \frac{6d^2}{d^3} = \frac{6}{d}, \quad (3)$$

где d – характерный размер частицы породной массы, м.

Подставив (3) в уравнение (2), получим зависимость для определения коэффициента теплоотдачи частиц кубической формы

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \varphi \lambda_{\Gamma}}{d}. \quad (4)$$

Принимая в качестве газа, заполняющего межкусковое пространство, воздух, имеющий $\lambda_{\text{г}} = 2,43 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), и учитывая, что $Nu = 2$; $\varphi = 0,85$; $d = 0,1$ м, имеем $\alpha = 0,36$ Вт/(м²·К).

Поскольку вещества, из которых состоят породные отвалы разных шахт, имеют разную теплопроводность и при возникновении очагов самовозгорания рассматривают теплопередачу от твёрдых частиц к газу, то целесообразнее изучать коэффициенты теплоотдачи и определять для них безразмерные критерии Био по формуле

$$Bi = \frac{\alpha}{\lambda_{\text{п}}} R_{\text{ч}}, \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{п}}$ – коэффициент теплопроводности породной массы, Вт/(м²·К);

$R_{\text{ч}} = d/2$ – радиус частицы, м.

Для породных отвалов Донбасса при расчётах примем крайние значения $\lambda_{\text{п}} = 0,3 \dots 3$ Вт/(м²·К) и получим для них соответствующие значения критерия Био, равные 0,06 и 0,006. Изменение температуры может по-разному влиять на критерий Био, поэтому представляет практический интерес изучение температурного поля при самонагревании (нагревании) насыпи угольной породы.

Цель исследования – изучение температурного поля при очаговом нагревании насыпи шахтной породы внутренним источником теплоты и определение параметров теплообмена путем использования предложенной ранее математической модели.

Материалы и результаты исследований. На практике в насыпях дисперсных веществ фиксируют температуру с помощью технических систем контроля. Однако данные термодатчиков показывают температуру в момент измерений и не дают информации о том, как будет развиваться температурный режим в последующие моменты времени. Теоретическое решение поставленной задачи достаточно сложное, поскольку на процесс самонагревания влияют микробиологические процессы, воздушный и тепловой режимы в хранилище, влажность и др.

Для прогнозирования динамики температуры в скоплении шахтной породы воспользуемся предложенной ранее математической моделью

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{2}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} \right) + \frac{\xi q_1 k_1 C_{O_2}}{\rho c_v} \exp \left(\frac{E_1}{R'T_0} - \frac{E_1}{R'T} \right) - \frac{q_2 k_2 W}{\rho c_v} \left[\exp \left(\frac{E_2}{R'T_0} - \frac{E_2}{R'T} \right) - 1 \right] \quad (\tau > 0; \quad 0 < r < R), \quad (6)$$

с начальными

$$\left| \begin{array}{l} T(0, \tau) = T_0 - \text{в отсутствии точечного источника теплоты,} \\ T(0, \tau) = T_{\text{ист}} - \text{в присутствии точечного источника теплоты,} \end{array} \right. \quad (7)$$

и граничными условиями

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} \Big|_{R=0} = 0; \\ \lambda \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha [T_0 - T(r, \tau)], \end{array} \right. \quad (8)$$

где T – переменная температура при самонагревании, К;

r, R – переменный и постоянный радиусы, м;

τ – время, с;

a – коэффициент температуропроводности горючего вещества, м²/с;

ξ – отношение площади реакционной поверхности пор к площади поверхности (или реакционная активность дисперсной среды);

q_1, q_2 – теплота реакции окисления дисперсного вещества и испарения влаги соответственно, Дж/моль;

k_1, k_2 – константа скорости химической реакции первого порядка и испарения влаги соответственно при начальной температуре, с⁻¹;

C_{O_2} – молярная концентрация кислорода в порах вещества, моль/м³;

ρ – плотность дисперсной среды, кг/м³;

c_v – удельная теплоёмкость вещества, Дж/(кг·К);

E_1 – энергия активации при химической реакции, Дж/моль;

R' – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T_0 – начальная температура, К;

$T_{\text{ист}}$ – температура точечного источника теплоты в центре насыпи, К;

W – молярная концентрация влаги в веществе, моль/м³;

E_2 – энергия активации при испарении влаги, Дж/моль;

λ – коэффициент теплопроводности вещества, Вт/(м·К);

α – коэффициент теплоотдачи вещества на границе «дисперсная среда – окружающая среда», Вт/(м²·К).

Для упрощения дифференциального уравнения (6) введём обозначения

$$A = \frac{\xi q_1 k_1 C_{O_2}}{\rho c_v}; \quad B = \frac{q_2 k_2 W}{\rho c_v}. \quad (9)$$

Путём численного интегрирования уравнения (6) с учётом (9) получим численное решение математической задачи

$$\begin{aligned} \bar{T}_m^{n+1} = & \frac{\bar{T}_m^n \left(1 - \frac{2Fo}{m}\right) + Fo \bar{T}_{m+1}^n \left(\frac{2}{m} + 1\right) + Fo \left(\bar{T}_{m-1}^n - \bar{T}_m^{n-1}\right)}{(1 + Fo)} + \\ & + \frac{\bar{A} \exp\left(\bar{E}_1 - \frac{\bar{E}_1}{T}\right) - \bar{B} \left[\exp\left(\bar{E}_2 - \frac{\bar{E}_2}{T}\right) - 1 \right]}{(1 + Fo)}, \end{aligned} \quad (10)$$

где \bar{T}_m^{n+1} – безразмерная температура в определяемой точке скопления на искомом временном слое;

\bar{T}_m^n – безразмерная температура в определяемой точке скопления на настоящем временном слое;

\bar{T}_{m-1}^n – безразмерная температура в точке скопления, находящейся слева от определяемой, на настоящем временном слое;

\bar{T}_{m+1}^n – безразмерная температура в точке скопления, находящейся справа от определяемой, на настоящем временном слое;

\bar{T}_m^{n-1} – безразмерная температура в определяемой точке скопления на прошедшем временном слое;

\bar{T} – безразмерная начальная температура в скоплении вещества;

$Fo = \frac{a\Delta\tau}{\Delta r^2}$ – схемное число Фурье;

$\Delta\tau = \tau/n$ – длина шага изменения времени, с;

$\Delta r = R/m$ – длина шага изменения радиуса, м;

m, n – количество шагов по радиусу и по времени соответственно;

$\bar{A} = A\Delta\tau$ – параметр, характеризующий процесс окисления вещества, К;

$\bar{B} = B\Delta\tau$ – параметр, характеризующий процесс испарения влаги, К;

$\bar{E}_1 = \frac{E_1}{R'T_0}$ – безразмерная энергия активации процесса окисления вещества;

$\bar{E}_2 = \frac{E_2}{R'T_0}$ – безразмерная энергия активации процесса испарения влаги.

Динамику температуры в скоплении породной массы шахты «Колосниковская» с частицами размером $d = 0,01$ м исследовали численным методом (10) на ЭВМ в программном пакете *MS Excel*.

Исследовали температурное поле на установке, собранной в лаборатории НИИГД «Респиратор» (рис. 1). Образец породы насыпали в корзинку кубической формы с размером ребра 200 мм из коррозионностойкой

металлической сетки. В центре корзинки устанавливали точечный источник теплоты мощностью 40 Вт. От источника теплоты по горизонтали и вертикали на определённом расстоянии размещали датчики температуры, позволяющие в двух координатах следить за изменением температуры скопления вещества от центра к его границе. Источник теплоты подсоединяли к автотрансформатору, позволяющему плавно регулировать напряжение в сети, действительное значение которого определяли по вольтметру. При установлении регулярного режима нагревания и достижении температуры в центре скопления ≈ 343 К фиксировали изменение температуры в процессе нагревания вещества.

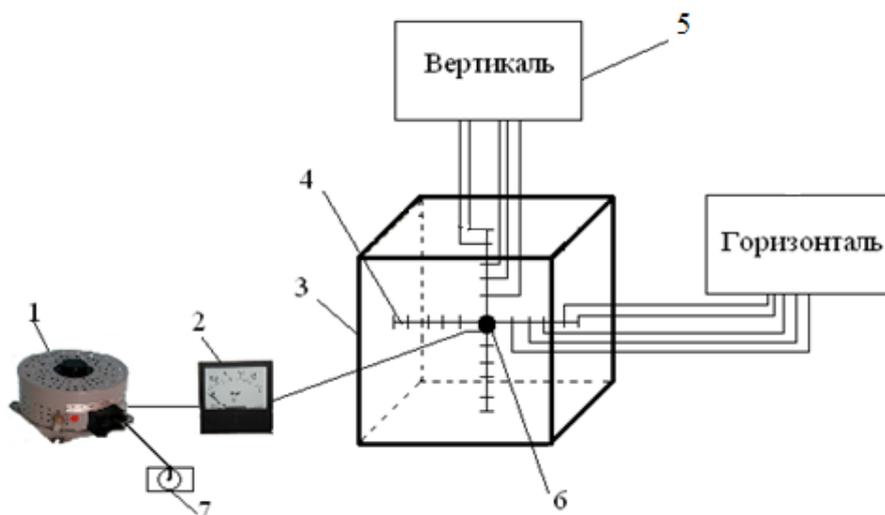


Рис. 1. Лабораторная установка для исследования температурного поля при нагревании органических веществ точечным источником теплоты:

- 1 – автотрансформатор; 2 – вольтметр; 3 – корзинка из металлической сетки;
4 – термопара; 5 – датчик температуры; 6 – точечный источник теплоты;
7 – электрическая сеть

Температурные кривые, полученные численным методом при $R = 0,05$ м, когда очаг «не чувствует границ», т.е. теплоотдача от точечного источника теплоты передаётся только близлежащим слоям, а не границе скопления, приведены на рис. 2. Получена хорошая корреляция численной модели с экспериментальными данными распределения температуры от центра корзинки к верхней плоскости породной массы отвала при $T_{ист} = 343$ К, обозначенными в виде маркеров на этом же рисунке.

Температура в центре образца породы со временем увеличивается, несмотря на то, что температура источника остается постоянной. По-видимому, порода, обладающая низкой теплопроводностью, под воздействием теплового потока аккумулирует теплоту, что способствует процессу самонагревания. Незначительное нарушение симметрии температурных полей при $r = 0,02$ м связано с конвекцией тёплого воздуха и паров в верхние слои корзинки кубической формы.

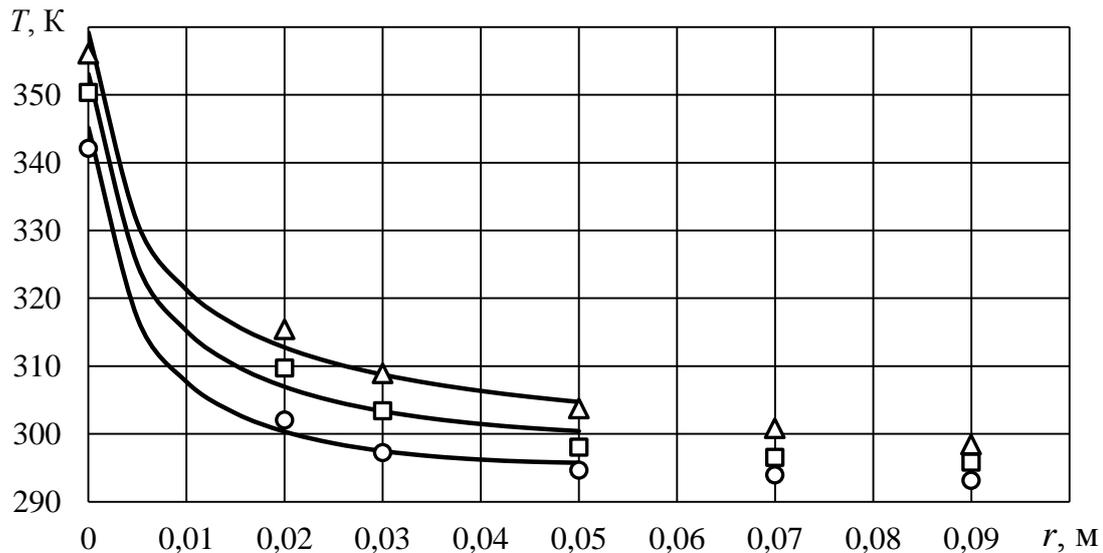


Рис. 2. Динамика температуры по радиусу корзинки $R = 0,1$ м при нагревании породной массы точечным источником теплоты в разные моменты времени:

○ – $\tau = 9$ мин; $Fo = 0,5$; $n = 42$; $m = 10$; $\bar{\alpha} = 0,0595$;

□ – $\tau = 129$ мин; $Fo = 0,5$; $n = 55$; $m = 10$; $\bar{\alpha} = 0,0605$;

△ – $\tau = 433$ мин; $Fo = 0,5$; $n = 112$; $m = 10$; $\bar{\alpha} = 0,0635$

Исходные экспериментальные и расчётные данные:

$q_1 = 9,81 \cdot 10^6$ Дж/моль; $k_1 = 2,19 \cdot 10^{-6}$ с⁻¹; $\tau_1 = 540$ с; $\tau_2 = 7740$ с; $\tau_3 = 25980$ с;
 $C_{O_2} = 9,36$ моль/м³; $\rho = 1251$ кг/м³; $q_2 = 4,06 \cdot 10^{-2}$ Дж/моль; $c_v = 750$ Дж/(кг·К);
 $k_2 = 9,66 \cdot 10^{-10}$ с⁻¹; $W = 0,07$ % = 48,65 моль/м³; $T_0 = 293$ К; $R = 0,05$ м;
 $E_1 = 62218$ Дж/моль; $E_2 = 45000$ Дж/моль; $Fo = 0,5$; $m = 10$; $n|_{\tau=9 \text{ мин}} = 42$;
 $n|_{\tau=129 \text{ мин}} = 55$; $n|_{\tau=433 \text{ мин}} = 112$; $\bar{\alpha}|_{\tau=9 \text{ мин}} = 0,0595$; $\bar{\alpha}|_{\tau=129 \text{ мин}} = 0,0605$;
 $\bar{\alpha}|_{\tau=433 \text{ мин}} = 0,0635$.

Для определения схемного коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}$ перепишем второе граничное условие в уравнении (8) в виде прироста аргумента:

$$\lambda \frac{T_r^\tau - T_{r-1}^\tau}{\Delta r} = \alpha \left(T_0 - T_r^\tau \right). \quad (11)$$

Уравнение (11) в безразмерных координатах примет вид

$$\bar{T}_r^\tau - \bar{T}_{r-1}^\tau = \bar{\alpha} \left(1 - T_r^\tau \right), \quad (12)$$

$$\text{где } \bar{\alpha} = \frac{\alpha \Delta r}{\lambda}. \quad (13)$$

Из уравнения (12) получим зависимость, описывающую температуру на граничном слое насыпи:

$$\bar{T}_r^\tau = \frac{\bar{T}_{r-1}^\tau + \bar{\alpha}}{1 + \bar{\alpha}} = \bar{T}_{10}^n = 1 = \text{const}, \quad (14)$$

из которой видно, что при моделировании температурного поля в дисперсной среде необходимо найти такое значение $\bar{\alpha}$, при котором $\bar{T}_{10}^n = 1$, что позволит определить размерный коэффициент теплоотдачи α , используя значения λ и Δr .

Ниже приведён расчёт коэффициентов теплоотдачи и критерия Био в скоплении породной массы отвалов.

1. Определим коэффициенты теплопроводности в разные моменты нагревания

Путем моделирования по зависимости (10) с начальным и граничным условиями (7) и (8) соответственно и вышеуказанными исходными данными определим схемные величины при нагревании $\tau = 9$ мин:

$$n = 42; m = 10; \Delta\tau_1 = \tau/n = 540/42 = 12,86 \text{ с};$$

$$\Delta r = r/m = 0,05/10 = 0,005 \text{ м}; \bar{\alpha} \Big|_{\tau=9 \text{ мин}} = 0,0595.$$

Поскольку $Fo = \frac{a\Delta\tau}{\Delta r^2}$, то найдём значение a_1 :

$$a_1 = \frac{Fo\Delta r^2}{\Delta\tau_1} = \frac{0,5 \cdot 0,005^2}{12,86} = 9,72 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Аналогичным образом рассчитаны значения $a_2 = 8,88 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ при нагревании $\tau = 129$ мин и $a_3 = 5,39 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ при нагревании $\tau = 433$ мин.

2. Определим среднее значение коэффициента теплопроводности для исследуемого образца породы: $a_{\text{ср}} = 3,372 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

3. Поскольку $a_{\text{ср}} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{\rho c_v}$, то коэффициент теплопроводности в условиях опыта равен

$$\lambda_{\text{ср}} = a_{\text{ср}} \rho c_v = 3,72 \cdot 10^{-7} \cdot 1251 \cdot 750 = 0,349 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

4. Используя зависимости (13) и (5), рассчитаем коэффициент теплоотдачи и критерий Био, характеризующие теплообмен внутри скопления:

$$\alpha = \frac{\bar{\alpha} \lambda_{\text{ср}}}{\Delta r}; \quad \text{Bi} = \frac{\alpha R_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{ср}}}. \quad (15)$$

При нагревании $\tau = 9$ мин $\alpha_1 = 4,153$ Вт/(м²·К) и $\text{Bi} = 0,059$; при нагревании $\tau = 129$ мин $\alpha_2 = 4,223$ Вт/(м²·К) и $\text{Bi} = 0,060$; при нагревании $\tau = 433$ мин $\alpha_3 = 4,432$ Вт/(м²·К) и $\text{Bi} = 0,063$.

5. Средние значения $\alpha_{\text{ср}}$ и $\text{Bi}_{\text{ср}}$ для исследуемого образца породы равны 4,269 Вт/(м²·К) и 0,061 соответственно.

6. По аналитической зависимости (4) рассчитаем коэффициент теплоотдачи для породы (табл. 2):

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,85 \cdot 2,1 \cdot 10^{-2}}{0,01} = 3,57 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}.$$

Таблица 2

Расчётные значения параметров теплообмена для шахтной породы

$T, \text{ К}$	$\tau, \text{ мин}$	$\alpha, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}$	Bi
343	9	4,153	0,0595
350	129	4,223	0,0605
357	433	4,432	0,0635

Расчёты показали, что при нагревании шахтной породы постоянным источником теплоты коэффициент теплоотдачи и критерий Био внутри образца породы увеличиваются.

Сравнительный анализ параметров теплообмена, полученных путём численного моделирования, с результатами расчётов по аналитической зависимости (4) показал удовлетворительную сходимость: $\alpha = 3,57$ Вт/(м²·К).

Вывод. Исследование температурных полей при очаговом нагревании дисперсных веществ и определение параметров теплообмена проведено на новой лабораторной установке, собранной в НИИГД «Респиратор». По полученным экспериментальным данным для шахтной породы проведено численное моделирование температурного поля и определены коэффициенты теплоотдачи в зависимости от распределения температуры внутри образца. Показано, что рост температуры способствует увеличению теплообмена. Преимущество численного метода перед аналитическим состоит в возможности определения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и параметров теплообмена в условиях реально развивающегося очага нагревания на основе экспериментальных данных. Численный метод также позволяет прогнозировать динамику температуры в слое органического вещества при хранении, используя лишь показания термодатчиков.

Список литературы

1. Васильева, И.В. Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и охраны окружающей среды / И.В. Васильева // Минеральные ресурсы Украины. – 2015. – № 3. – С. 39 – 45.

Vasil'yeva, I.V. *Aktual'nyye voprosy monitoringa porodnykh otvalov ugol'nykh shakht i okhrany okruzhayushchey sredy* [Actual problems of the monitoring of waste dumps of coal mines and environmental protection]. *Mineral'nyye resursy Ukrainy – Mineral resources of the Ukraine*, 2015, no. 3, pp. 39 – 45.

2. Скрицкий, В.А. Эндогенные пожары в угольных шахтах, природа их возникновения, способы предотвращения и тушения / В.А. Скрицкий, А.П. Федорович, В.И. Храмцов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2006. – 171 с.

Skritskiy, V.A., Fedorovich, A.P., Khramtsov, V.I. *Endogennyye pozhary v ugol'nykh shakhtakh, priroda ikh vzniknoveniya, sposoby predotvrashcheniya i tusheniya* [Spontaneous fires in coal mines, nature of their origin, methods of prevention and fighting]. *Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ.*, 2006, 171 p.

3. Галсанов, Н.Л. Изменение химической активности угля после обработки / Н.Л. Галсанов, В.А. Портола, Н.Ю. Луговцова // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы для молодых учёных: в 2 т. / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2012. – Т. 2. – С. 220 – 221.

Galsanov, N.L., Portola, V.A., Lugovtsova, N.Yu. *Izmeneniye khimicheskoy aktivnosti uglya posle obrabotki* [Change of the chemical activity of coal after processing]. *Innovatsionnyye tekhnologii i ekonomika v mashinostroyenii: sb. tr. III Mezhdunar. nauch.-prak. konf. s elementami nauchnoy shkoly dlya molodykh uchyonnykh: v 2 t.* [Innovation technologies and economics in the mechanical engineering: collected papers of the 3rd International theoretical and practical conference with elements of the school of thought for young scientists: in 2 volumes]. *Yurginskiy technologicheskii institut* [Yurginskiy technological institute]. *Tomsk, Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 2, pp. 220 – 221.

4. Греков, С.П. Расчет пожаробезопасных скоростей фильтрации воздуха через угольное скопление / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Г.Б. Тында // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2006. – Вып. 43. – С. 24 – 30.

Grekov, S.P., Zinchenko, I.N., Tynda, G.B. *Raschyot pozharobezopasnykh skorostey fil'tratsii vozdukha cherez ugol'noye skopleniye* [Calculation of fire-safe velocities of filtration of air through the coal accumulation]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. *Donetsk*, 2006, issue 43, pp. 24 – 30.

5. Греков, С.П. Неизотермическая кинетика гетерогенного окисления ископаемых углей кислородом воздуха и их самонагревание / С.П. Греков, А.А. Березовский, Я. Цыганкевич // Химия твердого топлива. – 2001. – № 1. –

С. 27 – 37.

Grekov, S.P., Berezovskiy, A.A., Cygankiewicz, Ja. *Neizotermicheskaya kinetika geterogenogo okisleniya iskopayemykh ugley kislorodom vozdukha i ikh samonagrevaniye* [Non-isothermal kinetics of the heterogeneous oxidation of fossil coals with air oxygen and their spontaneous heating]. *Khimiya tvyordogo topliva – Chemistry of the solid fuel*, 2001, no. 1, pp. 27 – 37.

6. Проблемы самовозгорания угля в шахтах / В.А. Портола, Н.Л. Галсанов, М.В. Шевченко, Н.Ю. Луговцова // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, 12-17 сентября 2011 г.: в 4 т. Т. 3. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 46 – 49.

Portola, V.A., Galsanov, N.L., Shevchenko, M.V., Lugovtsova, N.Yu. *Problemy samovozgoraniya v shakhtakh* [Problems of the spontaneous combustion in mines]. *Mashinostroyeniye i tekhnosfera XXI veka: sb. tr. XVIII Mezhdunar. nauch.-prak. konf., Sevastopol', 12-17 sentyabrya 2011 g.: v 4 t. T. 3* [Mechanical engineering and technosphere of the 21st century: proceedings of the 18th International theoretical and practical conference, Sevastopol, September 12-17, 2011: in 4 volumes. Vol. 3]. Donetsk, DonNTU, 2011, pp. 46 – 49.

7. Определение склонности углей к самовозгоранию / П.С. Пашковский, С.П. Греков, Я. Цыганкевич, И.А. Шайтан // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2000. – С. 10 – 18.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P., Cygankiewicz, Ja., Shaytan, I.A. *Opredeleniye sklonnosti ugley k samovozgoraniyu* [Determination of liability of coals to the spontaneous combustion]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2000, pp. 10 – 18.

8. Пашковский, П.С. Влияние химической активности и влажности угля на процесс самонагревания / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2007. – Вып. 44. – С. 17 – 25.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P., Zinchenko, I.N. *Vliyaniye khimicheskoy aktivnosti i vlazhnosti uglya na protsess samonagrevaniya* [Influence of the chemical activity and humidity of coal on the process of the spontaneous heating]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2007, issue 44, pp. 17 – 25.

9. Дульнев, Г.Н. Основы теории тепломассообмена: учебное пособие / Г.Н. Дульнев, С.В. Тихонов. – СПб.: СПбГУИТМО, 2010. – 93 с.

Dul'nev, G.N., Tikhonov, S.V. *Osnovy teorii teplomassoobmena: uchebnoye posobiye* [Basic foundation of the heat and mass exchange theory: teaching aid]. St. Petersburg, SPbGUITMO Publ., 2010, 93 p.

10. Теплообмен в зернистом слое при умеренных числах Рейнольдса / Р.А. Дехтярь, Д.Ф. Сиковский, А.В. Горин, В.А. Мухин // Теплофизика высоких температур. – 2002. – Т. 40, вып. 5. – С. 748 – 755.

Dekhtyar', R.A., Sikovskiy, D.F., Gorin, A.V., Mukhin, V.A. *Teploobmen v zernistom sloye pri umerennykh chislakh Reynoldsa* [Heat exchange in a granular layer by moderate Reynolds numbers]. *Teplofizika vysokikh temperatur – Thermal physics of high temperatures*, 2002, vol. 40, issue 5, pp. 748 – 755.

11. Гольдштик, М.А. Процессы переноса в зернистом слое: 2-е изд., доп. и перераб. / М.А. Гольдштик. – Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики СО РАН, 2005. – 358 с.

Gol'dshtik, M.A. *Protsessy perenosa v zernistom sloye: 2-e izd., dop. i pererab.* [Transfer processes in the granular layer: 2nd ed., suppl. and rev.]. Novosibirsk, Izd-vo Instituta teplofiziki SO RAN Publ., 2005, 358 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Г.П. Стариковым.
Дата поступления рукописи 01.11.2017

Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: obep.niigd@list.ru;

Viktoria Petrovna Orlikova, scientific associate; e-mail: v.orlikova.69@gmail.com;

Oleg Petrovich Pashkovskiy, research associate; e-mail: kingston-4@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) 332-78-81

HEAT EXCHANGE PARAMETERS BY FOCAL HEATING THE EMBANKMENT OF THE MINE ROCK

Purpose. Investigation of the heat exchange processes in the solid disperse organic substances on the temperature distribution by heating the mine rock and determination of the heat-transfer coefficient of a focus in the environment.

Methods. The mathematical modeling of the process of heating the mine rock with the internal point heat source taking into account moisture evaporation and kinetics of the oxidation reaction; investigation of temperature fields by the focal heating by means of the laboratory installation worked out.

Results. The numerical method of calculation of dynamics of the temperature in a layer of the disperse substance was proposed if there the internal point heat source was available. The laboratory installation to study the temperature field by heating disperse organic substances was worked out. The satisfactory correlation of the numerical model with experimental data of the temperature distribution from the center of the basket to the upper plane of the bed of the dump of the "Kolosnikovskaya" mine was obtained. The order of determination of the heat exchange parameters of the disperse substance is shown. The comparative analysis of the numerical and analytical methods of calculation of the heat exchange parameters showed the satisfactory convergence of the results obtained.

Scientific novelty. The possibility of the laboratory determination of the heat exchange parameters inside the specimen of the organic substance was shown by way of example of the mine rock. The numerical method of calculation of the temperature was tested in the presence of the heat source inside the substance accumulation.

Practical value. The numerical method permits to forecast the temperature dynamics in the layer of the disperse substance by storage and under conditions of the really developing focal heating according to the readings of temperature-sensitive elements.

Keywords: *mine rock; focal self-heating; temperature field; point heat source; modeling; heat exchange; heat-transfer coefficient; Bio criterion.*

УДК 614.841.245:621.313.012.5

Владлен Валерьевич Гуржий, ст. науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru;

Евгений Олегович Зинченко, мл. науч. сотр.; e-mail: evgeniy.zintchenko@yandex.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*

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ МЕДНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ

Цель. Установить причину оплавления для уточнения момента возникновения короткого замыкания по характерным признакам оплавлений. По следам оплавлений на изъятых с места пожара фрагментах электроустановок определяется их природа и формируется вывод о причастности аварийного режима работы к возникновению пожара.

Методы. Исследования медных и алюминиевых проводников со следами оплавлений, поверхностей фрагментов образцов с использованием портативного цифрового микроскопа с программным обеспечением. Морфологический анализ образцов при изучении структур поверхностей.

Результаты. Определены с достоверной точностью причины оплавлений поверхностей медных и алюминиевых проводников, изъятых с места пожара, и на основании этого определен момент возникновения короткого замыкания при установлении причинно-следственной связи между возникновением пожара и аварийным режимом работы электроустановок.

Научная новизна. Представлены характерные признаки дифференциации короткого замыкания в момент возникновения в медных и алюминиевых проводниках. Характерные признаки первичного и вторичного короткого замыкания в этих проводниках определяют путем изучения физической сущности химических реакций и газовой выделении при пожаре на их поверхностях.

Практическая значимость. Результаты исследований дают возможность установить причинно-следственную связь между аварийным режимом работы электроустановок и пожаром, что позволяет обнаружить причину его возникновения. Результаты исследований являются основанием для выдачи официального заключения о причине возникновения пожара.

Ключевые слова: *аварийные режимы работы; первичное короткое замыкание; вторичное короткое замыкание; исследования; оплавления; проводники; морфологические признаки, зернистая структура; электротехнические изделия; оплавления поверхностей; электрические искры и дуги.*

Постановка проблемы. Электротехнические изделия традиционно являются одними из наиболее пожароопасных видов продукции, поскольку в них сочетается присутствие горючих электроизоляционных материалов (изоляция проводов и кабелей) с появлением при аварийных режимах источников зажигания (искры, дуги, нагретые электрическим током детали и т.д.).

Анализ последних исследований. Пожарная опасность короткого замыкания (КЗ) в электроустановках связана с высокой температурой дугового замыкания и характеризуется способностью изоляции проводов и кабелей возгораться от нагревания током или дугой короткого замыкания и образовывать в момент замыкания расплавленные (горящие) частицы проводниковых материалов, которые могут создать самостоятельные очаги пожаров [1].

В работе [2] приведены результаты исследований при визуальном осмотре поверхностей оплавлений медных и алюминиевых проводников, возникающих при аварийных режимах работы в электросети. Установлено, что причинно-следственная связь между аварийными режимами работы электроустановок и возникновением пожара выявляется только на основании комплексного исследования вещественных доказательств, изъятых с места пожара, которое состоит из двух основных этапов:

- визуального осмотра;
- морфологического анализа.

Основная задача первого этапа – выявление имеющихся на поверхности проводников следов оплавлений (разрушений), выдвижения гипотез относительно возможной причины разрушения и предварительного установления причины оплавления [3]. Визуальный осмотр проводников позволяет в определенной степени оценить условия, при которых происходило КЗ, а также условия термического воздействия на проводник извне, но не позволяет однозначно уточнить момент возникновения КЗ. Для этого необходимо проведение второго этапа.

В данной статье изложены результаты морфологического анализа оплавлений медных и алюминиевых проводников, возникающих в результате аварийного режима работы в электросети – КЗ, определены причины оплавлений и уточнен момент возникновения КЗ:

- первичное короткое замыкание, которое произошло при отсутствии воздействия на проводник опасных факторов пожара;
- вторичное короткое замыкание, которое произошло в процессе развития пожара при повышении температуры до значения, достаточного для начала термодеструкции изоляции и близлежащих горючих материалов.

Целью исследований обнаруженных и изъятых с места пожара образцов электроустановок, имеющих следы оплавлений, является определение природы оплавлений: образовались они до или после возникновения пожара. На основании результатов исследований в комплексе с другими материалами о пожаре формируется вывод о причастности аварийного режима к пожару [4].

Результаты исследований. Для проведения морфологического анализа образцов со следами оплавлений, изъятых с места пожара, применяли портативный цифровой микроскоп Levenhuk DTS 500 LCD с программным обеспечением Portable Capture Pro. При этом исследовали поверхности фрагментов медных и алюминиевых проводников на:

- изменение формы и структуры поверхности;
- наличие и характер микрооплавлений;
- протяженность зон оплавлений.

Исследование поверхности фрагментов образцов осуществляли последовательно:

- при увеличении в 200 раз оценивали геометрическую форму оплавленной поверхности, протяженность областей разрушения, присутствие инородных наслоений;

- при увеличении от 200 до 500 раз изучали структурные изменения оплавленной поверхности (лунки, кратеры, локальные растрескивания и др.).

Различные температурные условия, при которых возникают первичное и вторичное короткие замыкания, обуславливают существенные различия в поверхностной структуре медных и алюминиевых проводников, так как структура любого металла зависит, прежде всего, от скорости его охлаждения.

При первичном КЗ происходит мгновенное локальное нагревание, что вызывает разрыв в электрической цепи, при этом за счет энергии исчезающего электромагнитного поля происходит повышение напряжения в зоне КЗ, пробой газового промежутка и возникновение искрового разряда, оплавление и испарение металла в зоне КЗ.

Оплавление медного проводника при первичном КЗ характеризуется вытянутой вдоль длины проводника шарообразной, овальной или ассиметричной каплеобразной формами (при расположении под прямым углом), направленной в сторону воздействия электрической дуги, вид косога среза или кратера (при этом выявляется четкая граница между зоной поверхности оплавления и прилегающей к ней частью проводника). Сечение проводника может изменяться вблизи места оплавления на небольшом участке.

При исследовании структуры поверхности оплавлений медных проводников при первичном КЗ (рис. 1) установлено, что:

- оплавленный участок вытянут вдоль оси и локализован;
- поверхность оплавления гладкая.

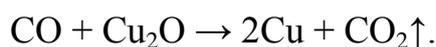
Оплавление алюминиевого проводника при первичном КЗ приводит к значительным изменениям формы и размеров поперечного сечения по длине, протяженности зон и произвольности формы оплавлений.

При исследовании структуры оплавлений алюминиевых проводников при первичном КЗ (рис. 2) установлено наличие:

- шарообразного или в виде косога среза оплавления на конце проводника;
- в поверхностном слое участков оплавления по границам зерен локальных растрескиваний.

Физическая сущность вторичного КЗ медных проводников состоит в том, что при относительном недостатке кислорода (O_2) и присутствии в атмосфере оксида углерода (CO) в значительном количестве образуется оксид меди (Cu_2O). Медь в расплавленном состоянии активно взаимодействует с O_2 , водородом (H_2), CO , диоксидом углерода (CO_2).

При вторичном КЗ теплоотвод от проводника отсутствует и происходит диффузия CO и H_2 на поверхность проводника (в процессе пожара в воздухе содержится большое количество CO и H_2). CO вступает в реакцию с Cu_2O :



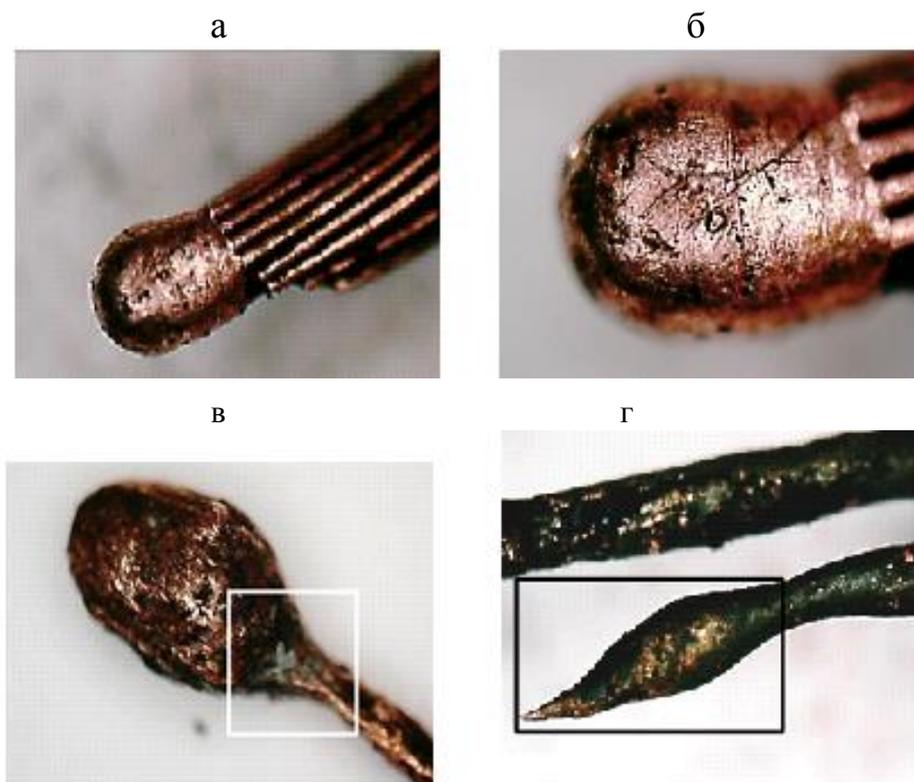


Рис. 1. Фрагменты поверхности оплавлений медного проводника при первичном коротком замыкании:

а – локальное оплавление в виде капли при увеличении в 150 раз; б – гладкая поверхность оплавления при увеличении в 350 раз; в – изменение сечения вблизи места оплавления при увеличении в 150 раз; г – косой срез при увеличении в 200 раз

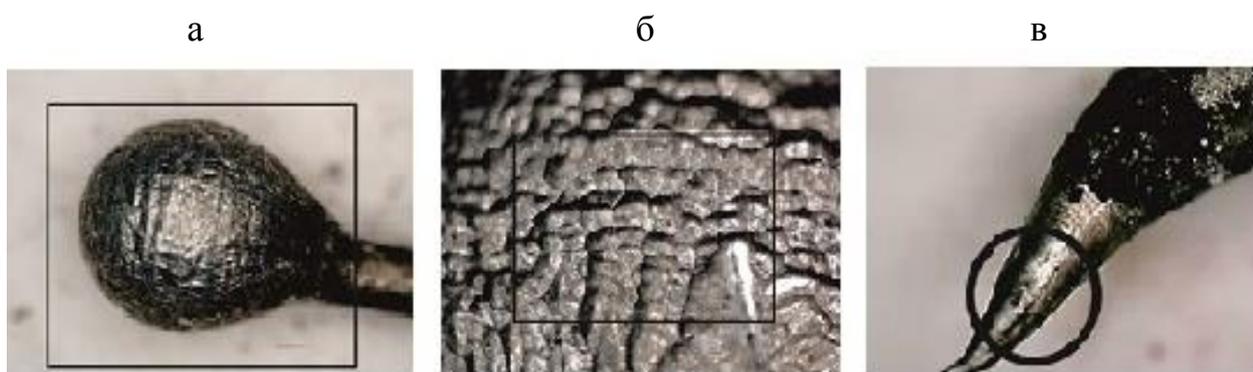


Рис. 2. Фрагменты поверхности оплавлений алюминиевого проводника при первичном коротком замыкании:

а – локальное оплавление в виде капли при увеличении в 250 раз;
 б – локальные растрескивания по границам зерен при увеличении в 400 раз;
 в – косой срез при увеличении в 200 раз

CO_2 и H_2 способствуют образованию на поверхностной структуре проводника наплывов меди и газовых пор.

При исследовании структуры поверхности медного проводника при вторичном КЗ (рис. 3) установлено наличие:

- шарообразного оплавления на конце проводника;
- рельефной структуры поверхности оплавления;
- газовых пор и кратеров на поверхности оплавления.

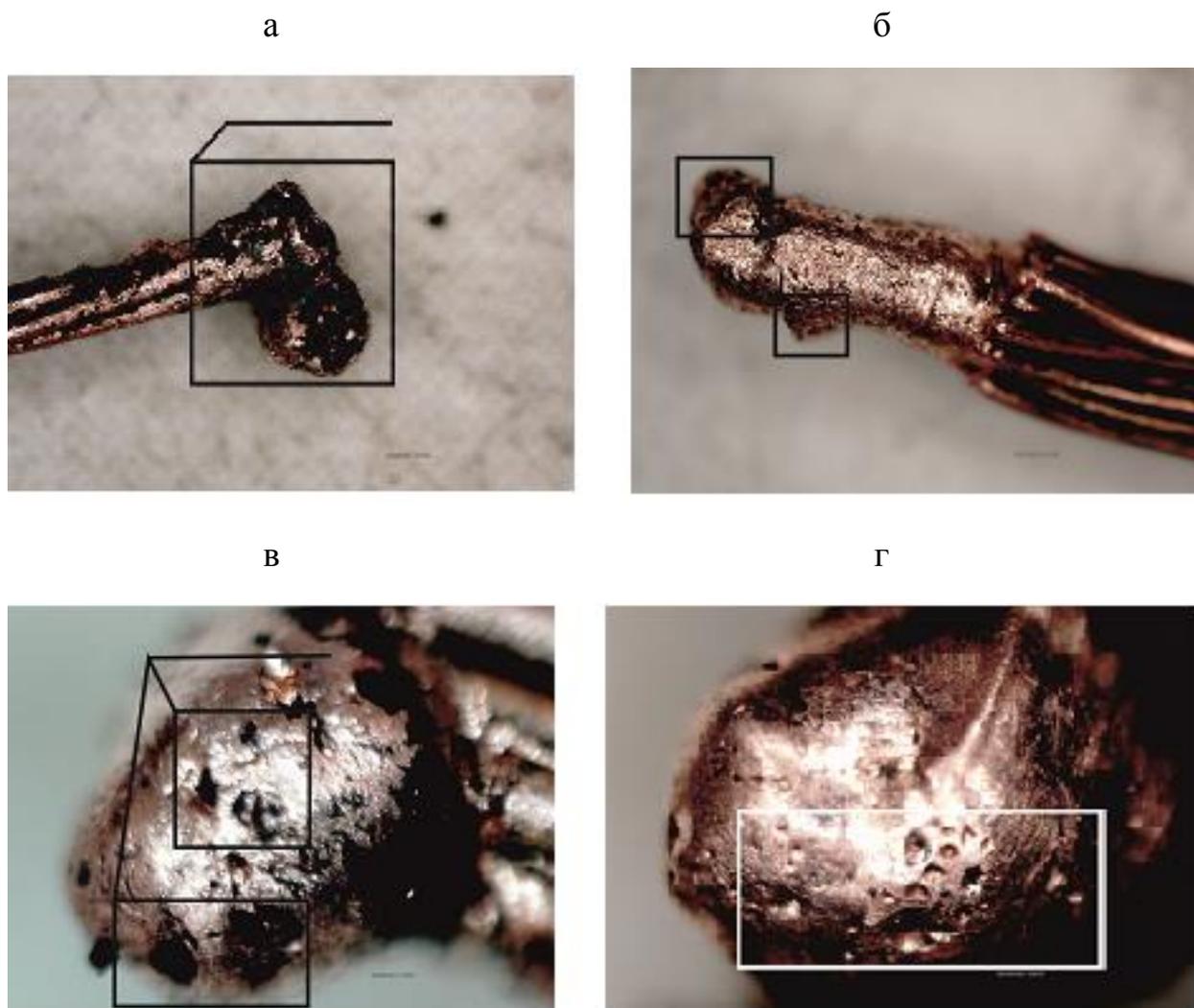


Рис. 3. Фрагменты поверхности оплавлений медного проводника при вторичном коротком замыкании:

- а – оплавление на конце проводника при увеличении в 200 раз; б – рельефная структура поверхности при увеличении в 250 раз; в – газовые поры при увеличении в 450 раз; г) кратеры при увеличении в 450 раз

При исследовании структуры поверхности алюминиевого проводника при вторичном КЗ (рис. 4) установлено наличие:

- оплавления на конце проводника;
- в поверхностном слое зоны оплавления структуры из плотноупакованных неравноосных зерен различного размера.

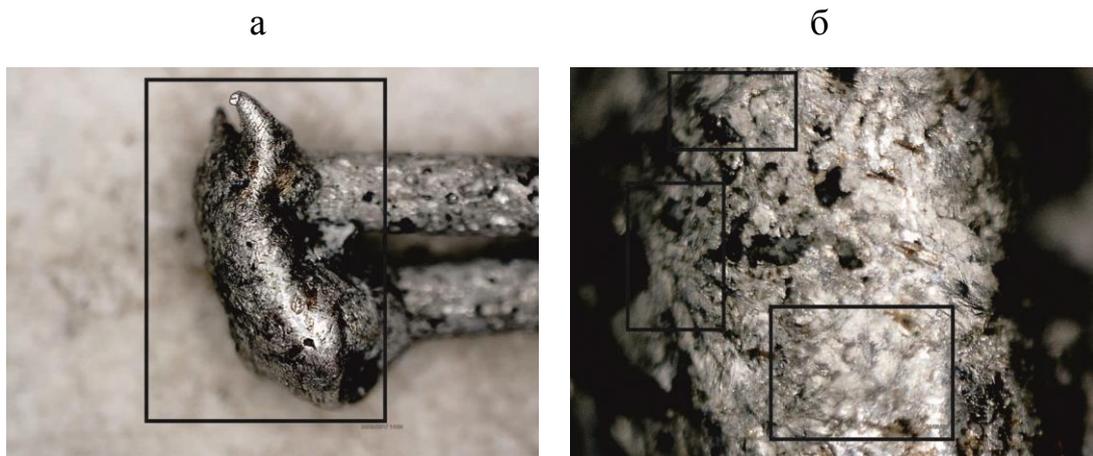


Рис. 4. Фрагменты поверхности оплавлений алюминиевого проводника при вторичном коротком замыкании:

а – оплавление на конце проводника при увеличении в 250 раз; б – структура из плотноупакованных неравноосных зерен различного размера при увеличении в 450 раз

Выводы

1. В результате проведенных исследований определены морфологические признаки, позволяющие определить с достоверной точностью причины оплавлений поверхности медных и алюминиевых проводников, изъятых с места пожара – образование их произошло до пожара или при пожаре.

2. На основании результатов исследований в комплексе с другими данными об аварийном режиме работы электросети – коротком замыкании – решается вопрос о связи возникновения пожара с аварийным режимом работы.

Список литературы / References

1. Черкасов, В.Н. Пожарная безопасность электроустановок / В.Н. Черкасов, Н.П. Костарев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

Cherkasov, V.N., Kostarev, N.P. *Pozharnaya bezopasnost' elektroustanovok* [Fire safety of electrical installations]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Publ., 2002, 377 p.

2. Гуржий, В.В. Характер оплавления проводников при коротком замыкании / В.В. Гуржий, Е.О. Зинченко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 2(54). – С. 38 – 44.

Gurzhiy, V.V., Zinchenko, Ye.O. *Kharakter oplavleniya provodnikov pri korotkom zamykanii* [Character of the washing of conductors by the short circuit]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 2 (54), pp. 38 – 44.

3. Чешко, И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под ред. канд. юр. наук Н.А. Андреева. – СПб.: СПБИБ МВД России, 1997. – 560 с.

Cheshko, I.D. *Ekspertiza pozharov (ob'yekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Expert examination of fires (objects, methods, methods of investigation)]. *Pod red. kand. yur. nauk N.A. Andreyeva* [Candidate of juridical sciences N.A. Andreyev, ed.]. St. Petersburg, SPbIPB MVD Rossii Publ., 1997, 560 p.

4. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров: методические рекомендации / А.И. Колмаков, Б.В. Степанов, С.И. Зернов и др. – М.: ЭКЦ МВД РФ, 1992. – 32 с.

Kolmakov, A.I., Stepanov, B.V., Zernov, S.I. etc. *Diagnostika prichin razrusheniya metallicheskih provodnikov, iz'yatykh s mest pozharov: metodicheskiye rekomendatsii* [Diagnostics of rupture sources of metallic conductors withdrawn from fire places: guideline]. Moscow, EKTs MVD RF Publ., 1992, 32 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 15.11.2016

Vladelen Valeryevich Gurzhiy, senior scientific associate; e-mail: opbush@mail.ru;
Yevgeny Olegovich Zinchenko, research associate; e-mail: evgeniy.zintchenko@yandex.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

DIFFERENTIATION OF SHORT CIRCUITS OF COPPER AND ALUMINIUM CONDUCTORS

Purpose. To ascertain the cause of the washing for a more precise definition of the moment of origin of the short circuit on the characteristic washing signs. By the traces of the washings on fragments of electrical installations excepted from a fire place is their nature determined, and the conclusion about the belonging of the emergency mode of operation to origin of the fire is formed.

Methods. Investigations of the copper and aluminium conductors with the washing traces, analyses of the surfaces of fragments of specimens with the use of the portable digital microscope with software. Morphologic analysis of the specimens by study of the structures of the surfaces.

Results. The causes of the washings of the surfaces of the copper and aluminium conductors excepted from the fire place were determined with the reliable exactness, and the moment of origin of the short circuit by establishment of the cause-effect relationship between the origin of the fire and the emergency mode of operation of the electrical installations was assigned on the grounds thereof.

Scientific novelty. The characteristic signs of the differentiation of the short circuit are presented at the moment of its origin in the copper and aluminium conductors. The characteristic signs of the primary and secondary short circuit are determined by means of the study of the physics of chemical reactions and gas release by the fire on their surfaces.

Practical value. The results of the investigations allow establishing the cause-effect relationship between the emergency mode of operation of the electrical installations and the fire what permits to ascertain the cause of its origin with the reliable exactness. The results of the investigations are the grounds for issue of the official opinion letter about the cause of origin of the fire.

Keywords: *emergency modes of operation; primary short circuit; secondary short circuit; investigations; washings; conductors; morphological signs; granular structure; electrical products; washings of surfaces; electric sparks and arcs.*

II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [614.8"363":005.7](094.57)

Алексей Александрович Кострубицкий, министр; 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) 340-62-28

ХАРАКТЕРИСТИКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Цель. Изучить состояние законодательной базы в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Методика. Анализ действующих нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики.

Результаты. Выявлены проблемы и выработаны предложения по реализации принятых законов Донецкой Народной Республики, постановлений Совета Министров Донецкой Народной Республики и приказов Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики, регулирующих деятельность органов государственной власти и органов местного самоуправления в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Научная новизна. Результаты анализа позволили выявить особенности функционирования Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Донецкой Народной Республики (далее – Единая государственная система) в период становления государственности, причины неполноценной реализации отдельных норм законодательства, в том числе и в связи с существующей военно-политической ситуацией, в которой находится Донецкая Народная Республика.

Практическая значимость. Полученные результаты можно использовать при выработке предложений по реализации принятых законов Донецкой Народной Республики, постановлений Совета Министров Донецкой Народной Республики и приказов Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики, регулирующих деятельность по организации и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ, а также при разработке мероприятий по планированию и управлению системой безопасности населения органами государственной власти и местного самоуправления.

Ключевые слова: *нормативные правовые акты; защита населения и территорий; чрезвычайные ситуации; органы управления; Единая государственная система.*

Постановка проблемы. Система законодательства Донецкой Народной Республики в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за короткое время выстроена по вертикали на достаточном уровне для ее функционирования, а именно: принят основополагающий закон и частично необходимые для его реализации подзаконные акты. Однако риски чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера постоянно растут. Это объясняется увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду.

Анализ последних исследований. Актуальность проблемы обеспечения безопасности населения и территорий обусловлена тенденциями роста потерь

людей и ущерба территориям, вызванных опасными явлениями, авариями и катастрофами.

Цель исследования – разработка предложений по реализации принятых законов Донецкой Народной Республики, постановлений Совета Министров Донецкой Народной Республики и приказов Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики, регулирующих деятельность по организации и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ, а также разработка мероприятий по планированию и управлению системой безопасности населения органами государственной власти и местного самоуправления.

Материалы и результаты исследований. В соответствии со статьей 3 Конституции Донецкой Народной Республики человек является наивысшей ценностью [1]. Следовательно, защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера – одна из основополагающих функций государства.

В Донецкой Народной Республике достаточно интенсивно идет процесс формирования нормативно-правовой базы в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также создается и совершенствуется система компетентных органов управления в данной сфере.

Так, Советом Министров Донецкой Народной Республики было создано Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (далее – МЧС ДНР) (Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 26.09.2014 № 35-1) [2]. Согласно Положению о МЧС ДНР, утвержденному Советом Министров Донецкой Народной Республики от 10.03.2017 № 3-61, одними из основных задач МЧС ДНР являются:

- формирование и реализация государственной политики в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- организация подготовки и утверждения в установленном порядке проектов нормативных правовых актов в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- осуществление управления в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, а также управление деятельностью государственных органов исполнительной власти, органов местного самоуправления, предприятий, учреждений, организаций независимо от форм собственности в рамках Единой государственной системы;
- осуществление нормативного регулирования в целях предупреждения, прогнозирования и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций и пожаров, а также осуществление специальных, разрешительных, надзорных и контрольных функций по вопросам, отнесенным к компетенции МЧС ДНР;

- осуществление деятельности по оперативному реагированию при чрезвычайных ситуациях, защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и пожаров;
- подготовка и переподготовка специалистов по вопросам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- координация работ, связанных с формированием и реализацией единой научно-технической политики в сфере защиты населения и территорий от последствий чрезвычайных ситуаций [3].

Во исполнение пункта 9 Постановления № 35-1 МЧС ДНР был разработан проект Закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (далее – Закон № 11-ІНС), который 20.02.2015 рассмотрен и принят Народным Советом Донецкой Народной Республики. Данный Закон определил общие для Донецкой Народной Республики организационно-правовые нормы гражданской обороны в области защиты граждан Донецкой Народной Республики, иностранных граждан и лиц без гражданства, находящихся на территории Донецкой Народной Республики, всего земельного, водного, воздушного пространства в пределах Донецкой Народной Республики или его части, объектов производственного и социального назначения, а также окружающей среды от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [4].

С целью реализации Закона № 11-ІНС, для заблаговременного проведения комплекса мероприятий при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Советом Министров Донецкой Народной Республики было утверждено Положение о Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, которая объединила органы управления, силы и средства республиканских органов исполнительной власти, органов местного самоуправления и организаций, в полномочия которых входит решение вопросов в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [5].

Для своевременного и надлежащего реагирования на чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера Единая государственная система включила в себя постоянно действующие функциональные и территориальные подсистемы. Единая государственная система имеет три уровня построения: государственный, местный и объектовый, на каждом из которых создаются координационные органы, постоянно действующие органы управления, органы повседневного управления, силы и средства, резервы финансовых и материальных ресурсов, системы связи, оповещения и информационного обеспечения.

На государственном уровне Единой государственной системы согласованность действий органов государственной власти, местного самоуправления, организаций координирует Государственная комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Донецкой Народной Республики (далее – Государственная комиссия), созданная Советом Министров Донецкой

Народной Республики [6]. Согласно Положению о Государственной комиссии, утвержденному Постановлением Совета Министров Донецкой Народной Республики от 17.12.2016 № 13-57, ее основными задачами являются:

- разработка предложений по реализации государственной политики в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- координация деятельности органов управления и сил Единой государственной системы;
- обеспечение согласованности действий органов государственной власти при решении вопросов в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности;
- координация действий органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций, общественных объединений в сфере создания условий жизнедеятельности населения и предоставления государственной поддержки организациям, пострадавшим от чрезвычайных ситуаций и военных действий;
- аккредитация гуманитарного груза;
- распределение гуманитарной помощи, предоставляемой Донецкой Народной Республике [7].

В свою очередь, для определения основ построения системы управления в чрезвычайных ситуациях Советом Министров Донецкой Народной Республики утверждено Положение об организации системы управления в чрезвычайных ситуациях Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [8], в котором определено, что общее руководство в чрезвычайной ситуации осуществляют:

- на государственном уровне реагирования на чрезвычайную ситуацию – Председатель Совета Министров Донецкой Народной Республики;
- на местном уровне реагирования на чрезвычайную ситуацию – руководитель органа местного самоуправления;
- на объектовом уровне реагирования на чрезвычайную ситуацию – руководитель предприятия, учреждения, организации.

Система управления в чрезвычайных ситуациях включает совокупность органов управления, пунктов управления, систем связи, оповещения, автоматизации управления территориальных и функциональных подсистем Единой государственной системы. Основной задачей системы управления в чрезвычайных ситуациях является обеспечение эффективного, устойчивого управления реагированием на чрезвычайную ситуацию и изменения обстановки в процессе ее развития путем подготовки и реализации управленческих решений.

Взаимодействие органов управления в чрезвычайных ситуациях и сил, привлекаемых к предупреждению, ликвидации чрезвычайной ситуации или ее последствий, осуществляется на каждом уровне реагирования в порядке взаимодействия и обмена информацией государственного, местного и объектового уровня.

В целях заблаговременного планирования и осуществления мероприятий по снижению рисков возникновения, смягчения последствий и ликвидации прогнозируемых чрезвычайных ситуаций; своевременного оповещения об угрозе возникновения, возникновении чрезвычайных ситуаций и проведения неотложных действий, направленных на защиту жизни и здоровья людей и сохранение материальных ценностей; организации оперативных действий и взаимодействия служб, привлекаемых для ликвидации чрезвычайных ситуаций, Советом Министров Донецкой Народной Республики был утвержден Порядок сбора и обмена информацией в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Донецкой Народной Республике, который определяет виды информации, систему информационного обмена и порядок непосредственного обмена информацией [9].

Во исполнение указанного Порядка сбора и обмена информацией приказом МЧС ДНР от 19.12.2016 № 839 был утвержден Табель срочных донесений, плановых информаций и ведомостей по вопросам деятельности МЧС ДНР, который определяет формы предоставления отчетной информации о состоянии и готовности органов управления и сил Единой государственной системы, планировании и проведении мероприятий по совершенствованию гражданской обороны, предупреждению чрезвычайных ситуаций и их ликвидации, а также подготовке населения к защите от чрезвычайных ситуаций [10].

Для определения задач, целей обучения и категорий должностных лиц, подлежащих обучению в сфере гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, Советом Министров Донецкой Народной Республики 12.03.2015 утверждено Положение об организации обучения населения в области гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [11].

В свою очередь, с целью единого государственного подхода к определению источника возникновения и характера происшедших чрезвычайных ситуаций, оценки потерь и причиненного материального ущерба от последствий аварий и катастроф, установлению уровня реагирования Советом Министров Донецкой Народной Республики от 17.12.2016 за № 13-51 принято Постановление «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», которым утверждаются:

- порядок классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по их уровням;
- методические рекомендации по применению Государственного классификатора чрезвычайных ситуаций;
- Государственный классификатор чрезвычайных ситуаций;
- временная методика оценки ущерба от последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [12].

Вышеперечисленные документы содействуют созданию эффективного механизма оценки событий, которые могут произойти в прогнозируемый срок, и определению степени реагирования на соответствующем уровне.

Для реализации вышеуказанных нормативных правовых актов МЧС ДНР разработало и приняло ряд ведомственных приказов, среди которых следует выделить следующие: № 354 от 09.06.2015 «Об утверждении Методики прогнозирования масштабов заражения аварийно химически опасными веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте, порядка действий должностных лиц химически опасного объекта в случае возникновения аварии с выливом (выбросом) аварийно химически опасных веществ на нем и Методических рекомендаций по проведению классификации административно-территориальных единиц и объектов по химической опасности», № 399 от 22.06.2015 «Об утверждении Положения по разработке Плана действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для предприятий, учреждений и организаций», № 765 от 14.10.2015 «Об утверждении Методических указаний по подготовке органов управления и сил гражданской обороны и Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», в которых конкретизируются положения, определенные законами и постановлениями.

Выводы. Полноценная реализация отдельных норм законодательства в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в связи с существующей военно-политической ситуацией, в которой находится Донецкая Народная Республика, невозможна из-за отсутствия:

- должного финансирования, которое может обеспечить реализацию принятых нормативных правовых актов;
- необходимой нормативно-правовой базы на местном уровне, что влечет ненадлежащий уровень функционирования территориальных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Данное положение дел приводит к несогласованности действий в отдельных административно-территориальных единицах и тормозит своевременное исполнение задач и функций по предназначению;
- материально-технической базы в связи с неполноценной работой промышленных предприятий, а также отсутствием на территории Донецкой Народной Республики специальных предприятий по изготовлению и ремонту аварийно-спасательной и аварийно-восстановительной техники, а также средств коллективной и индивидуальной защиты. Это приводит к прогрессирующему износу основных фондов, снижению общего уровня техники безопасности и производственной дисциплины.

Перспективным направлением при этом является развитие Единой государственной системы путем совершенствования правовых, социальных и экономических механизмов в Республике, анализа рисков чрезвычайных ситуаций и экономических возможностей.

Список литературы / References

1. Конституция Донецкой Народной Республики: Закон Донецкой Народной Республики от 14.05.2014 [Электронный ресурс]. URL: http://doc.dnr-online.ru/wpcontent/uploads/2015/09/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8_14.05.2014%D0%B3..doc (дата обращения: 07.12.2017).

Konstitutsiya Donetskoy Narodnoy Respubliki: Zakon Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 14.05.2014 (Elektronnyy resurs) [Constitution of the Donetsk People's Republic: Law of the Donetsk People's Republic from 14.05.2014 (Electronic resource)]. Available at: http://doc.dnr-online.ru/wpcontent/uploads/2015/09/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%9D%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B8_14.05.2014%D0%B3..doc (accessed: 07.12.2017).

2. О создании Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 26.09.2014 № 35-1 [Электронный ресурс]. URL: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%E2%84%96_35-1_26.09.2014.pdf (дата обращения: 07.12.2017).

O sozdanii Ministerstva po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy Donetskoy Narodnoy Respubliki: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 26.09.2014 № 35-1 (Elektronnyy resurs) [On creation of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 26.09.2014 no. 35-1 (Electronic resource)]. Available at: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%E2%84%96_35-1_26.09.2014.pdf (accessed: 07.12.2017).

3. Об утверждении Положения о Министерстве по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 10.03.2017 № 3-61 [Электронный ресурс]. URL: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanov_N3_61_10032017.pdf (дата обращения: 07.12.2017).

Ob utverzhdenii Polozheniya o Ministerstve po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy Donetskoy

Narodnoy Respubliki: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 10.03.2017 № 3-61 (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Regulations about the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 10.03.2017 no. 3-61 (Electronic resource)]. Available at: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanov_N3_61_10032017.pdf (accessed: 07.12.2017).

4. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Закон Донецкой Народной Республики от 20.02.2015 № 11-ИНС [Электронный ресурс]. URL: http://doc.dnr-online.ru/wp-content/uploads/2015/03/Zakon_DNR_o_zashchite_naseleniya_i_territoriy_ot_CHS.pdf (дата обращения: 07.12.2017).

O zashchite naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera: Zakon Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 20.02.2015 № 11-ИНС (Electronic resource) [On defense of population and territories against natural and anthropogenic emergencies: Law of the Donetsk People's Republic from 20.02.2015 no. 11-ИНС (Electronic resource)]. Available at: http://doc.dnr-online.ru/wpcontent/uploads/2015/03/Zakon_DNR_o_zashchite_naseleniya_i_territoriy_ot_CHS.pdf (accessed: 07.12.2017).

5. Об утверждении Положения о Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 09.04.2015 № 5-11 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/Grazdanskaja%20oborona/polozenie%202.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

Ob utverzhdenii Polozheniya o Yedinoy gosudarstvennoy sisteme preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 09.04.2015 № 5-11 (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Regulations about the Integrated state system of prevention and elimination of emergencies: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 09.04.2015 no. 5-11 (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/Grazdanskaja%20oborona/polozenie%202.pdf> (accessed: 07.12.2017).

6. О создании Государственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Донецкой Народной Республики: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 27.02.2015 № 2-26 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanovlenie%20o%20sozdanii%20komisii.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

O sozdanii Gosudarstvennoy komissii po preduprezhdeniyu i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy i obespecheniyu pozharной bezopasnosti Donetskoy Narodnoy Respubliki: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 27.02.2015 № 2-26 (Elektronnyy resurs) [On creation of the State commission on prevention and elimination of emergencies and guaranteeing the fire safety of the Donetsk People's Republic: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 27.02.2015 no. 2-26 (Electronic resource)].

Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanovlenie%20o%20sozdanii%20komisii.pdf> (accessed: 07.12.2017).

7. О Государственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Донецкой Народной Республики: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 17.12.2016 № 13-57 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-57.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

O Gosudarstvennoy komissii po preduprezhdeniyu i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy i obespecheniyu pozharnoy bezopasnosti Donetskoy Narodnoy Respubliki: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 17.12.2016 № 13-57 (Elektronnyy resurs) [On the State commission on prevention and elimination of emergencies and guaranteeing the fire safety of the Donetsk People's Republic: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 17.12.2016 no. 13-57 (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-57.pdf> (accessed: 07.12.2017).

8. Об утверждении Положения об организации системы управления в чрезвычайных ситуациях Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 31.05.2016 № 7-9 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-57.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

Ob utverzhdenii Polozheniya ob organizatsii sistemy upravleniya v chrezvychaynykh situatsiyakh Yedinoy gosudarstvennoy sistemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 31.05.2016 № 7-9 (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Regulations about organization of the system of control in emergencies of the Integrated state system of prevention and elimination of consequences of emergencies: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 31.05.2016 no. 7-9 (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-57.pdf> (accessed: 07.12.2017).

9. Об утверждении Порядка сбора и обмена информацией в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Донецкой Народной Республике: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 31.05.2016 № 7-5 [Электронный ресурс]. URL: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanov_N7_5_31052016.pdf (дата обращения: 07.12.2017).

Ob utverzhdenii Poryadka sbora i obmena informatsiyey v oblasti grazhdanskoj oborony, zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennoho kharaktera v Donetskoy Narodnoy Respublike: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 31.05.2016 № 7-5 (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Order of collection and exchange

of information in the field of civil defense, protection of population and territories against natural and anthropogenic emergencies in the Donetsk People's Republic: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 31.05.2016 no. 7-5 (Electronic resource)]. Available at: http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanov_N7_5_31052016.pdf (accessed: 07.12.2017).

10. Об утверждении Табеля срочных донесений, плановых информаций и ведомостей по вопросам деятельности Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики: приказ МЧС ДНР от 19.12.2016 № 839 (зарегистрирован в Министерстве юстиции Донецкой Народной Республики 30.12.2016, регистрационный № 1814) [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/Grazdanskaja%20oborona/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20839.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

Ob utverzhdenii Tabelya srochnykh doneseniya, planovykh informatsiy i vedomostey po voprosam deyatel'nosti Ministerstva po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy Donetskoy Narodnoy Respubliki: prikaz MChS DNR ot 19.12.2016 № 839 (zaregistririrovan v Ministerstve yustitsii Donetskoy Narodnoy Respubliki 30.12.2016, registratsionnyy № 1814) (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Table of priority messages, planned information and lists on questions of activity of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters: order of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters from 19.12.2016 no. 839 (registered in the Department of Justice of the Donetsk People's Republic on 30.12.2016, registration no. 1814) (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/Grazdanskaja%20oborona/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20839.pdf> (accessed: 07.12.2017).

11. Об утверждении Положения об организации обучения населения в области гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 12.03.2015 № 3-22 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanovlenie%20obychenie%20naselenia.pdf>.

Ob utverzhdenii Polozheniya ob organizatsii obucheniya naseleniya v oblasti grazhdanskoy oborony i zashchity naseleniya ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tehnogennogo kharaktera: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 12.03.2015 № 3-22 (Elektronnyy resurs) [On confirmation of the Regulations about organization of learning the population in the field of civil defense and protection of the population against natural and anthropogenic emergencies: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 12.03.2015 no. 3-22 (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/Postanovlenie%20obychenie%20naselenia.pdf> (accessed: 07.12.2017).

12. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Совета Министров Донецкой Народной Республики от 17.12.2016 № 13-51 [Электронный ресурс]. URL: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-51.pdf> (дата обращения: 07.12.2017).

O klassifikatsii chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogenno kharaktera: Postanovleniye Soveta Ministrov Donetskoy Narodnoy Respubliki ot 17.12.2016 № 13-51 (Elektronnyy resurs) [On classification of natural and anthropogenic emergencies: Decree of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic from 17.12.2016 no. 13-51 (Electronic resource)]. Available at: <http://dnmchs.ru/uploads/postanovlenia/23.01.17%20pravovoy/postanovlenie-13-51.pdf> (accessed: 07.12.2017).

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 09.01. 2018*

Aleksey Aleksandrovich Kostrubitskiy, Minister, e-mail: mchs-dnr@mail.ru

The Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters

283050, Donetsk, 60, ulitsa Shchorsa. Phone (+38 062) 340-62-28

CHARACTERISTIC OF THE NORMATIVE LEGAL BASIS OF THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC IN THE SPHERE OF DEFENSE OF POPULATION AND TERRITORIES AGAINST EMERGENCIES

Purpose. To study the state of the legislative basis in the sphere of defense of population and territories against the natural and anthropogenic emergencies.

Methods. Analysis of the normative legal documents of the Donetsk People's Republic.

Results. The problems are revealed, and the proposals on realization of the adopted laws of the Donetsk People's Republic, decrees of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic, and orders of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters that regulate the activity of the bodies of state power and municipal administration in the sphere of defense of population and territories against the emergencies are worked out.

Scientific novelty. The results of the analysis allowed detecting the peculiarities of the functioning of the Integrated state system of prevention and elimination of consequences of emergencies of the Donetsk People's Republic (hereinafter referred to as the Integrated state system) in the period of formation of the statehood, causes of the not full-fledged realization of the separate norms of legislation including also in connection with the existing military and political situation which the Donetsk People's Republic is in.

Practical value. One can use the results obtained by working-out the proposals on realization of the adopted laws of the Donetsk People's Republic, decrees of the Council of Ministers of the Donetsk People's Republic, and orders of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Elimination of Consequences of Natural Disasters that regulate the activity on organization and carrying-out the emergency and rescue and other urgent operations as well by working-out the measures on planning and control of the safety system of the population by the bodies of state power and municipal administration.

Keywords: *normative legal documents; defense of population and territories; emergencies; control bodies; Integrated state system.*

УДК [622.489:621.391.3]:622.867

*Петр Семенович Пашковский, д-р техн. наук, первый замдиректора по науч. работе;
e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;*

Александр Витальевич Чапкович, науч. сотр.; e-mail: niigd.osmas-2@mail.ru;

Никита Григорьевич Зинченко, инж.; e-mail: niigd.osmas-5@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-04*

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ АППАРАТУРЫ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЙ СВЯЗИ

Цель. Определение путей улучшения эксплуатационных показателей аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи с использованием направляющих в качестве изолированных проводников.

Методы. Изучение и анализ принципов построения и технических характеристик современной аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи.

Результаты. Дана оценка достоинств и недостатков системы высокочастотной связи с использованием амплитудной модуляции с одной боковой полосой.

Научная новизна. Предложены пути улучшения эксплуатационных показателей аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи, позволяющие повысить ее помехоустойчивость и дальность, уменьшить нелинейные искажения в диапазоне частот речевых сигналов.

Практическая значимость. Результаты анализа могут быть основой для дальнейшего совершенствования схемотехнических решений аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи.

Ключевые слова: *однополосная модуляция; рамочная антенна; полоса звуковых частот; нелинейные искажения; высокочастотная связь.*

Постановка проблемы. Горноспасатели ликвидацию аварий начинают с разведки, в ходе которой необходимо быстро и точно оценить ситуацию и передать результаты руководству горноспасательными работами, которое на основании полученной информации формирует план мероприятий для ликвидации аварии. Аппаратуру высокочастотной (индуктивной) горноспасательной связи применяют как оперативную на ранних стадиях локализации аварий, не связанных с разрушением инженерных коммуникаций горных выработок, для двусторонней связи горноспасательного отделения с подземной базой и кодовой сигнализации тональными сигналами с использованием в качестве направляющих изолированных металлических проводников, таких, как телефонные кабели, кабели пожарной сигнализации и пр. Аппаратуру высокочастотной горноспасательной связи можно применять для обеспечения связи командного пункта, расположенного на поверхности шахты, с подземной базой и горноспасательным отделением. Неблагоприятные внешние микроклиматические условия, в которых используют аппаратуру, такие факторы,

как повышенные влажность и температура шахтной среды, а также задымленность, оказывают негативное влияние на физическое состояние организма горноспасателя. Работы по ликвидации последствий аварии зачастую ведут в ограниченном пространстве в условиях плохой видимости, в не пригодной для дыхания среде. Общее время ликвидации аварии в некоторых случаях не поддается прогнозу, поскольку развитие аварии может иметь непредсказуемый характер.

Наиболее важными эксплуатационными показателями, влияющими на жизнеспособность отделения горноспасателей, которое ведет работы по ликвидации аварии, оперативность реагирования на постоянно изменяющиеся условия проведения горноспасательных работ, их безопасность и эффективность, а также удобство развертывания и применения аппаратуры при транспортировании ее вручную, являются массогабаритные характеристики аппаратуры, максимальная дальность связи и возможность оперативного ее увеличения, время непрерывной работы без замены (подзарядки) источника питания. Для проведения анализа следует выбрать основные технические характеристики, позволившие в процессе создания и совершенствования аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи получить наиболее оптимальные эксплуатационные показатели.

Состояние вопроса. При создании аппаратуры высокочастотной горноспасательной связи «Кварц» в НИИГД «Респиратор» в 80-х годах прошлого столетия проводили исследования распространения в подземных выработках радиоволн от сантиметрового диапазона до сверхнизких частот [1]. В результате установлено, что оптимальные линии высокочастотной связи в шахте могут быть созданы на частотах от десятков до сотен килогерц с применением в качестве изолированных металлических направляющих телефонных кабелей, кабелей электропитания, линий автоматики и контроля метана или временных проложенных изолированных однопроводных линий. Однако в этом диапазоне частот сильное влияние на качество передачи информации и дальность связи оказывают электрические помехи. Большая насыщенность горных выработок шахт механизмами, оснащенными электроприводом, способствует созданию импульсных помех. Максимальная дальность связи в этом случае ограничивается мощностью передающего устройства, чувствительностью приемного устройства и способом кодирования сообщения.

Энергетические показатели радиопередатчика определяет вид применяемой модуляции, т.е. способ кодирования сообщения, подлежащего передаче.

Материал исследований. В результате исследований и экспериментов установлено, что наилучшие энергетические показатели и максимально возможную помехоустойчивость обеспечивают системы высокочастотной связи с использованием однополосной модуляции (амплитудной модуляции с одной боковой полосой). Во всех образцах аппаратуры отечественного и зарубежного производства (см. таблицу) для получения наилучших эксплуатационных показателей применяют радиочастоты в диапазоне от 266 до

400 кГц с однополосной модуляцией, позволяющие при сходных массогабаритных и мощностных характеристиках получить максимальную дальность и качество связи.

Основные технические характеристики высокочастотной аппаратуры горноспасательной связи

Техническая характеристика	Аппаратура высокочастотной горноспасательной связи			
	«Кварц» (Украина)	RTS/G 581 (Франция)	«Кварц-3М» (Россия)	«Донецк-1М» (Украина)
Радиочастота рабочая, кГц	266	400	266	320
Мощность передатчика пиковая, Вт	0,7	1,0	0,7	0,8
Мощность приемника выходная, Вт	0,2	0,15	0,2	0,1
Модуляция несущей	Однополосная	Однополосная	Однополосная	Однополосная
Стабилизация радиочастоты	Кварцевая	–	Кварцевая	–
Дальность связи, км	8	5	8	8
Масса, кг	1,7	1,7(6,4)	1,1	2,5 (с антенной)
Уровень и виды взрывозащиты	PO, Ia	PO, Ia	PO, Ia X, IP54	PO, Ia
Габариты, мм	450×365×105	–	75×120×182	143×155×73
Продолжительность непрерывной работы аппарата без смены питания, ч	50	–	50	25

Системы связи с одной боковой полосой [2] обеспечивают при одинаковой мощности передатчика значительно более высокую надежность связи по сравнению с системами, в которых использована обычная амплитудная модуляция.

Для образования однополосного сигнала, т.е. сигнала, содержащего только верхнюю или нижнюю боковую полосу, используют балансные модуляторы [3]. К входу такого модулятора (рис. 1) одновременно подводят напряжение передаваемого сигнала $U_m(t)$, спектр которого показан на рис. 2,а, и напряжение несущей частоты $U_n \cos \omega_n t$. На выходе модулятора сохраняются только верхняя и нижняя боковые полосы (рис. 2,б).

Для получения однополосного сигнала с помощью фильтра вырезается верхняя или нижняя боковая полоса (рис. 2,в), которая после усиления в высокочастотном тракте передатчика поступает в антенну и излучается.

Спектр однополосного сигнала по форме совпадает со спектром исходного модулирующего напряжения, однако он смещен на частоту ω_n в область более высоких частот. Информация, содержащаяся в одной боковой

полосе, недостаточна для восстановления передаваемого сигнала. Если неизвестно значение несущей частоты, то невозможно определить частотный спектр передаваемого сигнала. Таким образом, при приеме однополосного сигнала необходимо в точке приема восстанавливать несущую частоту.

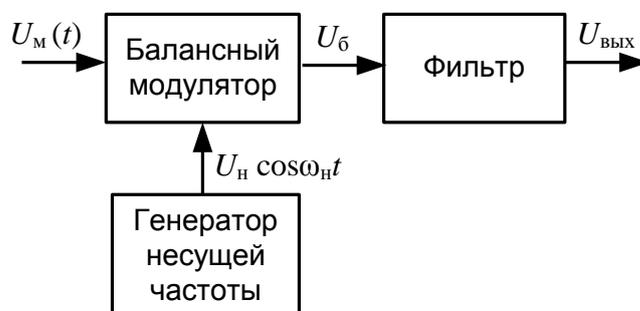


Рис. 1. Блок-схема формирования однополосного сигнала

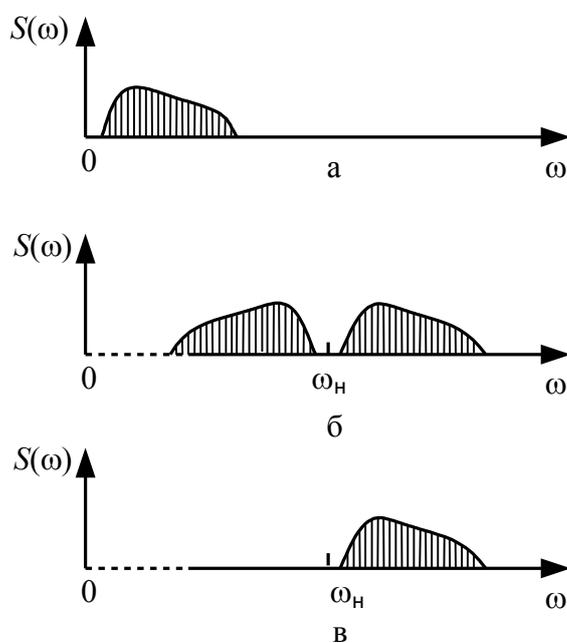


Рис. 2. Графики спектральной плотности сигналов:

а – модулирующего; б – двухполосного (без несущей); в – однополосного

К основным преимуществам систем с однополосной модуляцией по сравнению с обычными амплитудно-модулированными системами можно отнести:

- устранение из спектра несущей частоты одной боковой полосы, для передачи которой в обычных системах затрачивают значительную мощность;
- уменьшение полосы частот, занимаемой передатчиком, что дает возможность увеличить количество станций, работающих без взаимных помех в заданном диапазоне, и существенно снизить искажение передаваемого сигнала, вызванное селективным «замиранием», которое является следствием

неодинаковых условий распространения различных по частоте составляющих спектра сигнала;

- сужение полосы пропускания приемного устройства, позволяющее примерно в два раза снизить мощность помех на входе приемника.

Говоря об энергетических преимуществах рассматриваемых систем, следует заметить, что при отсутствии модулирующего сигнала (например, при молчании перед микрофоном) передатчик не излучает несущей частоты, в то время как в обычных системах она излучается.

Учитывая, что подобные паузы при радиотелефонной передаче составляют значительную часть времени работы, применение однополосной передачи дает дополнительный существенный энергетический выигрыш. Полный энергетический выигрыш по сравнению с системой обычной амплитудной модуляции приблизительно оценивается в 15...20 раз.

К основным недостаткам систем однополосной передачи следует отнести:

- необходимость обеспечения высокой стабильности частоты передатчика и генератора несущей частоты, восстанавливаемой на входе в приемный тракт. Если отклонение восстановленной в приемнике несущей частоты от подавленной в передатчике превосходит 15...20 Гц, то резко снижается разборчивость передаваемой речи;

- усложнение приемной и передающей аппаратуры, связанное с формированием однополосного сигнала, а также с восстановлением несущей частоты при демодуляции в приемном устройстве.

Так как к точности восстановленной несущей частоты и поддержанию ее постоянной предъявляются высокие требования, то для контроля или автоматической подстройки несущей частоты вместе с однополосным сигналом может передаваться значительно ослабленная несущая частота или так называемый пилот-сигнал. В ряде случаев нецелесообразно сохранять несущую частоту во всем тракте формирования однополосного сигнала, а удобнее «замешивать» ее в передаваемый сигнал в выходных каскадах передатчика.

Для повышения коэффициента полезного действия передатчиков с одной боковой полосой целесообразно формирование однополосного сигнала производить в маломощных каскадах передатчика, а затем усиливать его до необходимого уровня в последующих каскадах. При этом следует иметь в виду, что при выделении одной боковой полосы из амплитудно-модулированного колебания на выходе фильтра получается колебание с амплитудно-частотной модуляцией. Из этого свойства однополосного сигнала следует первая особенность усилительного тракта рассматриваемых передатчиков, а именно недопустимость использования в усилительном тракте каскадов умножения частоты.

Второй важной особенностью усилительного тракта однополосного передатчика являются высокие требования к линейности его амплитудной характеристики. Допустимый уровень нелинейных искажений значительно ниже, чем в обычных передатчиках. Это объясняется тем, что если среднее

значение огибающей амплитудно-модулированного сигнала не зависит от характера модулирующего сигнала и определяется амплитудой колебания несущей частоты, то среднее значение огибающей однополосного сигнала зависит от модулирующего напряжения и обычно заметно ниже среднего значения амплитудно-модулированного сигнала. В результате снижения среднего уровня сигнала усиление происходит на нижнем участке амплитудной характеристики каскадов передатчика, поэтому для предотвращения сильных искажений необходимо обеспечивать высокую линейность не только основной части амплитудной характеристики усилителя, но и ее начального участка (области низших частот). Получение высокой линейности начального участка амплитудной характеристики усилителя требует применения специальных активных элементов, имеющих линейный нижний участок статической характеристики выходного тока.

Полезным является использование шумоподавляющих устройств в приемном тракте и оптимизация параметров передающих систем повышением среднего уровня сигнала методом компрессии (сжатие динамического диапазона) или путем его ограничения. Компрессия или ограничение позволяют в несколько раз увеличить эффективную излучаемую мощность передатчика. Для получения малых нелинейных искажений, влияющих на разборчивость передаваемого сообщения, желательно применение ограничения не по низкой, а по высокой частоте.

Для передачи речи используют достаточную для этого исходя из критерия разборчивости полосу звуковых частот 0,3...3 кГц.

В процессе исследований, проведенных при создании аппаратуры связи «Донецк», были установлены аналитические зависимости характеристик приемного и передающего устройств связи от типа и характеристик направляющей. Так, в работе [4] показано, что коэффициент затухания радиосигналов в длинной направляющей в зависимости от частоты и проводимости горных пород находится в пределах от 0,4 до 1,2 Нп/км и линейно зависит от частоты в диапазоне 100...600 кГц.

Показано, что ЭДС

$$E = j\omega I a 2w \cos\theta / (2\pi r), \quad (1)$$

где j – единичный вектор;

ω – круговая частота, Гц;

I – ток в рамочной антенне, А;

a – радиус рамочной антенны, м;

w – количество витков в антенне;

θ – угол между рамочной антенной и направляющей, ...°;

r – расстояние от антенны до направляющей, м.

Анализ формулы (1) показывает, что ЭДС в направляющей обратно пропорциональна расстоянию и зависит от взаимного расположения

направляющей антенны, т.е. от угла θ . На основании эквивалентности покажем, что аналогичное выражение получается для определения напряжения U в контуре рамочной антенны в зависимости от тока I_n в направляющей:

$$U = -j\omega I_n a^2 w \cos\theta / (2\pi r).$$

Параметры электромагнитного поля (ЭМП) вычислены по формулам

$$H_{\max} = \frac{U_a}{2\pi f \mu_0 N S}; \quad (2)$$

$$\mathcal{E}H_{\max} = H_{\max}^2 T, \quad (3)$$

где H_{\max} – максимальная напряженность ЭМП, А/м;

$\mathcal{E}H_{\max}$ – энергетическая нагрузка, создаваемая ЭМП, (А/м)²·ч;

U_a – амплитудное напряжение на выходе рамочной измерительной антенны, В;

f – рабочая радиочастота, Гц;

μ_0 – магнитная постоянная, равная $1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м;

N – количество витков в измерительной антенне;

S – площадь витков измерительной антенны, м²;

T – время воздействия ЭМП в течение смены, ч.

Вывод. В результате проведенного анализа принципов построения и технических характеристик современных средств высокочастотной горноспасательной связи установлено, что наилучшие энергетические показатели достигаются за счет применения однополосной модуляции. Использование метода компрессии (сжатие динамического диапазона) позволяют получить высокую разборчивость речевых сигналов в области частот 0,3...3 кГц.

Применение более эффективных схемотехнических решений узлов стабилизации несущей частоты, линеаризации амплитудной характеристики усилительного тракта, разработанных на основе современных электронных компонентов, а так же увеличение чувствительности приемного тракта позволит улучшить такие эксплуатационные показатели аппаратуры, как помехоустойчивость, дальность связи, уменьшить нелинейные искажения в диапазоне частот речевых сигналов.

Список литературы / References

1. Громов, В.Б. УКВ – радиосвязь под землей: решение есть! / В.Б. Громов // Безопасность труда в пром-сти. – 1996. – № 10. – С. 33 – 35.

Gromov, V.B. *UKV – radiosvyaz' pod zemlyoy: resheniye yest'!* [USB – radio communication under the earth: the decision is!]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Labor safety in the industry*, 1996, no. 10, pp. 33 – 35.

2. Орлов, И.Я. Курс лекций по основам радиоэлектроники / И.Я. Орлов. – ННГУ. – Н. Новгород, 2005. – 169 с.

Orlov, I.Ya. *Kurs lektsiy po osnovam radioelektroniki* [Course of lectures on radio electronics grounds]. Nizhny Novgorod, NNGU Publ., 2005, 169 p.

3. Борисенко, А.В. Теория электрической связи. Ч. I / А.В. Борисенко. – СПб.: СПбГУТ; СПбГУИТМО, 2004. – 64 с.

Borisenko, A.V. *Teoriya elektricheskoy svyazi. Ch. I* [Theory of electric coupling. Part I]. Saint Petersburg, SPbGUT; SPbGUITMO Publ., 2004, 64 p.

4. Аппаратура высокочастотной связи при ведении горноспасательных работ в шахтах / С.Н. Смоланов, Н.В. Каледин, В.П. Выскубенко, А.Л. Костоманов // Уголь Украины. – 2003. – № 1. – С.37 – 39.

Smolanov, S.N., Kaledin, N.V., Vyskubenko, V.P., Kostomanov, A.L. *Apparatura vysokochastotnoy svyazi pri vedenii gornospasatel'nykh rabot v shakhtakh* [High-frequency communication equipment by carrying-out the mine-rescue operations in mines]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2003, no. 1, pp. 37 – 39.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Агеевым.
Дата поступления рукописи 19.07.2017

Pyotr Semyonovich Pashkovskiy, Dr. Sci. (Tech.), first deputy director on science;

e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Aleksandr Vitalyevich Chapkovich, scientific associate; e-mail: niiigd.osmas-2@mail.ru;

Nikita Grigoryevich Zinchenko, engineer; e-mail: niiigd.osmas-5@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) 332-78-04

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE HIGH-FREQUENCY MINE-RESCUE COMMUNICATION EQUIPMENT

Purpose. Determination of ways of improvement of operating characteristics of the high-frequency mine-rescue communication equipment with the use of guides as insulated conductors.

Methods. Study and analysis of the principles of construction and technical characteristics of the modern high-frequency mine-rescue communication equipment.

Results. The estimation of merits and demerits of the high-frequency mine-rescue communication equipment with the use of the amplitude modulation with one sideband is given.

Scientific novelty. The ways of improvement of the operating characteristics of the high-frequency mine-rescue communication equipment that permit to raise its interference immunity and distance, to diminish nonlinear distortions over the range of the data-in-voice frequencies are proposed.

Practical value. The results of the analysis may be the basis for further improvement of the circuit solutions of the high-frequency mine-rescue communication equipment.

Keywords: *single-sideband modulation; loop antenna; audio frequency band; nonlinear distortions; high-frequency communication.*

УДК [622.8-051:631.831.3]:[622.016.347:678.652'41'21]

*Владимир Алексеевич Канин, д-р техн. наук, завсектором; e-mail: vlkanin2@yandex.ru
Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела МОН ДНР
283004, Донецк, ул. Челюскинцев, 291. Тел. +38 071-368-06-21*

ЗАКРЕПЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель. Снижение аварийности и травматизма в угольных шахтах и рудниках по фактору «Обвалы и обрушения пород».

Методы. Химические связи, образующиеся при синтезе карбамидно-ангидридного тампонажного состава (СКАТ), устанавливали методом инфракрасной спектроскопии. При моделировании смещения разрушенных пород в полость выемочной выработки использованы методы конечных и дискретных элементов.

Результаты. Показано, что обвалы и обрушения пород являются основным фактором смертельного травматизма в угольной промышленности. Лучший способ повышения устойчивости пород – их физико-химическое закрепление.

Научная новизна. Установлены закономерности синтеза состава СКАТ и механизм сдерживания смещений пород в полость выемочной выработки при локальном закреплении горного массива.

Практическая значимость. Разработана рецептура скрепляющего состава СКАТ, который по усадке (0,6...2,1 %), прочности адгезии (3,5...5,4 МПа) и прочности на сжатие (45...65 МПа) сравним с лучшими зарубежными аналогами, обладая при этом меньшей вязкостью, токсичностью и стоимостью.

Ключевые слова: *безопасность горных работ; обвалы и обрушения пород; карбамидная смола; органический синтез; состав СКАТ; локальное закрепление массива.*

Постановка проблемы. В 1556 г. в Базеле был опубликован труд «De Re Metallica Libri XII». Этой работой Георгий Агрикола заложил научные основы горного дела с элементами охраны труда и промышленной санитарии. Рассматривая вопросы рудничного травматизма, он выделил пять основных причин гибели горняков: *«рудокопы гибнут от пагубного воздуха; чахнут от пыли; погибают, задавленные горными обвалами; ломают руки и ноги при спусках в копи; тонут при прорывах воды в рудники»* (Агрикола Г.О. О горном деле и металлургии в 12 книгах (главах). М: Недра, 1986. С. 6). Но из всех этих причин настоящим бичом в те времена были обвалы и обрушения пород. В том же труде описан случай, происшедший в 1376 г. в руднике Нижней Силезии, когда при обрушении пород на большой площади погибли 400 рабочих.

По мере развития горного дела, роста добычи угля и глубины работ горняки начали подвергаться новым опасностям, связанным с пожарами, взрывчатыми веществами, взрывами газа и другими, о которых в эпоху Агриколы еще не знали. Тем не менее экскурс в историю развития горного дела показывает, что во все времена и во всех угледобывающих странах обрушения пород в шахтах и рудниках по абсолютному количеству смертельных случаев являлись и являются основным травмирующим фактором.

В 1864 г. в шахтах Англии при годовой добыче 93 млн т погибли 867 человек: от обрушений породы 45,6 %; от взрывов газа 10,8 %. Через 30 лет, в 1894 г. в той же Англии при добыче 180 млн т угля погибли 1055 человек: от обрушений породы 43,3 %; от взрывов газа 30 %. В шахтах Пруссии с 1891 по 1895 г. при средней добыче 73 млн т в год погибли 3270 человек (в среднем – 654 человека в год): от обрушений пород 37 %; в бремсбергах и в стволах 22,5 %; от взрывов газа 13,3 %; при взрывных работах 4,8 %.

Динамика распределения по годам и странам среднего индекса смертельных случаев (отношения числа погибших горняков на 1000 подземных рабочих) в XIX в. отражена в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения индексов смертельных случаев в угольных рудниках Европы

Страна	Годы	Индексы смертельных случаев по травмирующим факторам				
		Обвалы и обрушения породы	Взрывы газа	Взрывные работы	В стволах	По разным причинам
Бельгия	1861...1865	1,11	0,62	0,07	0,93	–
	1881...1885	0,95	0,59	0,09	0,09	–
	1896...1900	0,65	0,13	0,03	0,18	–
Англия	1873...1882	1,12	0,65	–	0,32	0,47
	1899	0,75	0,09	–	0,12	0,41
Франция	1850...1857	2,2	0,68	0,18	1,31	0,4
	1863...1870	1,48	0,92	0,1	0,92	–
	1891...1900	0,58	0,09	0,06	0,45	0,22

Приведенные числа отчетливо показывают, как на протяжении XIX в. в угольных шахтах происходило уменьшение количества несчастных случаев. При одновременном росте добычи угля это никаким другим образом не может быть объяснено, как только улучшением условий труда. Прогресс в освещении и проветривании шахт, постоянная модернизация предохранительных ламп, взрывчатых веществ и технологии работ в значительной степени уменьшили количество несчастных случаев. Но забота о сохранении крепления выработок в надлежащем виде была предоставлена самим рабочим при недостаточном надзоре со стороны руководителей работ и контролирующих органов.

В XX в. снижение смертельного травматизма в угольных шахтах продолжилось. Но соотношение аварий по факторам травматизма практически

не изменилось. В 1920 г. на шахтах Пруссии при добыче 130 млн т погибли 1683 человека: от обрушений породы 35,6 %; в наклонных выработках 23,3 %; от взрывов газа 6,9 %. В том же году в США при добыче 450 млн т погибли 2126 горняков: от обрушений породы 54,2 %; на подземном транспорте 19,4 %; при взрывах газа 17,5 %. В СССР в 1926/1927 г. при добыче 32 млн т угля произошло 70 смертельных случаев: от обрушения пород 42,4 %; при откатке и доставке 19,3 %; при падениях в выработки 10,9 %. На шахтах Украины с 1991 по 2009 г. при средней добыче 88,6 млн т в год погибли 4064 человека (в среднем 214 человек в год): от обрушений породы 23,8 %; на шахтном транспорте 23,1 %; от взрывов газа 18,5 %. В Российской Федерации в 2011 г. на 109 шахтах с объемом добычи 100 млн т погибли 46 человек: 28,3 % – от обрушений породы; 23,9 % – на подземном транспорте.

Анализ условий регистрации смертельного травматизма от обрушений породы показывает, что подавляющее большинство этих случаев происходит, за редким исключением, не при массовых обвалах, а в обычных ситуациях – при возведении постоянной или временной крепи и в процессе перекрепления выработок, т. е. в условиях, когда неустойчивая кровля лишается поддержки. Это подтверждается и тем, что основными местами аварий при обрушениях пород являются [1]:

- сопряжения очистных и подготовительных забоев при передвижении конвейерных «головок», выкладке бутовых полос и выемке ниш (51 %);
- подготовительные забои при их оформлении и уборке породы (18 %);
- пространство за комбайном перед задвиганием конвейера (13 %);
- места передвижения вручную посадочных стоек и тумб (8 %);
- места перекрепления горных выработок (6 %).

Анализ последних исследований. Мировой опыт показал, что лучшим способом предотвращения обрушений пород в рассмотренных условиях является их физико-химическое закрепление. Впервые такой способ был апробирован в 1896 г. на шахте «Райн Прайсен» (Германия) при заполнении трещин в кровле выработки цементным раствором. Позднее было установлено, что наиболее универсальны растворы на основе полимерных смол, которые имеют низкую вязкость, а при реакции с отвердителем превращаются в большие макромолекулы, твердеющие с адгезией к горным породам. Наилучшая адгезия (3,5 МПа) была у полиуретановых составов. Они хорошо проявили себя во многих странах и широко использовались в Донбассе в 1980-х и 1990-х годах. Но, наряду с высокой адгезией и скоростью отверждения, эти составы имели низкую прочность на сжатие (0,5...1,2 МПа). Поэтому их применение рационально в случае необходимости быстрого закрепления пород, не подвергающихся в дальнейшем большому нагружению. Кроме того, входящий в их состав полиизоцианат является токсичным веществом 2-го класса, которое раздражает дыхательные пути и может вызывать хронические заболевания легких. Полиуретан также относится к горючим веществам и при толщине слоя более 5 см не исключена возможность его самовозгорания.

В 70-х годах для закрепления пород применяли и карбамидные составы, которые были значительно дешевле полиуретановых. Но они имели множество недостатков, а попытки улучшить их качество до уровня зарубежных аналогов путем внесения различных добавок к положительным результатам не привели. Это связано с тем, что карбамидные смолы модифицировали в то время исключительно кислотными растворами. Синтез карбамидного полимера сопровождался превращением метиленэфирных связей в метиленовые, что приводило к интенсивному выделению формальдегида, а следовательно, к увеличению токсичности, усадки и растрескивания материала в процессе его полимеризации. Твердый карбамидно-кислотный полимер содержал также от 10 до 25 % воды в диспергированном состоянии, испарение которой являлось еще одной причиной его усадки.

Цель исследования. Разработка качественного скрепляющего состава (геоклея) на основе карбамидной смолы для снижения аварийности и травматизма в угольных шахтах по фактору «Обвалы и обрушения пород».

Результаты исследований. Для получения геоклея с высокими эксплуатационными качествами за основу была принята смола КФ-МТ-15, удовлетворяющая требованиям евростандарта по доле остаточного формальдегида (менее 0,15 %), а для ее отверждения вместо кислотного раствора впервые был использован жидкий изо-метил-тетрагидрофталевый ангидрид (изо-МТГФА).

Исследования механизма синтеза нового полимера выполняли путем изучения теплового эффекта реакции, определения потери массы полимерной смеси при отверждении и установления образовавшихся химических связей методом инфракрасной спектроскопии. По результатам этих исследований установлено следующее.

При синтезе карбамидно-ангидридного полимера, названного СКАТ, изо-МТГФА является активным центром, формирующим большие агрегаты молекул, которые посредством метиленовых мостиков и амидных связей «сшиваются» в нерастворимый, твердый полимер трехмерной структуры [2]. Ионы COO^- карбоксильных групп при синтезе СКАТ вступают в межфазную водородную связь с молекулами воды, увеличивая их притяжение к поверхности полимера. Преобладание в СКАТ сложных эфиров и небольшая доля слабых метиленэфирных связей, выделяющих при разложении формальдегид, существенно снижают его токсичность и усадку. Увеличение количества метиленовых групп, которые сшивают макромолекулы в сетчатую структуру с плотными поперечными связями, значительно повышает прочность и термостойкость СКАТ. Высокая адгезия СКАТ к горным породам определяется большой долей функциональных групп, способных к образованию межфазных химических связей.

СКАТ обладает высокой проникающей способностью за счет низкой вязкости и полимеризуется в средах различной степени влажности. Время его желатинизации 24...40 мин. Через 2...3 ч после начала реакции прочность

отвержденного продукта на сжатие 10...12 МПа, через сутки 32...44 МПа, через 10 суток более 65 МПа. Конечная усадка 0,6...2,1 %. Адгезионная прочность в зависимости от литологического состава пород 3,5...5,4 МПа. По этим качествам состав СКАТ конкурирует с лучшими зарубежными аналогами (табл. 2), но его стоимость в 2...3 раза ниже.

Таблица 2

Сравнение качества СКАТ и зарубежных скрепляющих составов

Состав, разработчик	Основа состава	Прочность, МПа		Вязкость компонентов, МПа·с	
		адгезии	на сжатие	А	Б
ППУ-328, «Полимерсинтез», Россия	Полиуретан	2,02	3...5	350...400	900...1100
Беведол S - Беведан, Carbo-Tech, Германия		1,32	2	380...460	200...250
Випур, Willich, Германия		–	2...3	410...510	150...250
Вилькит, Willich, Германия	Органо-неральная	3,5	60,0	800...1100	180...300
Беведол ОМ - Беведан, Carbo-Tech, Германия		2,5	54	1400...1500	200...250
ГСД-9, ТС-10, Россия	Фенолформальдегидная	0,4...0,6	12...14	–	–
Бевефилл, Carbo-Tech, Германия		–	8...10	1300...2500	14
Вильфлекс-1, Willich, Германия		–	20	–	–
КФ-Ж + FeCl ₃ , Россия	Карбамидо-формальдегидная	0,7...0,9	6...10	200...350	20
КФ-Ж + ПВА + Н ₃ РО ₄ , Россия		1,3...1,6	9...11	200...350	20
КФ-Ж + ПИЦ, Россия		1,2...2,3	25	200...350	350...450
СКАТ, РАНИМИ, ДНР		3,5...5,4	50...65	180...320	50...120

Образцы раздробленных пород с 5 % СКАТ закрепляют до 0,73...0,78 $\sigma_{сж}$ ненарушенных образцов, а при использовании карбамидно-кислотных составов этот уровень не превышает 0,5 $\sigma_{сж}$, при минимальных значениях 0,27 $\sigma_{сж}$. По пожарной опасности СКАТ относится к группе трудногорючих материалов, а по основным факторам воздействия на человека – к веществам 4-го класса токсичности. На основании этого он допущен к широкому промышленному применению.

Закрепление неустойчивых пород по обычной технологии требует, как правило, большого расхода скрепляющего состава. Поэтому немаловажным

вопросом в угольной промышленности является оптимизация затрат на закрепление пород при сохранении требуемого уровня безопасности работ. Задача выбора конфигурации и мест расположения участков локального закрепления массива, при которых можно получить максимум эффекта и затратить минимум скрепляющего состава, решалась методом дискретных элементов [3], который позволяет исследовать деформирование массива как непрерывный процесс, начиная с упругой стадии и заканчивая падением разрушенной породы на почву выработки. Исследовали четыре варианта охраны выработки на участке ее сопряжения с очистным забоем при различной площади закрепления породы S в долях от исходной площади выработки в свету $S_{св}$ (рис.1).

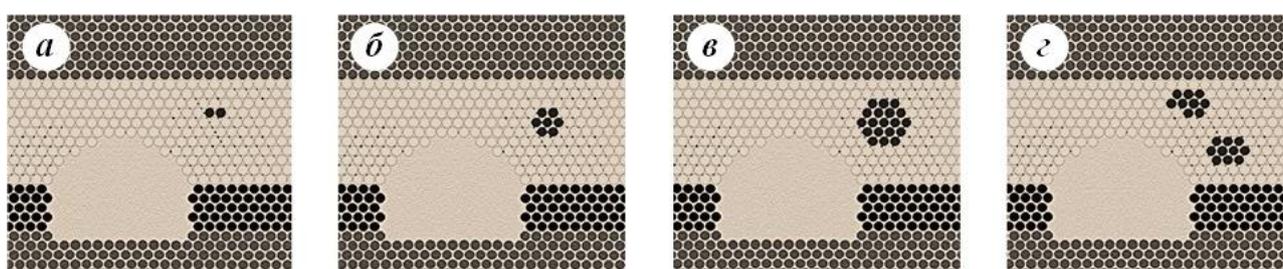


Рис. 1. Расположение зон локального закрепления массива вокруг контура выемочной выработки в зоне влияния очистных работ (50000 цикл):

a – вариант № 1 (2 элемента) $S = 0,016S_{св}$; $б$ – вариант № 2 (7 элементов) $S = 0,055S_{св}$;
 $в$ – вариант № 3 (19 элементов) $S = 0,15S_{св}$; $г$ – вариант № 4 (две зоны из 9 и 10 элементов)
 $S_1 = 0,071S_{св}$; $S_2 = 0,079S_{св}$

В целом результаты выполненных исследований показали, что на 250000 цикле моделирования (в створе с лавой) при принятой площади закрепляемых участков разрушение массива не предотвращается. Но закрепленные блоки, имея более высокую (в 1,5 раза) прочность, чем окружающий массив, дольше сохраняют свою целостность среди разрушенной массы, уменьшают степень подвижности образовавшихся обломков, содействуют их самозаклиниванию и тем самым сдерживают перемещение разрушенных пород в полость выработки.

Эффективность локального закрепления вмещающих пород зависит от площади и местоположения закрепленных участков (рис. 2).

Наилучший результат по сохранению выработки в исследованных условиях достигается при варианте № 3, но при этом плохо сохраняется участок кровли, под которым после выемки угля устанавливается охранная крепь [4]. Несколько худший по сохранению выработки – вариант № 4, но при нем лучше сохраняется нижний слой непосредственной кровли. В целом же следует отметить, что разделение закрепленного участка большого размера на несколько зон равновеликой площади может приводить к более весоному результату, так как разнесение закрепленных зон в пространстве эффективнее снижает степень подвижности разрушенных пород. Это видно по тому, как

темпы уменьшения площади остаточного сечения выработки при вариантах № 3 и 4 попеременно меняют свои значения. Поэтому задачей дальнейших исследований является подбор такого сочетания количества закрепленных участков, их площади и конфигурации, при которых будут максимально уменьшены боковые смещения массива и обеспечена лучшая сохранность свода выработки и участка непосредственной кровли, под которым устанавливают охранные крепежные конструкции.

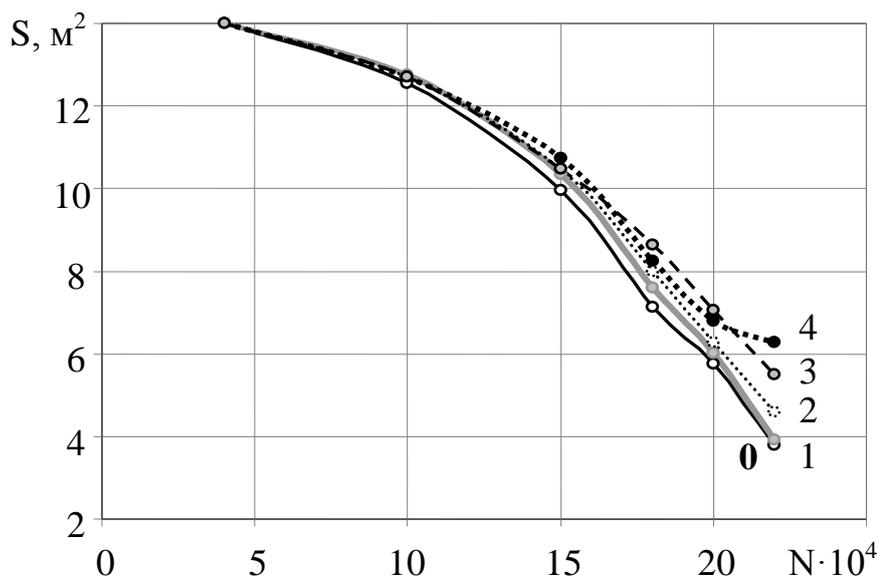


Рис. 2. Изменение площади остаточного сечения штрека S в зависимости от количества циклов моделирования N при различных вариантах локального закрепления породы:

0 – без закрепления пород; 1 – вариант № 1; 2 – вариант № 2;
3 – вариант № 3; 4 – вариант № 4

Выводы

1. Обвалы и обрушения пород – основной фактор смертельного травматизма в угольной промышленности.
2. Наилучшим способом предотвращения обрушений пород, при прочих равных условиях, является их физико-химическое закрепление.
3. Полимер СКАТ, образующийся при отверждении карбамидной смолы изо-МТГФА, является относительно дешевым, малотоксичным и трудногорючим геоклеем, обладающим повышенной прочностью (45...65 МПа), высокой адгезией к породам (3,5...5,4 МПа) и небольшой усадкой (0,6...2,1 %).
4. Для практической реализации СКАТ разработана и утверждена техническая документация.
5. При моделировании разрушения породного массива методом дискретных элементов получено положительное решение задачи о возможности его локального упрочнения, что позволяет сократить затраты на охрану выработок, обеспечивая требуемый уровень безопасности горных работ.

Список литературы / References

1. Левкин, Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины: монография / Н.Б. Левкин. – Макеевка: МакНИИ, 2002. – 392 с.

Lyovkin, N.B. *Predotvrashcheniye avariy i travmatizma v ugol'nykh shakhtakh Ukrainy: monografiya* [Prevention of accidents and injury rate in coal mines of the Ukraine: monograph]. – Makeyevka, MakNII Publ., 2002. – 392 p.

2. Канин, В.А. О механизме отверждения карбамидной смолы изометилтетрагидрофталевым ангидридом / В.А. Канин, А.В. Пашенко // Полимерный журнал. – 2007. – XXIX, № 3. – С. 208 – 213.

Kanin, V.A., Pashchenko A.V. *O mekhanizme otverzheniya karbamidnoy smoly izometiltetragidroftalevym ангидридом* [On the mechanism of curing of carbamide resin with isomethyltetrahydrophthalic anhydride]. *Polimernyy zhurnal – The polymeric journal*, 2007, vol. XXIX, no. 3, pp. 208 – 213.

3. Моделирование развития зон разрушений вокруг подготовительной выработки методом дискретных сред / В.В. Назимко, А.А. Лаптев, С.В. Напрасников, В.А. Сугаков, В.П. Сажнев // Физика и техника высоких давлений. – 1999. – Т. 9, № 3. – С. 51 – 54.

Nazimko, V.V., Laptev, A.A., Naprasnikov, S.V., Sugakov, V.A., Sazhnev, V.P. *Modelirovaniye razvitiya zon razrusheniy vokrug podgotovitel'noy vyrabotki metodom diskretnykh sred* [Modeling the development of zones of destruction around the development working by the discrete media method]. *Fizika i tekhnika vysokikh davleniy – Physics and technics of high pressures*, 1999, vol. 9, no. 3, pp. 51-54.

4. Канин, В.А. Анализ напряженного состояния вокруг пластовой выемочной выработки, охраняемой искусственными опорами, в зависимости от прочности пород и материала опоры / В.А. Канин // Проблемы горного давления: сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Вып. 14. – С. 112 – 128.

Kanin, V.A. *Analiz napryazhennogo sostoyaniya vokrug plastovoy vuyemochnoy vyrabotki, okhranyayemoy iskusstvennymi опорami, v zavisimosti ot prochnosti porod i materiala opory* [Analysis of the stress state around the seam excavation working protected by artificial supports depending on the strength of rocks and material of the support]. *Sb. nauch. trudov „Problemy gornogo davleniya”* [Collection of scientific papers “Problems of rock pressure”]. Donetsk, DonNTU, 2006, issue 14, pp. 112 – 128.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук И.В. Антиповым
Дата поступления рукописи 09.01. 2018

Vladimir Alekseyevich Kanin, Dr. Sci. (Tech.), head of sector; e-mail: vlkanin2@yandex.ru
The Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying of the Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic
283004, Donetsk, 291, ulitsa Chelyuskintsev. Phone (+38 071) 368-06-21

STRENGTHENING THE UNSTABLE ROCKS

Purpose. Lowering the accident and injury rate in coal mines and pits by the factor “Collapses and failures of the rocks”.

Methods. The chemical bonds forming by the synthesis of the carbamide anhydride bridging composition (CKAT composition) were established by means of the infrared spectroscopy method. When modeling the displacement of the rocks destructed into the hollow of the working being mined the methods of finite and discrete elements were used.

Results. It is shown that the collapses and failures of the rocks are the main factor of the deadly traumatism in the world coal industry. The best way to increase the stability of the rocks is their physico-chemical strengthening.

Scientific novelty. The regularities of the synthesis of the CKAT composition and the deterrence mechanism of the displacements of the rocks into the hollow of the working being mined were ascertained by the local strengthening of the massif.

Practical value. The formulation of the fastening CKAT composition that is comparable to the best foreign analogues by shrinkage (0.6...2.1 %), adhesion strength (3.5...5.4 MPa) and compression strength (45...65 MPa) was worked out. It possesses the lesser viscosity, toxicity and cost.

Keywords: *safety of mining operations; collapses and failures of rocks; carbamide resin; organic synthesis; CKAT composition; local strengthening of the massif.*

УДК [614.894.43:001.891.571]:531.753

Виталий Дмитриевич Иващенко, канд. техн. наук, проф.; e-mail: rpm@mine.donntu.org

Донецкий национальный технический университет. Институт горного дела и геологии
283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38 062) 337-17-33;

Артем Игоревич Потапенко, инж. I кат.; e-mail: niigd.oszd-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) 332-78-57

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ МНОГОМЕРНЫХ ФИГУР МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ

Цель работы. Выбор и обоснование нетрудоемкого и простого метода определения площадей пожаров, затоплений, гофрированных изделий, сооружений, породных отвалов.

Методика. По результатам анализа информационных материалов, изучения нетрадиционных методов определения площадей многомерных и плоских фигур сложной конфигурации и их экспериментальных исследований был выбран метод взвешивания. На основе этого метода разработана методика определения площадей многомерных и плоских фигур сложной конфигурации.

Результаты. Разработанная методика позволила исключить или минимизировать недостатки известных и широко распространенных методик, использующих другие методы, которые часто применяют в геодезии.

Научная новизна. Разработанная методика базируется на косвенном методе определения искомой площади на основании известной зависимости, связывающей ее с другими величинами, которые определяют прямыми измерениями с малыми погрешностями. В ее основе лежит метод сравнения путем взвешивания измеряемой массы (многомерной или плоской фигуры сложной конфигурации) и известной массы (условно выбранной за единичную массу) на равноплечных аналитических весах с заданной погрешностью.

Практическая значимость. Определена эффективная площадь гофрированного фильтра (многомерная фигура) и бинокулярного поля зрения работающего в средстве индивидуальной защиты (плоская фигура сложной конфигурации). Методика прошла апробацию на нескольких десятках испытателей, работающих в противопоылевых респираторах различных моделей, и при проведении исследований по разработке новых средств индивидуальной защиты, средств измерений малых давлений (разрежений) на базе сильфонов и мембран и подтвердила хорошую сходимость и воспроизводимость результатов измерений в пределах 96...97 %. Методика применима для определения площадей лесных, лесостепных и других видов пожаров, в том числе в зданиях и сооружениях, или затоплений в период наводнений, в результате аварийных ситуаций. Для этого используют данные аэрофотосъемки. Предварительно вырезанный участок местности с пожаром, затоплением или другого объекта аэрофотосъемки в масштабе, соответствующем масштабу географической карты местности, накладывают на нужный участок карты (плана сооружения) и по процедуре, описанной в методике, определяют искомый параметр. Методику можно применять не только для определения площадей горящих породных отвалов, но и распределения температур в них, используя данные приборов инфракрасного излучения.

Ключевые слова: площадь; многомерная фигура; пожар; методика; взвешивание; масса; фильтр; сильфон; мембрана.

Постановка проблемы. Решение ряда задач по определению площадей плоских фигур представляет собой длительный и трудоемкий процесс. Для этой цели применяют аналитический, графический методы, а также метод

палетки. Однако все эти методы неприменимы или их использование приводит к большим затруднениям определения площадей многомерных фигур или плоских фигур сложной конфигурации. К таким многомерным фигурам относятся гофрированные изделия, в частности фильтры противопылевых респираторов, сиффоны, мембраны.

Анализ последних исследований. При использовании аналитического и графического методов исходными данными для вычисления площадей плоских фигур являются измеренные углы и линейные размеры простейших плоских фигур (треугольников, квадратов, прямоугольников, окружностей и т.п.), на которые разбита измеряемая фигура. Общую площадь измеряемой плоской фигуры определяют как сумму вычисленных площадей простейших фигур. На точность влияют погрешности измерения углов и линейных размеров простейших фигур. Основным недостатком метода – длительность и трудоемкость вычислений [1 – 3].

Метод палетки менее трудоемкий. Суть его состоит в том, что на сетку с малыми ячейками, представляющими стороны квадрата заданной единичной площади, накладывают контур измеряемой плоской фигуры. Площадь такой фигуры определяют как сумму площадей полных и неполных квадратов. При этом количество неполных квадратов оценивают на глаз, а площадь неполного квадрата определяют как часть полного. Ошибка при определении площади плоской фигуры значительно больше, чем при определении аналитическим или графическим методом, хотя трудоемкость меньше.

Значительно менее трудоемким является механический метод определения площадей плоских фигур с помощью планиметра. Определение площади осуществляется в соответствии с инструкцией или руководством по эксплуатации инструмента. Точность определяется ценой деления применяемого планиметра и, как правило, выше, чем при определении другими методами. Следует отметить, что наибольшие относительные ошибки получаются при определении малых площадей [1 – 3].

Потребность в определении площадей многомерных фигур возникла при разработке средств индивидуальной защиты органов дыхания человека от пыли и средств измерений малых давлений (разрежений), используемых для определения сопротивлений дыханию работающих в дыхательных аппаратах.

Это касалось определения эффективных площадей фильтров противопылевых респираторов, определения полей зрения работающих в средствах индивидуальной защиты (масках, полумасках, панорамных масках, капюшонах). Воспроизводимость и сходимость результатов измерений эффективных площадей фильтров противопылевых респираторов аналитическим, графическим, механическим методами и методом палетки приводили к расхождению до 18...20 %. Такая точность недостаточна при оценке конструкций различных моделей противопылевых респираторов при проведении сравнительных испытаний.

Конструктивно фильтры противопылевых респираторов представляют собой трехмерную гофрированную конструкцию из фильтровального материала одинаковой толщины. Заготовка фильтровального материала, в одном случае, представляет собой часть круга, из которого сформирован конус, а в дальнейшем формируют гофры заданного размера. В другом случае, заготовка представляет собой квадрат или прямоугольник, из которых формируют гофры в двух направлениях и заданной высоты. Площади конусной или прямоугольной заготовок, представляющих собой простейшие плоские фигуры, рассчитывают просто по известным геометрическим формулам.

Эффективная площадь представляет собой ту часть фильтровальной поверхности, которая участвует в задержании пыли. Визуально она представляет собой запыленную часть фильтра. Тщательно развернуть фильтр после запыления для определения его эффективной площади проблематично из-за остаточных деформаций после гофрирования и физико-механических свойств фильтровального материала, обладающих свойством удлинения. Это исключает применение вышеуказанных методов определения его площади.

Аналогичные трудности возникают и при определении эффективной площади фильтра, гофрированного в двух плоскостных направлениях и по высоте. Эти же трудности характерны и для мембран, сильфонов, которые после гофрирования изменяют свои линейные размеры.

Все перечисленные трудности привели к необходимости выбора иного метода и на его основе разработки методики, позволяющей исключить или минимизировать все вышеупомянутые недостатки и обеспечивающей точность измерений не хуже, чем в известных методах определения площадей плоских фигур, при определении площадей многомерных фигур и плоских фигур сложных конфигураций.

Цель исследований – определение площади пожара, затопления, запыления фильтра, сильфона, мембраны методом взвешивания.

Материалы и результаты исследований. В основу разработанной методики положен косвенный метод определения искомой площади на основании известной зависимости, связывающей ее с другими величинами, которые определяют прямыми измерениями с малыми погрешностями. В основу методики положен метод сравнения масс путем взвешивания измеряемой массы (многомерной фигуры) и известной массы (условно выбранной за единичную) на равноплечных аналитических весах.

Таким образом, искомую величину $S_{иск}$, m^2 (площадь трехмерной фигуры, площадь бинокулярного зрения человека или другого параметра изделия), определяют по формуле

$$S_{иск} = \Delta S M / m, \quad (1)$$

где ΔS – условная единичная площадь, м²;

M – масса искомой измеряемой величины, кг;

m – масса условной единичной площади, кг.

Рассмотрим пример определения площадей гофрированного фильтра противопылевого респиратора Ф-62 и бинокулярного поля зрения, работающего в нем.

Фильтр противопылевого респиратора, представляющий собой круглую гофрированную трехмерную конструкцию, освобождают от элементов, непосредственно не относящихся к фильтрующему материалу, и каркасной подложки. Освобождают от пыли, скопившейся в процессе его работы на внешней поверхности, путем встряхивания. Вырезают незапылённые участки фильтра, а оставшуюся часть (запыленную) взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Затем вырезают элемент запыленного фильтровального материала вместе с каркасной подложкой в виде квадрата с размерами 20×20 или 30×30 мм, который принимают за условную единичную площадь, взвешивают на тех же аналитических весах с той же точностью. Искомую площадь находят по формуле (1). Погрешность измерения определяют классом аналитических весов и погрешностью линейных размеров условной единичной площади. Реальная эффективная площадь фильтра – не менее чем на 15 % меньше площади фильтровального материала, используемого для изготовления фильтра противопылевого респиратора – заготовки.

К преимуществам этой методики, наряду с простотой и меньшей трудоемкостью, следует отнести то, что исключено изменение эффективной площади вследствие остаточной деформации, связанной с процедурой гофрирования и растяжением волокон фильтровального материала.

Значительно упрощаются расчеты по определению монокулярных и бинокулярного полей зрения человека, работающего в средствах индивидуальной защиты, и представляющих собой плоские фигуры сложных конфигураций.

Определение полей зрения достаточно полно описано в работе [4]. Заключительный этап – определение площадей бинокулярного зрения работающего в средстве индивидуальной защиты и без него проводят в соответствии с разработанной методикой путем взвешивания вырезанных конфигураций полей на аналитических весах по процедуре, описанной выше, с последующим расчетом по формуле (1). Разность масс площадей бинокулярных полей зрения человека без средства индивидуальной защиты и в нем и выраженная в процентах по отношению к массе площади бинокулярного зрения человека без средства индивидуальной защиты характеризует ограничение поля зрения. Эта характеристика наряду с эффективной площадью фильтра – одна из важнейших характеристик защитного средства (см. таблицу).

Результаты определения ограничения поля зрения работающего в средстве индивидуальной защиты и эффективной площади фильтра для различных моделей противопылевых респираторов

Параметр	Модель респиратора			
	Ф-62Ш	«Астра-2»	РПУ-3	ПР-2
Общая площадь фильтра, см ²	582,0±5,4	565,0±6,1	963,0±6,8	1024,0±7,3
Эффективная площадь фильтра, см ²	422,0±4,6	381,6±4,4	826,0±7,8	810,7±6,4
Ограничение бинокулярного поля зрения, %	14,0±1,0	26,0±2,1	18,9±0,5	73,1±0,6

Аналогично описанной процедуре определяют эффективную площадь мембран, полезный объем сильфонов с учетом поправки, учитывающей исключение из массы общей площади той ее части, которая относится к элементам крепления. В качестве масс условных единичных площадей можно использовать справочные данные для материалов, из которых изготовлено изделие.

Разработанная методика прошла апробацию на нескольких десятках испытателей, работающих в средствах индивидуальной защиты различных моделей в процессе сравнительных испытаний и при проведении научных исследований по разработке новых моделей средств индивидуальной защиты и приборов для измерений малых значений давления (1...1000 Па), и подтвердила высокую сходимость и воспроизводимость результатов измерений. Эта методика может быть применена для определения площадей лесных, лесостепных и других видов пожаров, горящих зданий, сооружений или затоплений в период наводнений и в результате других аварийных ситуаций. Для этого необходимо использовать данные аэрофотосъемки. Предварительно вырезанный участок местности пожара или затопления из общего аэрофотоснимка в масштабе, соответствующем масштабу географической карты местности (плана здания, сооружения), накладывают на соответствующий участок карты или схему сооружения и по процедуре, описанной в методике, определяют искомый параметр.

Выводы. Разработана методика определения площадей многомерных фигур, площадей плоских фигур сложной конфигурации взвешиванием. Может быть использована при определении площадей не только фильтров противопылевых респираторов, сильфонов, мембран, но и для определения площадей лесных, лесостепных и других видов пожаров, горящих зданий, сооружений, породных отвалов, включая распределение температур на них, с помощью приборов инфракрасного излучения.

Список литературы / References

1. Киселев, М.И. Инженерная геодезия / М.И. Киселев, Д.И. Михелев. – М.: Академия, 2007. – 480 с.
Kiselyov, M.I., Mikhelyev, D.I. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering land surveying]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 480 p.
2. Тарбаев, В.А. Геодезия с основами землеустройства / В.А. Тарбаев, Р.Р. Гафуров, Л.М. Хончева. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2008. – 67 с.
Tarbayev, V.A., Gafurov R.R., Khoncheva, L.M. *Geodeziya s osnovami zemleustroystva* [Land surveying with the grounds of land management]. Saratov, Saratovskiy GAU Publ., 2008, 67 p.
3. Куштин, И.Ф. Инженерная геодезия / И.Ф. Куштин, В.И. Куштин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 416 с.
Kushtin, I.F., Kushtin, V.I. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering land surveying]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2002, 416 p.
4. Потапенко, И.А. Эксплуатационные показатели противопылевых респираторов / И.А. Потапенко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2003. – С. 77 – 84.
Potapenko, I.A. *Ekspluatatsionnyye pokazateli protivopylevykh respiratorov* [Performance indices of dust masks]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2003, pp. 77 – 84.

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Агеевым.
Дата поступления рукописи 15.09.2017*

Vitaly Dmitriyevich Ivashchenko, Cand. Sci. (Tech.), prof.; e-mail: rpm@mine.donntu.org

The Donetsk State Technical University. Institute of Mining and Geology

283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 337-17-33;

Artyom Igorevich Potapenko, engineer of the 1st category; e-mail: niigd.oszd-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) 332-78-57

METHODOLOGY OF DETERMINATION OF AREAS OF MULTIDIMENSIONAL FIGURES WITH THE WEIGHTING METHOD

Purpose. Choice and substantiation of the non-labor-intensive and simple method of determination of the area of fires, submersions, corrugated goods, installations, rock dumps.

Methods. According to results of the analysis of information materials, study of the non-traditional methods of determination of the areas of multidimensional and flat figures of the complicated configuration

and their experimental investigations the weighting methods was chosen. The methodology of determination of areas of the multidimensional and flat figures of the complicated configuration has been worked out on the basis of this method.

Results. The methodology worked out permitted to eliminate or to minimize the disadvantages of the known and widely held methods using other methods that are often applied in the geodesy.

Scientific novelty. The methods worked out are based on the indirect method of determination of the required area on the ground of the dependence known connecting it with other values that are determined by means of direct measurements with minute errors. The method of comparison by means of weighting the measurable mass (of the multidimensional or flat figure of the complicated configuration) and of the mass known (that is conditionally chosen as the unit mass) on the equal-arm analytical balance with the error specified is their basis.

Practical value. The effective area of a corrugated filter (multidimensional figure) and of the binocular visual field of a man working in a personal protection means (flat figure of the complicated configuration) was determined. The methods received approval with the participation of several scores of testers working in dust respirators of various models and by carrying-out the investigations on development of new protection means, means of measurements of low pressures (depressions) on the base of bellows and membranes and confirmed the good convergence and reproducibility of the measurement results within the limits of 96...97 %. The methods are applicable to determine the areas of forest, forest-steppe and other fires including the fires in buildings and structures, or the submersions in the period of the floods as a result of emergencies. The aerial photography data are used for this purpose. One put in the ground with fire, submersion or other aerial photography object cutout beforehand which scale corresponds to the scale of the geographic ground map on the necessary scale of the map (structure plan). The required parameter is determined then according to the procedure described in the methods. The methods may be applied not only for determination of the areas of burning rock dumps but also for distribution of the temperatures in them using the data of infrared radiation devices.

Keywords: *area; multidimensional figure; fire; methods; weighting; mass; filter; bellows; membrane.*

III. Охрана труда и экологическая безопасность

УДК 622.333:504.5

Владимир Григорьевич Агеев, д-р техн. наук, директор; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;
Сергей Семенович Гребёнкин, д-р техн. наук, ведущий науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru ;
Евгений Валентинович Кравченко, канд. эконом. наук, заваспирантурой;
e-mail: evgenijkravchenkov39@mail.ru;
Дмитрий Сергеевич Буряк, науч. сотр.; e-mail: buryak_ds@rambler.ru
Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела,
пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-69

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Цель. Разработка методологического подхода к эффективному использованию невозобновляемых природных ресурсов.

Метод. Аналитическое обобщение основных направлений и перспектив комплексного рационального использования природных ресурсов.

Результаты. Разработаны рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности использования невозобновляемых природных ресурсов: создание замкнутой системы на основе ресурсосберегающей и экологически сбалансированной технологии; извлечение из добытого сырья различных минеральных полезных ископаемых для дальнейшего применения; использование отходов производства.

Практическая значимость. Обоснованы эколого-экономические решения, необходимые при отработке угольных месторождений подземным способом.

Ключевые слова: экология; экономика; проблемы; невозобновляемые природные ресурсы; методологический подход; эффективность; рекомендации.

Постановка проблемы. Одна из фундаментальных проблем современного развития общества – экологизация деятельности промышленных комплексов. Она решается через систему организационно-технических мероприятий, инноваций, реструктуризацию сферы производства и потребительского спроса, рационализацию природопользования, трансформацию природоохранной деятельности на различных уровнях.

На макроуровне приоритетна структурная перестройка природно-продуктовой вертикали экономики, на микроуровне – малоотходные технологии, ресурсосбережение, внедрение систем сохранения окружающей природной среды на предприятиях.

Рассматривая основные понятия в области экологии и ресурсопользования, различают природные условия и природные ресурсы. Природные ресурсы делятся на металлические, неметаллические, горючие, гидроминеральные.

В последнее время особое внимание уделяется минеральным ресурсам Мирового океана – рудоносным жилам, пластам континентального шельфа, железомарганцевым конкрециям и др. Под водами и в морской воде, по предварительным оценкам, находится около 70 % всех минеральных ресурсов планеты [1].

Природные ресурсы Земли классифицируют по различным признакам: неисчерпаемые (солнечная радиация, энергия морских приливов и волн, ветра и земных недр, атмосферный воздух); исчерпаемые (возобновляемые – плодородие почвы, животный и растительный мир и невозобновляемые – полезные ископаемые); по экологическим, экономическим и эколого-экономическим признакам.

При экологическом подходе природный потенциал оценивают как совокупность условий, необходимых для жизни и воспроизводства населяющих данную территорию живых организмов, в том числе и человека, деятельность которых нарушает экологический режим территории, ухудшает состояние окружающей среды.

При экономическом – оценивается стоимость природных ресурсов. Определяется целесообразность добычи полезных ископаемых или сохранения ландшафта как источника для других природных ресурсов.

Эколого-экономическая оценка включает затраты на добычу и полноту использования полезных ископаемых, рекультивацию естественного потенциала после его нарушения, вызванного эксплуатацией природных ресурсов.

Между горно-добывающим производством (прежде всего в угольной промышленности) и окружающей средой доминирует открытый вид связи. Производственный процесс начинается с добычи природных ресурсов, затем следует их превращение в средства производства или предметы потребления и отходы производства, после этого идет процесс потребления и направление неполностью использованных продуктов в отходы.

Особого внимания заслуживают эколого-экономические проблемы Донецкого угольного бассейна, где, наряду с добычей угля, из шахт выдается порода, выделяется метан, откачиваются подземные сильно минерализованные воды. Закрывают шахты, отработавшие свои запасы или из-за низких технико-экономических показателей не обеспечивающие рентабельную работу, что необходимо в рыночных условиях. Около них имеются породные отвалы, поступают воды из нарушенных подземных горизонтов. Все это вносит немалую лепту в загрязнение окружающей природной среды [2].

Цель исследования. Разработка методологического подхода к эффективному использованию невозобновляемых природных ресурсов, в частности при подземной добыче угля, сохранению окружающей среды.

Материалы и результаты исследования. Решение проблемы комплексного использования минеральных ресурсов тесно связано с

принципами функционирования природно-промышленных систем, которые образуются в процессе любого промышленного производства и обладают определенной структурой и специфическими особенностями взаимодействия.

Производственный технологический процесс связан с природной средой. Он вовлекает в себя в качестве предметов труда природные ресурсы и образует новые вещества, энергию и информацию, несвойственные природной среде. Формируется природно-технологический процесс, создаются зоны структурной, функциональной и информационной перестройки природно-производственной системы. Особая роль в этой системе принадлежит материальным ресурсам, которые делятся на главные, вспомогательные и сопутствующие [3].

К главным материальным ресурсам относятся сырьевые материалы, которые полностью или частично входят в состав основного продукта производства. При добыче и переработке полезных ископаемых они становятся главными технологическими ресурсами и делятся на активные и инертные.

Активные технологические материальные ресурсы охватывают материалы, которые перемещаются по технологической цепи. В результате получается окончательный продукт с определенным вещественным составом и рядом новых качественных свойств.

Инертные технологические материальные ресурсы охватывают материалы, которые на всех этапах технологического процесса не вступают во взаимодействие с другими ресурсами производства, а в окончательный продукт входят как механические примеси.

Вспомогательные материальные ресурсы – это материалы, которые не входят в состав продукта производства, но обеспечивают выполнение технологического процесса в заданных режимах, придают определенное качество окончательным продуктам производства.

К сопутствующим материальным ресурсам относятся ресурсы, которые вовлекаются в производственный процесс вынуждено и в дальнейшем выводятся из него в виде отходов и выбросов производства. Они загрязняют окружающую среду и требуют создания специальных очистных сооружений. Для их хранения создают отвалы и отстойники.

Приведенная классификация состояния и движения материальных ресурсов позволяет не только более детально охарактеризовать направления комплексного их использования, но и выделить следующие способы реализации:

- осуществлять добычу целевого полезного ископаемого и тех компонентов, которые могут быть использованы в других отраслях;
- повышать качественное и количественное извлечение из добытого сырья различных минеральных ассоциаций полезных компонентов;
- увеличивать степень утилизации извлеченных полезных компонентов;
- использовать отходы производства. Применительно к угледобыче – это горные породы, в которых содержатся редкоземельные и другие полезные вещества, метан, шахтные воды и др.

Понятие «безотходная технология» впервые определено на общеевропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды в рамках ООН (Женева, 1949).

На семинаре «Малоотходная технология» (Ташкент, 1984) понятие было уточнено: «Безотходная технология – это метод изготовления продукции (процесс) на предприятии, при котором все сырьё и энергия используются наиболее рациональным и комплексным путем в цикле: материально-сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные материальные ресурсы – так, чтобы любое воздействие на окружающую среду не нарушало её нормального функционирования».

Безотходным считается производство, при котором используется 89...90 % сырья, малоотходное 75...80 %. Они различаются по степени замкнутости организуемых ими систем. Отличительной особенностью безотходной технологии является большая замкнутость её системы, для которой характерно отсутствие обмена веществ с внешней средой, но возможен обмен энергией. При этом отсутствуют отходы – твердые, жидкие и газообразные вещества.

Замкнутая система производства опирается на принципы по возможности полного использования природного ресурса, регенерацию отходов и превращение их в исходное сырьё для последующих ступеней производства, создания конечного продукта с такими свойствами, чтобы используемые отходы производства и потребления могли быть ассимилированы экологическими системами.

В определении безотходной технологии принимается во внимание не только производственный процесс, но и качество продукции, которое должно характеризоваться: продолжительным сроком службы; возможностью многократного использования; простотой ремонта; легкостью возврата в производственный цикл или перевода в экологически безопасную форму после завершения использования.

Понятие безотходной технологии является условным. Это теоретический предел или идеальная модель производства, которая на современном уровне развития научно-технического прогресса не может быть реализована в полной мере. Поэтому стремиться надо к ресурсосберегающим и экологически сбалансированным (малоотходным) технологиям.

Малоотходная технология – незамкнутая технологическая система с ограниченными связями с внешней средой. Из неё промышленность получает исходное сырьё и энергию, а отдает готовую продукцию и сбрасывает отходы.

В настоящее время в горном производстве имеет место следующая технологическая цепь: сырьевые ресурсы – горное производство (готовая продукция) – отходы (выбросы и сбросы в окружающую природную среду). При малоотходной технологии эта цепь принимает такой вид: сырьевые ресурсы – горное производство (готовая продукция и вторичные ресурсы) – отходы и вторичные ресурсы – производственный процесс (готовая продукция).

Все виды отходов в процессе одного цикла производства можно рассматривать как основной источник загрязнения окружающей природной среды вредными и опасными веществами и недоиспользованное сырье, содержащее большое количество полезных веществ для других отраслей производства, т.е. потери природных ресурсов.

Традиционная технологическая схема базируется на однократном использовании природных ресурсов. Из перерабатываемого природного сырья только 5...10 % переходит в готовую продукцию, остальное – в неиспользованное сырье и отходы, т.е. снова возвращается в природу, но в другом качестве, что приводит к нарушению экологического равновесия. Этот цикл возможен до тех пор, пока масштабы отходов не превысят границы способности экологических систем к самовосстановлению.

Возрастающий объем отходов является объективным показателем несовершенства применяемых технологических схем. Необходим переход к принципиально новой форме связи между производством и окружающей средой – к замкнутым системам производства, предполагающим возможно большую встроенность производственных процессов во всеобщий круговорот веществ и энергии в природе. Взаимосвязи в системе производство – природопользование можно представить в виде трех направлений (блоков), каждому из которых присущи свои характерные признаки (рисунок).

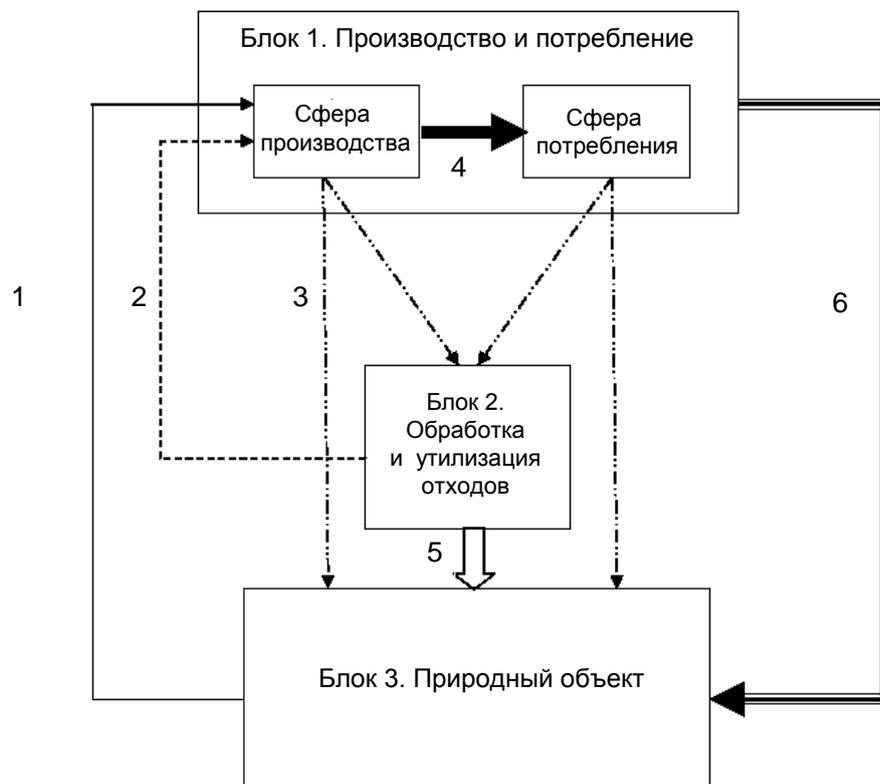


Схема взаимосвязей в системе производство-природопользование:

1 – природные ресурсы; 2 – вторичные ресурсы; 3 – продукция и услуги; 4 – отходы;
5 – отходы, поступающие в окружающую среду; 6 – использование природных ресурсов

Первый блок «Производство и потребление» отражает целенаправленное изменение структуры потребления, темпов производительных сил в увязке их с размещением; развитие эффективных в экономическом и экологическом отношении технологий производства, основанных на принципах малоотходности, небольшого потребления дефицитных природных ресурсов, малого количества отводимых отходов, вредных для природной среды.

Второй блок «Обработка и утилизация отходов» характеризует создание эффективных технологий обработки и обеззараживания отходов с целью их безопасного отведения в природную среду и дальнейшей утилизации. Это направление является базовым для создания замкнутых циклов на уровне предприятий и территориально-производственных комплексов.

Третий блок «Природный объект» направлен на целенаправленное изменение структур и свойств природного объекта для сохранения и улучшения ресурсного потенциала, повышения его устойчивости к антропогенному воздействию в комбинации с рациональным регулированием изъятия природных ресурсов и режимов отведения отходов.

Направления создания малоотходных технологий разнообразны и подразделяются на технические и организационные. К основным техническим направлениям относятся:

- разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов, реализация которых позволяет существенно уменьшить образование отходов;
- осуществление производственных процессов с минимально возможным количеством технологических стадий, так как на каждой из стадий образуются отходы и теряется сырьё;
- использование высокоэффективных методов тепло- и массообмена;
- применение непрерывных процессов, позволяющих более эффективно использовать сырьё и энергию;
- создание энерготехнологических процессов, при которых экономится сырьё и материалы, энергоресурсы, увеличивается производительность агрегатов и др.

Организационные направления внедрения малоотходных технологий включают:

- использование организации производства, при которой обеспечивается взаимосвязь производственных, социальных и природных процессов;
- реализация многоразового использования материалов за счет организации циклических процессов. Это касается не только воды, но и газов, и материалов;
- комбинирование производства при организации комплексного использования сырья, энергоресурсов, продукции производства;
- создание эколого-промышленных парков, при которых отходы одного предприятия могут использовать как сырьё для другого.

При решении проблемы малоотходности горного производств выделяют четыре основных направления:

- геологическое – совершенствование методов разведки и подсчета запасов полезного ископаемого, изучение вещественного состава полезных минералов и вмещающих пород;
- горно-техническое – создание новой и совершенствование существующей технологии и техники разработки месторождения, обеспечивающих повышение полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр в пределах шахтных полей, формирование техногенных ландшафтов, не уступающих по своим качествам природным;
- технологическое – создание новых и совершенствование существующих технологических процессов переработки минерального сырья, позволяющих наиболее эффективно извлекать все содержащиеся в нем полезные компоненты, вовлекать в переработку бедные и забалансовые запасы, утилизировать вмещающие породы и отходы производства и оптимизировать на этой основе потери полезных ископаемых при переработке;
- экономическое – разработка экономического механизма управления (системы мероприятий в области планирования, финансирования и стимулирования) процессами полного и комплексного использования минеральных ресурсов с привлечением административных методов управления.

Нет единой типовой методики оценки экологического совершенства технологического процесса и эффективности использования природных ресурсов. Для оценки степени малоотходности производства возможны следующие подходы: степень использования природных ресурсов; количество отходов на единицу готовой продукции; коэффициенты комплексности (валовой, нормативный и фактический).

Валовой коэффициент показывает отношение ценности полезных ископаемых компонентов, извлекаемых из сырья, к ценности компонентов, содержащихся в нем; нормативный – характеризует экономическую целесообразность извлечения этих компонентов в настоящее время; фактический – выражает достигнутую степень использования компонентов.

Основные показатели малоотходности производства при подземной добыче угля:

- по твердым отходам – удельный выход породы с учетом её использования и коэффициент, характеризующий соотношение отработанных и рекультивированных земель;
- по жидким отходам – коэффициент безотходного производства по сточным водам, уровень использования попутно забираемых вод на производственные нужды, степень чистоты сбрасываемых сточных вод;
- по пылегазообразным выбросам – коэффициент малоотходности производства по выбросам в атмосферу и степень чистоты выбросов.

Повышение конкурентоспособности становится конечной целью предприятия как эколого-экономической системы. При этом выделяют три

составляющие расширенной стратегии конкурентных преимуществ – экология, затраты, диверсификация:

- экологическая учитывает нагрузку на окружающую природную среду, инициируемую производством и потреблением;
- затратная определяет производственные издержки на единицу продукции;
- диверсификация предусматривает расширение ассортимента продукции и постепенное превращение предприятия в многоотраслевой комплекс с наиболее полным использованием природного ресурса и всех его компонентов.

Применительно к угольному предприятию диверсификация может проводиться по использованию твердых продуктов горного производства и углеобогащения, шахтных вод, когенерации энергоносителей, техногенного пространства угольных шахт.

К сопутствующим твердым продуктам горного производства и их использованию можно отнести горные породы, которыми можно закладывать выработанное пространство очистных забоев в шахтах, применять при производстве строительных материалов и в дорожном строительстве, при получении пиритных концентратов, извлечении ценных металлов, в качестве алюминиевого сырья [4, 5]. Наиболее важным потребителем шахтной породы должна стать сама шахта. Оставление породы в шахте – основное направление сокращения её объема, выдаваемого на поверхность. Целесообразность такого подхода диктуется экологическими требованиями и необходимостью решения первостепенных проблем ведения горных работ:

- управления горным давлением в сложных условиях газоносных пластов;
- выемки запасов, законсервированных под охраняемыми объектами на поверхности;
- безремонтного содержания пластовых горных выработок.

Закладывание выработанного пространства увеличивает полноту извлечения угля, уменьшает его разубоживание. Оно производится различными способами: механическим, самотечным, пневматическим, гидравлическим (доставка пульпы), рельсовым транспортом.

При изготовлении бетонита (блоков различной массы, формы, размеров) для крепления горных выработок может использоваться горелая тонкомолотая порода террикона в объеме 15...30 %, что придает бетону солестойкость при воздействии сульфатных вод.

Выданная из шахты горная масса не только занимает значительные территории, нарушает ландшафт, загрязняет атмосферу пылью и продуктами горения, но и содержит значительное количество элементов, представляющих интерес для извлечения и дальнейшей переработки. Среди них оксиды кремния (массовая доля в породах террикона 47,0 %), железа (20,65 %), алюминия (14,9 %), в небольших количествах кальция, марганца, магния, фосфора. В количествах

не более 0,1 % содержатся ценные химические элементы: германий, галлий, уран, свинец, цинк, молибден, селен, золото, серебро, ванадий, хром, вольфрам, бор, ртуть, фтор и др. [2].

В угольной и энергетической отраслях промышленности в результате добычи, обогащения и сжигания твердого топлива из пород отвальной массы и отходов углеобогащения образуется большое количество так называемых топливосодержащих отходов. Их состав неоднороден, но содержит от 5 до 15 % углеводорода в виде натурального топлива, которое обеспечивает теплотворную способность от 2000 до 4500 кДж/кг.

Расчеты показывают, что количество отходов, получаемых при добыче, обогащении и сжигании угля, позволяет говорить о возможности массового их применения.

В строительной отрасли отходы угледобычи и углеобогащения используют в качестве сырья для производства на специализированных предприятиях: аглопирита и керамзита, которые представляют собой пористый материал щебне- и гравиеподобной формы и служат наполнителями при получении бетона; вяжущих материалов; стеновых и огнеупорных материалов; тонкой керамики; пиритного концентрата; стеклокерамических и плавленых материалов.

В дорожном строительстве твердые отходы горного производства применяют в качестве дорожного основания, укрепления грунтов, наполнителя асфальтобетона, что повышает устойчивость и долговечность дорожного полотна.

Наибольшую ценность для производства строительных материалов и при сооружении дорог имеют горелые породные отвалы – перегоревшие пустые шахтные породы, содержащие менее 5 % углистых примесей и обожженную глинисто-песчаную часть.

Отходы углеобогащения используют в качестве эффективной добавки в сырьевую смесь действующих кирпичных заводов вместо традиционных материалов, а также для строительства гидротехнических сооружений – ограждений для шламовых отстойников углеобогатительных фабрик и прудов-отстойников шахтных вод.

При повышенной концентрации серы подавляющая её часть находится в дисульфиде железа (пиритных концентратах), которое многие годы используют в сернокислотном производстве. В последнее время область применения пиритного концентрата расширяется в черной и цветной металлургии, что улучшает качество стали и повышает марочность никеля.

В состав угленосных формаций низкой стадии метаморфизма входят минералы каолининовой группы (каолинита и реже диккита), которые можно использовать в качестве алюминиевого сырья после предварительного обогащения с выделением концентратов.

Доказана эффективность производства из углеотходов глинозема, сульфата алюминия, кремнеалюминиевых сплавов путем термического

обогащения, гидрохимического разделения, применения щелочных методов. Преимуществом получения алюминия из углесодержащих отходов перед другими типами высококремнистого сырья является наличие топливной составляющей, что позволяет существенно сократить расход технологического топлива.

Органическая часть угля, отходы угледобычи содержат некоторое количество ценных металлов (германия, золота, серебра, скандия, циркония, иттрия), эффективность извлечения которых возможна при существующих технологиях.

Применение твердых отходов шахтного производства для нужд сельского хозяйства изучено недостаточно. Могут быть использованы отходы с серой для мелиорации почвы, отходы, содержащие необходимые растениям микроэлементы: бор, марганец, молибден и др.

Наличие органических веществ позволяет использовать отходы углеобогащения при рекультивации земель, нарушенных в результате горных работ.

Одной из центральных экологических проблем в мировом масштабе является количественное истощение и качественное изменение пресных природных вод.

Чрезвычайную остроту эта проблема приобрела для Донбасса из-за значительного уровня минерализации, загрязненности взвешенными веществами и органическими соединениями.

Критическая ситуация с состоянием гидросферы обусловлена объективными (географическим положением степного Донбасса и разнообразием полезных ископаемых в недрах региона, которые являются источником загрязнения подземных вод минеральными солями, тяжелыми металлами и радиоактивными элементами) и субъективными (высокая концентрация промышленности и плотность населения, дренирование горными выработками подземных вод на значительных территориях и др.) факторами.

В этих условиях особое значение приобретает рациональное использование шахтных вод, которые в большом объеме выдают на поверхность. Их солевой состав практически идентичен генетическому составу подземных вод, дополнительно загрязненных взвешенными частицами и бактериальными примесями. После соответствующей очистки эти воды могут быть использованы для производственных (технических) и хозяйственных целей.

Критериями оценки пригодности использования шахтных вод являются:

- минерализация (сухой остаток), жесткость, щелочность, водородный показатель рН, которые обусловлены катионно-анионным составом воды;
- массовая доля вредных веществ I-III классов опасности;
- массовая доля взвешенных веществ;
- радиационная и эпидемиологическая безопасность.

Требования к качеству очищенной и обеззараженной шахтной воды определяют в соответствии с направлениями её использования. Схемы очистки поверхностных и подземных вод должны предусматривать применение баромембранных технологий.

В техническом водоснабжении очищенные шахтные воды используют для следующих целей: обогащения угля мокрым способом; пылеподавления, орошения и увлажнения угля; дегазации угольных пластов; охлаждения технологического оборудования; кондиционирования воздуха; производства сжатого воздуха; профилактики самовозгорания и тушения породных отвалов; борьбы с пылью на автодорогах, промплощадках и др.

Расход шахтных вод на эти цели зависит не только от особенностей технологического процесса, но и от использования прямоточных или оборотных систем водоснабжения.

Каждому направлению использования очищенной и обеззараженной воды предъявляют свои требования к качеству и, следовательно, свою организацию санитарной охраны источников водоснабжения и водозаборных сооружений.

В хозяйственном водоснабжении используют осветленные, обеззараженные и деминерализованные воды. Дополнительно производится умягчение, нейтрализация, уменьшение концентрации железа, марганца, других микроэлементов, органических веществ и продуктов их окисления. Необходимость применения каждой из операций определяется целями водоснабжения и видом источника.

Исчерпаемость традиционных источников энергии требует перехода на энерго- и ресурсосберегающие технологии. В частности, все большее внимание привлекает идея использования комбинированной (когенерационной) выработки электрической, механической и тепловой энергии от одного вида топлива.

К первым реализованным когенерационным технологиям относится теплофикация, когда на основе одного энергоносителя получают несколько видов энергии. В угольной промышленности используют несколько вариантов технологических схем когенерации энергоносителей:

- скважинная подземная газификация в комбинации с парогенерированием и аккумулятированием тепловой энергии. В настоящее время ее практически не используют;
- извлечение метана при разработке газугольных месторождений и его использование в когенерационных установках;
- надстройка двигателей на тепловых генерирующих мощностях;
- использование тепловых насосов при утилизации низкопотенциальной теплоты объектов горного производства (горного массива, шахтных вод, вентиляционных выбросов и т.д.).

Приоритетным направлением является использование в когенерационных установках в качестве источника энергии метана благодаря его большому количеству и высокому качеству. Неизменным спутником добычи угля

практически на всех шахтах Донбасса является метан. В диапазоне 5...14 % в шахтной среде он образует взрывоопасную метановоздушную смесь и создает серьезную проблему обеспечения безопасности угледобычи. Кроме того, это один из вредных для окружающей природной среды газ, определяющий парниковый эффект на планете (степень его агрессивности в 21 раз выше, чем диоксида углерода).

Комплексное и безопасное освоение георесурсов, создание и применение экологически и экономически эффективных малоотходных технологий подземной добычи угля – предварительное извлечение (каптирование) метана из угля и его последующая утилизация.

Основное направление добычи метана – дегазация угольных пластов. Она проводится через скважины с поверхности земли, из очистных забоев и отработанных зон путем бурения скважин диаметром до 150 мм и длиной 80...240 м с последующим откачиванием метана вакуумными насосами. Утилизация метана производится путем его накапливания на аккумулирующих станциях и направления потребителям, которыми могут быть и шахты, где проводится дегазация. Метан используют для заправки автомобилей, его сжигают в топках котлоагрегатов шахтных котельных для нагревания технической воды на собственные нужды, при создании энергокомплексов.

Модуль энергокомплекса в общем случае включает в себя топливный, энергетический и технологический модули. Топливным модулем является шахта, которая обеспечивает другие модули низкосортным углем, отходами углеобогащения, метаном, тепловым потенциалом геологических структур. Энергетический модуль, используя когенерационные технологии, производит тепловую и электрическую энергию. Технологический модуль – вспомогательный, обеспечивающий производственный цикл механической энергией, что также улучшает экономические показатели работы шахты.

Все это связано с диверсификацией хозяйственной деятельности предприятия и играет решающую роль в его конкурентоспособности в условиях рыночной экономики. Рациональное и эффективное использование техногенного пространства угольных шахт – одно из существенных решений эколого-экономических проблем горного производства. Оно включает мероприятия природоохранного характера по сокращению отрицательного воздействия горного производства на земную поверхность и восстановительного характера.

Горное производство является причиной изъятия из природного кругооборота и нарушения части земель. Различают прямое (непосредственное) и косвенное (опосредствованное) воздействие горных работ на земли (ландшафт). Прямое воздействие проявляется в деформации земной поверхности в зоне горных выработок при подземном способе разработки месторождения, возведении отвалов пустых пород, сооружении хвостохранилищ, строительстве промышленных зданий. Оно приводит к нарушению почвенного покрова, изменению режима почвенных и подземных

вод, изменению облика территории, т.е. к образованию нового техногенного ландшафта. Опосредствованное влияние связано с изменением состояния и режима грунтовых вод, осаждения пыли и химических соединений из выбросов в атмосферу, накопления токсичных веществ при инфильтрации минерализованных шахтных вод из хвостохранилищ и другие.

Возникают неблагоприятные экологические факторы: сокращение площадей ландшафтов, водная и ветровая эрозия, разрушение почвенной структуры, минерализация, переувлажнение или осушение почв в связи с образованием депрессионных воронок и их уплотнением. Для разработки эффективных природоохранных мероприятий следует рассматривать те факторы, которые поддаются регулированию: способ управления горным давлением, скорость подвигания очистного забоя, расположение горных выработок и др. Изменяя эти факторы, можно влиять на деформацию и нарушение земной поверхности при подработке.

Мероприятия природоохранного характера по сокращению отрицательного воздействия горного производства на земную поверхность включают: оставление под сооружениями и зданиями охранных целиков угля; полную закладку выработанного пространства очистных забоев (наиболее эффективный способ); разделение промышленных зданий деформационными швами, которые, деформируясь, растягиваются, сохраняя здание, и другие.

Мероприятия восстановительного характера – рекультивация нарушенных земель. Под ней понимается комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности нарушенных земель, улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Эти мероприятия главным образом связаны с добычей полезных ископаемых открытым способом разработки.

При подземной добыче угля объектами рекультивации являются породные отвалы шахт и углеобогатительных фабрик, промплощадки, транспортные коммуникации, насыпи, дамбы, которые не могут быть использованы по прямому назначению.

Проблема комплексного использования природных ресурсов на современном этапе приобретает особое значение. Достижение полного эколого-экономического эффекта возможно только при высокотехнологическом производстве, когда добытые и использованные природные ресурсы не идут в отходы, а становятся сырьем для следующего цикла производства новых предметов потребления, т.е. переходу к малоотходной, а в будущем и безотходной технологии промышленного производства.

Выводы. Проведенные аналитические исследования позволяют сформулировать следующие пути решения рассматриваемой проблемы:

- создание замкнутой системы, которая основывается на ресурсосберегающей и экологически сбалансированной технологии;

- обеспечение качественного и количественного извлечения из добытого сырья различных минеральных ассоциаций полезных ископаемых для дальнейшего их использования;
- увеличение степени утилизации извлеченных из добытого сырья полезных компонентов и использование отходов производства.

На современном этапе научно-технического прогресса есть все предпосылки для широкого использования ресурсосберегающих и малоотходных технологий, позволяющих не только получить высокие технико-экономические показатели работы предприятий, но и сохранить окружающую природную среду.

Список литературы / References

1. Амоша, А.И. Комплексное освоение угольных месторождений Донецкой области. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2007. – 176 с.

Amosha, A.I. *Kompleksnoye osvoyeniye ugol'nykh mestorozhdeniy Donetskoy oblasti* [The complex commercial development of coal deposits of the Donetsk region]. Donetsk, IEP NAN Ukrainy Publ., 2007, 176 p.

2. Комплексное освоение георесурсов пластовых месторождений / С.С. Гребенкин, В.В. Мельник, В.И. Бондаренко и др. – Донецк: ВИК, 2013. – 693 с.

Grebyonkin, S.S., Mel'nik, V.V., Bondarenko, V.I. etc. *Kompleksnoye osvoyeniye georesursov plastovykh mestorozhdeniy* [The complex commercial development of geological resources of bedded deposits]. Donetsk, VIK Publ., 2013, 693 p.

3. Технология обеспечения экологической и техногенной безопасности горнодобывающих регионов при ликвидации угледобывающих предприятий Украины: монография / под общей редакцией В.И. Бузило и С.С. Гребенкина. – Днепропетровск: Литограф, 2013. – 348 с.

Tekhnologiya obespecheniya ekologicheskoy i tekhnogennoy bezopasnosti gornodobyvayushchikh regionov pri likvidatsii ugledobyvayushchikh predpriyatiy Ukrainy: monografiya / pod obshchey redaktsiyey V.I.Buzilo i S.S. Grebyonkina [Technology of ensuring the ecological and anthropogenic safety of mining regions by liquidation of coal mining enterprises of the Ukraine: monograph / V.I. Buzilo and S.S. Grebyonkin, eds.]. Dnepropetrovsk, Litograf Publ., 2013, 348 p.

4. Кравченко, Е.В. Породные отвалы угольных шахт и их влияние на окружающую среду / Е.В. Кравченко, О.П. Пашковский, С.А. Шипунов // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. – 2017. – № 1 (9). – С. 12 – 18.

Kravchenko, Ye.V., Pashkovskiy, O.P., Shipunov, S.A. *Porodnyye otvaly ugol'nykh shakht i ikh vliyaniye na okruzhayushchuyu sredu* [Waste heaps of coal mines and their influence on the environment]. *Vestnik instituta grazhdanskoy zashchity Donbassa – Bulletin of the Institute of civil protection of the Donbas*, 2017, no. 1 (9), pp. 12 – 18.

5. Проблемы горного дела и экологии горного производства: монография / П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев, Г.С. Левчинский и др. / – Донецк: ВЕБЕР (Донецкое отделение), 2007. – 257 с.

Dolzhikov, P.N., Ryabichev, V.D., Levchinskiy, G.S. etc. *Problemy gornogo dela i ekologii gornogo proizvodstva: monografiya* [Problems of mining and ecology of the mining production: monograph]. Donetsk, VEBER Publ. (Donetsk branch), 2007, 257 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук П.С. Пашковским.
Дата поступления рукописи 15.03.2017

Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

Sergey Semyonovich Grebyonkin, Dr. Sci. (Tech.), leading scientific associate, e-mail: opbush@mail.ru;

Yevgeny Valentinovich Kravchenko, Cand. Sci. (Econ.), head of postgraduate course;
e-mail: evgenijkravchenkov39@mail.ru;

Dmitry Sergeyeovich Buryak, scientific associate, e-mail: buryak_ds@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 (+38062) 332-48-69

ECOECONOMIC PROBLEMS OF THE COMPLEX USE OF NATURAL RESOURCES AND POSSIBLE WAYS OF THEIR SOLUTION

Purpose. Working-out the methodological approach to the effective use of nonrenewable natural resources.

Method. Analytical generalization of guidelines and prospects of the complex rational use of the natural resources.

Results. The recommendations on estimation of the ecoeconomic efficiency of the use of the nonrenewable natural resources: creation of the closed system on basis of the resource-saving and ecologically balanced technology; extraction of various mineral resources for further use; utilization of wastes of production have been worked out.

Practical value. The ecoeconomic solutions necessary by mining the coal deposits using the underground method are substantiated.

Keywords: *ecology; economics; problems; nonrenewable natural resources; methodological approach; efficiency; recommendations.*

УДК 331.344.2-037:622-051

*Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, нач. отд.; 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) 332-78-43;

Татьяна Семеновна Бутукова, завлаб; e-mail: butukova.tatyana@yandex.ua;

Наталья Алексеевна Мартынова, завсектором; e-mail: makniiziz@mail.ru

*Государственное учреждение «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности
работ в горной промышленности»*

286132, Макеевка, ул. Лихачева, 60. Тел. (+38 0623) 28-16-96

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПЫЛЕПРОНИЦАЕМОСТИ И ПЫЛЕЕМКОСТИ ТКАНЕЙ СПЕЦОДЕЖДЫ ШАХТЕРОВ

Цель. На основе принципиально новых подходов разработать и изготовить камеру для оценки пылепроницаемости и пылеемкости тканей.

Методика. Сущность метода заключается в продувании запыленного воздуха через образцы тканей с определенной скоростью в испытательной камере. Методика определения пылепроницаемости и пылеемкости тканей распространяется на ткани, предназначенные для пошива спецодежды шахтеров.

Результаты. Разработана методика и изготовлена камера, предназначенная для определения пылепроницаемости и пылеемкости тканей в интервале температур окружающего воздуха от 291 до 311 К (от плюс 18 до плюс 38 °С) и скорости движения воздушного потока от 1 до 8 м/с.

Научная новизна. Впервые разработана методика, позволяющая оценить степень изменения эксплуатационных и гигиенических характеристик спецодежды по пылевому фактору в зависимости от условий ее эксплуатации, что дает возможность моделировать условия эксплуатации спецодежды.

Практическая значимость. Создана камера для определения пылепроницаемости и пылеемкости тканей, применение которой в лабораторных условиях, приближенных к условиям эксплуатации спецодежды шахтеров, позволит прогнозировать степень изменения характеристик тканей по пылевому фактору.

Ключевые слова: пылепроницаемость; пылеемкость; шахтная аэродинамика; запыленность воздуха; физико-механические показатели тканей; опасные и вредные производственные факторы.

Постановка задачи. Анализ отечественных и зарубежных литературных источников [1-4] показывает, что защитные свойства тканей, применяемых для производства спецодежды шахтеров, не всегда соответствуют условиям труда на предприятиях угольной промышленности, в частности, по пылевому фактору. Изучение пылепроницаемости тканей, проводимое в соответствии с общепринятыми методами исследований, показывает их малую информативность при оценке эффективности защиты горнорабочих очистного забоя от воздействия пыли на кожные покровы во время работы в различных условиях.

Анализ последних исследований. Гостирированный метод определения пылепроницаемости тканей и соединительных швов применяют в основном при проектировании спецодежды, которая предназначена для защиты кожных

покровов шахтера от нетоксичной пыли. Для проведения испытаний спецодежды используют установку роторного типа марки ППТ (рис. 1).

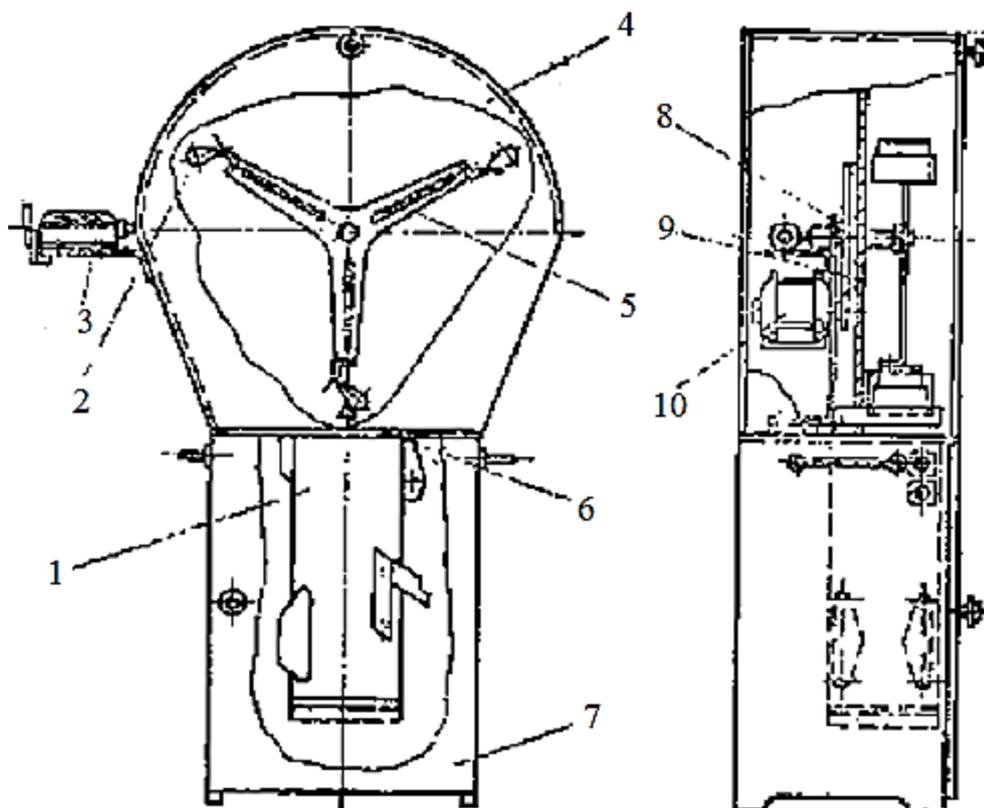


Рис. 1. Установка роторного типа:

1 – пылесос; 2 – мешочек; 3 – счетчик СК; 4 – корпус; 5 – крыльчатка; 6 – упор;
7 – тумбочка; 8 – кронштейн; 9 – перегородка; 10 - электродвигатель

Пылепроницаемость оценивают по количеству пыли, проникшей через испытуемую ткань. Принцип испытания заключается в следующем. Готовят элементарные пробы пыли массой $(50 \pm 0,5)$ г (погрешность взвешивания $\pm 0,01$ г), которые помещают внутрь мешочков, сшитых из трех полосок испытуемых тканей размером 126 мм по основе и 176 мм по утку, со швом, расположенным в центре мешочка. Перед испытанием пробы выдерживают в течение 24 ч при относительной влажности воздуха (65 ± 2) % и температуре воздуха (20 ± 2) °С. Приготовленные элементарные пробы закрепляют в зажимах крыльчатки на расстоянии 4 мм от верхнего шва. При вращении крыльчатки с частотой оборотов (180 ± 1) мин⁻¹ элементарные пробы ударяются об упор. При ударах происходит проникновение пыли через ткань и шов. После 150 ударов элементарные пробы снимают и каждую взвешивают на весах лабораторных 1-го класса с погрешностью $\pm 0,01$ г. Эталонами пыли являются: молотый пылевидный кварц, или природный средний песок, или мелкий, или оксид цинка.

Данный метод оценки пылепроницаемости и пылеемкости тканей, предназначенных для изготовления спецодежды шахтеров, имеет ряд

существенных недостатков. Во-первых, в качестве эталонной пыли применяют пыль определенной дисперсности, в то время как в воздушном пространстве забоя частицы пыли имеют различные размеры. Затем испытания текстильных материалов проводят при относительной влажности $(65 \pm 2) \%$ и температуре $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, тогда как в реальных условиях в забоях в зависимости от горно-геологических и горно-технических условий температура воздуха при высокой (до 90 %) влажности колеблется от 7 до 32 $^\circ\text{C}$. К недостаткам описываемого метода можно отнести и то, что не учитываются условия эксплуатации спецодежды в различных горно-геологических и горно-технических условиях труда, что не позволяет обосновать рациональный диапазон защиты различных анатомо-топографических зон тела шахтеров. Разная степень износа ткани определяется высотой и углом падения пласта, применением различной техники и технологий, обводненностью выработок, позой горнорабочего, составом и крепостью окружающих пород, что приводит к неравномерному проникновению пыли через ткань, поврежденную механическим истиранием в период носки. К недостаткам существующей методики можно отнести невозможность изменения динамики процесса и регулирования скорости пылевоздушного потока на испытуемый образец, поскольку в шахтных условиях пыль во взвешенном состоянии заполняет все пространство забоя и движется в соответствии с законами аэродинамики с различными скоростями – от 0,5 до 4,0 м/с в забоях и более 5 м/с в околоствольных выработках [5].

Следовательно, данный метод не позволяет установить зависимость пылепроницаемости и пылеемкости ткани от влияния скорости движения воздуха, температуры, влажности воздуха, имеющего различные уровни запыленности, оценить изменение физико-механических показателей тканей, и, наконец, он не учитывает постоянного изменения концентрации пыли в забое, что не позволяет установить зависимость пылепроницаемости и пылеемкости ткани от уровня запыленности рабочей зоны.

Очевидно, что описанный метод и используемое испытательное оборудование не обеспечивают объективной оценки пылепроницаемости и пылеемкости тканей и малопригодны при исследовании тканей, которые предназначены для изготовления костюмов шахтеров, применяемых в условиях высокого уровня запыленности. Он более применим при испытании тканей для тарных мешков, в которых хранят сыпучие материалы [6, 7], поскольку при погрузке и выгрузке они подвергаются механическим воздействиям.

Цель исследования. Используя принципиально новые подходы, разработать метод исследования пылепроницаемости и пылеемкости тканей и изготовить камеру для проведения испытаний.

Результаты исследования. Для установления технических характеристик камеры, где определяют пылепроницаемость и пылеемкость тканей, учтены климатические параметры, влияющие на эти показатели: температура, влажность воздуха, скорость воздушного потока, а также уровни запыленности – диапазон варьирования которых сопоставим с параметрами

этих факторов в зависимости от горно-геологических и горно-технических условий труда (см. таблицу).

Факторы, влияющие на пылепроницаемость и пылеемкость ткани

Наименование	Диапазон варьирования
Температура воздуха, °С	18...38
Влажность воздуха, %	65...95
Скорость воздушного потока, м/с	0,5...8
Плотность пыли, мг/м ³	2...1320

Условия проведения эксперимента по определению пылепроницаемости тканей характеризуются интервалом температур окружающего воздуха от 291 до 311 К (от плюс 18 до плюс 38 °С) и скорости движения воздушного потока от 1 до 8 м/с. Камера для испытаний состоит из четырех блоков (рис. 2 – 5).



Рис. 2. Блок 1 – пылевая камера

Пылевая камера изготовлена в виде параллелепипеда объемом 0,5 м³. Боковые стенки ее выполнены из стекла, причем передняя стенка изготовлена в виде герметически закрывающейся и фиксирующейся в заданном положении дверцы, через которую загружается пылевая навеска.

Внутри камеры установлена пылевая труба. В торцевых стенках камеры предусмотрены отверстия (слева – квадратное размером 10×10 см, а справа – круглое с площадью сечения 100 см²) для выхода воздушного потока с заданными параметрами температуры и скорости воздуха. С внешней стороны круглого отверстия камеры устанавливают и закрепляют обойму с испытуемым образцом ткани.

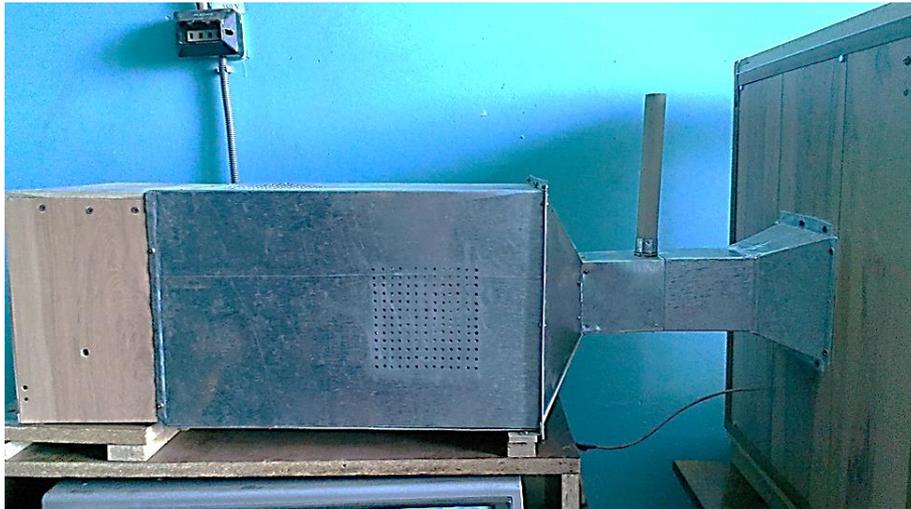


Рис. 3. Блок 2 – отсек с одним нагнетательным вентилятором и двумя тепловентиляторами



Рис. 4. Блок 3 – стабилизатор напряжения для нагнетательного вентилятора



Рис. 5. Блок 4 – пульт управления камерой для определения пылепроницаемости

Принцип работы камеры заключается в следующем: в пылевую трубу с закрепленным на выходе образцом ткани с фильтром АФА подается угольная пыль с определенной навеской.

Тепловентиляторами, вакуумным насосом (см. рис. 3), нагнетательным вентилятором со стабилизатором напряжения (см. рис. 4) посредством пульта управления (см. рис. 5) в пылевой трубе моделируют заданные условия труда (температуру, скорость движения и объем воздуха). При помощи вакуумного насоса пылевоздушная смесь засасывается через образец ткани.

Угольная пыль, осевшая на фильтре, является показателем пылепроницаемости ткани $\Pi_{\text{п}}$, г/м², которую вычисляют по формуле

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{m_1 - m_2}{S_1}, \quad (1)$$

где m_1 – масса фильтра АФА до испытания, г;

m_2 – масса фильтра АФА после испытания, г;

S_1 – площадь фильтра АФА, м².

Угольная пыль, оставшаяся на ткани – показатель пылеёмкости ткани. Пылеёмкость $\Pi_{\text{е}}$, г/м², вычисляем по формуле

$$\Pi_{\text{е}} = \frac{m_3 - m_4}{S_2}, \quad (2)$$

где m_3 – масса образца ткани до испытания, г;

m_4 – масса образца ткани после испытания, г;

S_2 – площадь образца ткани, м².

Для расчета динамики воздушного потока в камере, позволяющей в более широком диапазоне изменять условия протекания процесса, необходимо учитывать основные физические законы: сохранения массы, сохранения энергии, количества движения [8].

Воздушный поток в пылевой трубе имеет следующие характеристики:

- режим движения – турбулентный;
- тип воздушного потока – ограниченный с твердыми границами;
- аэродинамическое сопротивление – лобовое, создаваемое образцом ткани, установленным перпендикулярно движению воздушного потока;
- объемный расход воздуха в пылевой трубе – величина постоянная (утечки воздуха исключены): $Q_1 = Q_2$.

Уравнение Бернулли дает представление об источниках, за счет которых воздух, преодолевая сопротивление, продвигается по пылевой трубе. Депрессию h – затраты или потерю за счет сопротивления движению воздуха по пылевой трубе рассчитывают по формуле

$$h = p_1 - p_2 + \left(\frac{\gamma(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \right) + \gamma(z_1 - z_2), \quad (3)$$

где

- $p_1 - p_2$ – разность статических давлений воздуха в сечении, создаваемых вентиляторами (депрессия вентилятора);
- $\left(\frac{\gamma(v_1^2 - v_2^2)}{2g}\right)$ – динамическая энергия, разность скоростных напоров;
- $\gamma(z_1 - z_2)$ – разность давлений двух столбов воздуха, имеющих высоту z_1 и z_2 , с плотностью γ . Затраты энергии, создаваемые естественной тягой, объясняются разным давлением столбов входящих и исходящих потоков (депрессия естественной тяги).

Важным следствием уравнения Бернулли является тот факт, что при $h = \text{const}$ изменение скорости в сечении вызывает обратное изменение давления, т.е. увеличение скорости движения воздуха в сечении вызывает уменьшение в нем статического давления и наоборот.

Уравнение объединяет в себе все основные величины, необходимые для решения аэродинамической задачи и выражает баланс потенциальной и кинетической энергии единицы объема потока, что будет использовано при постановке эксперимента.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Разработанный на основе принципиально новых подходов метод определения пылепроницаемости и пылеемкости тканей позволяет с большой достоверностью определить пылепроницаемость материалов с различным составом волокон, с различной степенью износостойкости и моделировать конкретные условия эксплуатации спецодежды (скорость движения пылевоздушного потока, температуру, влажность воздуха, количество пыли).

Список литературы / References

1. Jay F. Colinet, James P. Rider, Jeffrey M. Listak, John A. Organiscak and Anita L. Wolfe. Best Practices for Dust Control in Coal Mining перевод Information Circular 9517 DHHS (NIOSH) Publication No. 2010–110/

2. Оценка условий труда, профессионального риска, состояния профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности / Н.А. Хелковский-Сергеев, Н.П. Головкова, А.Г. Чеботарёв, Н.О. Каледина. – КиберЛенинка, 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy-truda-professionalnogo-riska-sostoyaniya-professionalnoy-zabolevaemosti-i-proizvodstvennogo-travmatizma-rabochih> (дата обращения 01.11.2017).

Khelkovskiy-Sergeyev, N.A., Golovkova, N.P., Chebotaryov, A.G., Kaledina, N.O. *Otsenka usloviy truda, professional'nogo riska, sostoyaniya professional'noy zaboilevayemosti i proizvodstvennogo travmatizma rabochikh ugol'noy promyshlennosti* [Estimation of work environment, occupational risk, status of occupational morbidity and occupational traumatism of the coal industry workers]. CyberLeninka (2011)]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy->

truda-professionalnogo-riska-sostoyaniya-professionalnoy-zabolevaemosti-i-proizvodstvennogo-travmatizma-rabochih (accessed 01.11.2017).

3. Крутенко, С.А. Пылевая обстановка, заболеваемость горнорабочих пневмокониозом на угольных шахтах Украины и разработка мероприятий по предотвращению заболеваемости: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / С. А. Крутенко. – Макеевка, 2004. – 21 с.

Krutenko, S.A. *Pylevaya obstanovka, zabolevayemost' gornorabochikh pnevmokoniozom na ugol'nykh shakhtakh Ukrainy i razrabotka meropriyatiy po predotvrashcheniyu zabolevayemosti: avtoref. dis.... kand. tekh. nauk: 05.26.01* [Dust situation, morbidity of mine workers with pneumoconiosis at coal mines of the Ukraine and working-out the measures on prevention the morbidity: author's abstract diss. cand. tech. sci.: 05.26.01]. Makeyevka, 2004, 21 p.

4. Долженков, А.Ф. Развитие научных основ создания высокоэффективных средств индивидуальной защиты шахтеров: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / А.Ф. Долженков. – Макеевка, 2009. – 422 с.

Dolzhenkov, A.F. *Razvitiye nauchnykh osnov sozdaniya vysokoeffektivnykh sredstv individual'noy zashchity shakhtyrov: dis.... d-ra tekh. nauk: 05.26.01* [Development of scientific fundamentals of creation of high-efficiency means of personal protection of mine workers: diss. dr. tech. sci.: 05.26.01]. Makeyevka, 2009, 422 p.

5. Мохирев, Н.Н. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация / Н.Н. Мохирев, В.В. Радько. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 324 с.

Mokhirev, N.N., Rad'ko V.V. *Inzhenernyye raschyoty ventilatsii shacht. Stroitel'stvo. Rekonstruktsiya. Eksploatatsiya* [Engineer calculations of ventilation of mines. Building. Reconstruction. Operation]. Moscow, Nedra-Bisnestsentr Publ., 2007, 324 p.

6. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности / Б.А. Бузов, Н.Д. Алымбекова. – М.: Академия, 2004. – 449 с.

Buzov, B.A., Alymbekova, N.D. *Materialovedeniye v proizvodstve izdeliy lyogkoy promyshlennoisti* [Materials technology in manufacture of the light industry products]. Moscow, Akademiya Publ., 2004, 449 p.

7. Зурабян, К.М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности / К.М. Зурабян, Б.Я. Краснов, Я.М. Пустыльник. – М.: Издат. центр РЗИТЛП, 2003. – 384 с.

Zyabyan, K.M., Krasnov, B.Ya., Pustyl'nik, Ya.M. *Materialovedeniye v proizvodstve izdeliy lyogkoy promyshlennoisti* [Materials technology in manufacture of the light industry products]. Moscow, RSITLP Publ., 2003, 384 p.

8. Левин, Л.Ю. Разработка метода расчета местных аэродинамических сопротивлений при решении сетевых задач воздухораспределения / Л.Ю. Левин, М.А. Семин, Р.Р. Газизуллин. [Электронный ресурс]. URL: http://www.giab-online.ru/files/data/2014/09/31_200-205_levin.pdf (дата обращения 01.11.2017).

Levin, L.Yu., Syomin, M.A., Gazizullin, R.R. *Razrabotka metoda raschyota mestnykh aerodinamicheskikh soprotivleniy pri reshenii setevykh zadach vozdukhoraspredeleniya* [Working-out the method of calculation of local aerodynamic resistances by solving the network problems of air distribution]. Available at: http://www.giab-online.ru/files/data/2014/09/31_200-205_levin.pdf (accessed: 01.11.2017).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Ю.В. Кудиновым.
Дата поступления рукописи 02.11.2017

Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), head of department; 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) 332-78-43;
Tatyana Semyonovna Butukova, head of laboratory, e-mail: butukova.tatyana@yandex.ua;
Natalya Alekseyevna Martynova, head of sector, e-mail: makniiziz@mail.ru
The State Institution "Makeyevka Research Institute for Mining Safety"
286132, Makeyevka, 60, ulitsa Likhachyova. Phone: (+380623) 28-16-96

MODERN APPROACHES TO ESTIMATION OF DUST PERMEABILITY AND DUST CAPACITY OF FABRICS OF THE MINER'S WORKING CLOTHES

Purpose. To work out and to manufacture a chamber for estimation of the dust permeability and dust capacity of the fabrics on the basis of in the main fresh approaches.

Methods. The point of the methods consists in blowing the dust-laden air through the specimens of the fabrics at a certain speed in the test chamber. The methods of determination of the dust permeability and dust capacity of the fabrics apply to the fabrics intended for sewing the working clothes of the mine workers.

Results. The methods were worked out, and the chamber intended to determine the dust permeability and dust capacity of the fabrics within the limits of the environmental air from 291 up to 311 K (from plus 18 up to plus 38 °C) and at the speed of motion of the air flow from 1 up to 8 m/sec was manufactured.

Scientific novelty. The methods allowing estimating the degree of the change of operational and hygienic characteristics of the working clothes according to the dust factor depending on their operating conditions were worked out for the first time, what enables to simulate the operating conditions of the working clothes.

Practical value. The chamber to determine the dust permeability and dust capacity of the fabrics was created, which use under the laboratory conditions will permit to forecast the degree of change of the characteristics of the fabrics according to the dust factor that are approximated to the operating conditions of the working clothes of the miners.

Keywords: *dust permeability; dust capacity; mine aerodynamics; dustiness of air; physical-mechanical factors of the fabrics; hazardous and harmful factors of production.*

УДК 622.411.33:622.232

Светлана Ивановна Кулакова, аспирант; e-mail: Svet.Kulakova@gmail.com

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донбасский государственный технический университет»
94204, Алчевск, пр. Ленина, 16. Тел. (06442) 2-31-23*

БЕЗОПАСНОСТЬ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЛАВ ПРИ БОЛЬШИХ НАГРУЗКАХ

Цель. Уточнение прогнозируемых максимальных значений метановыделения при больших нагрузках на механизированный комплекс и на этой основе аргументировать необходимость проведения дополнительных мероприятий по снижению концентраций метана до безопасных значений в исходящих вентиляционных струях на выемочном участке.

Методика. Анализ и обобщение исследований процесса метановыделения в пределах выемочного участка и влияния на этот процесс больших нагрузок, создаваемых современными механизированными комплексами. Нормативные методы оценки метановыделения, методы математической статистики для обработки экспериментальных данных – корреляционный и регрессионный анализ.

Результаты. Нагрузки на механизированный комплекс больше критического интервала влияют на параметры процесса метановыделения (среднемесячное значение и среднеквадратическое отклонение). Среднемесячные значения снижаются, а неравномерность метановыделения увеличивается. Максимальные значения увеличиваются, несмотря на снижение средних значений, за счёт роста коэффициента неравномерности. С определённого уровня нагрузок фактические максимальные значения становятся больше прогнозируемых, рассчитанных согласно действующему нормативному документу. Получено уравнение регрессии для корректирования прогнозируемых максимальных значений метановыделения в зависимости от планируемой нагрузки.

Научная новизна. Установлено, что в интервале больших нагрузок их рост приводит к увеличению неравномерности метановыделения. Получено уравнение регрессии, описывающее влияние больших нагрузок на отношение фактических максимальных значений метановыделения к рассчитанным по нормативному документу.

Практическая значимость. Увеличение нагрузки на механизированный комплекс в интервале её больших значений приводит к тому, что максимальное фактическое метановыделение становится больше максимального значения, рассчитанного по нормативному документу. Уточнённый прогноз максимального метановыделения позволяет повысить надёжность расчёта воздуха, необходимого для разбавления метана в исходящей струе до допустимых концентраций, а также обосновать необходимость проведения дополнительных дегазационных мероприятий.

Ключевые слова: *очистной забой; нагрузка; критический интервал; метановыделение; мониторинг; динамика метановыделения; среднее значение; среднее квадратическое отклонение; коэффициент неравномерности; максимальное значение; прогноз.*

Постановка проблемы. При отработке метаноносных пластов газовый фактор остается основной причиной снижения безопасности очистных работ. Методика прогнозирования метановыделения и управления концентрацией метана в метановоздушных струях, приведенная в действующем нормативном документе, основана на исследованиях при сравнительно невысоких нагрузках на очистной забой, до 1500 т/сут. Детальными исследованиями процесса метановыделения в широком диапазоне условий отработки выемочных участков современными механизированными комплексами установлено, что по

мере увеличения нагрузки на забой расхождение между фактическим метановыделением и расчетным увеличивается и при нагрузках около 4000 т/сут фактическое значение может составлять лишь около 30 % от расчетного [1].

Степень влияния нагрузок на метановыделение в очистные выработки в разных условиях отличается. В одних условиях с ростом нагрузки наблюдается рост средних значений метановыделения по линейной зависимости. В других при достижении критических нагрузок увеличение метановыделения постепенно переходит в уменьшение по параболической зависимости [2, 3]. В некоторых условиях рост нагрузок приводит к стабилизации средних значений метановыделения [4]. Несмотря на различия в зависимостях, можно предположить, что обеспечение высоких нагрузок на очистной забой может способствовать снижению негативного влияния газового фактора на безопасность ведения очистных работ. Правомерность такого вывода требует всестороннего, детального изучения зависимости динамики метановыделения от нагрузки.

Отмеченное при высоких нагрузках отклонение среднего фактического метановыделения от расчетного без оценки его неравномерности не дает полного представления об изменении газовой динамики. Важно дополнительно исследовать закономерности изменения неравномерности метановыделения при увеличении нагрузки на очистной забой.

Цель и задачи исследования – уточнение прогнозируемых максимальных значений метановыделения при высоких нагрузках на механизированный комплекс и на этой основе обоснование необходимости проведения дополнительных мероприятий по снижению концентраций метана до безопасных значений в исходящих вентиляционных струях на выемочном участке. Исходя из поставленной цели в работе решали последовательно следующие задачи:

- мониторинг среднесуточных значений метановыделения и нагрузки по всей длине выемочного участка во всем возможном диапазоне их изменения для современных механизированных комплексов;
- оценка параметров распределения метановыделения (среднее значение $I_{\text{ср}}$ и среднеквадратическое отклонение σ_I) и нагрузки (среднее значение $A_{\text{ср}}$ и среднеквадратическое отклонение σ_A) по месяцам работы выемочного участка;
- обоснование интервала больших нагрузок и установка в нем влияния нагрузок на параметры метановыделения (среднее значение, среднеквадратическое отклонение, коэффициент неравномерности и максимальное значение);
- оценка отклонения прогнозных значений метановыделения, рассчитанных согласно действующему руководству по проектированию вентиляции угольных шахт, от фактических и соответственно корректирование прогнозируемого значения.

Материалы и результаты исследований. Для исследований взяты ежесуточные показатели работы 28-й Орловской лавы пласта k_2 шахты «Молодогвардейская» за 18 месяцев после периода первичной осадки кровли вплоть до завершения отработки выемочного участка. Очистной забой был оборудован механизированным комплексом 2МКД90. Суточная нагрузка колебалась в пределах от 210 до 3250 т. Проветривание осуществлялось по схеме 1М-Н-в-вт. Метановыделение в исходящую вентиляционную струю определяли по данным участка ВТБ и АГЗ.

По суточным значениям нагрузки и метановыделения для каждого месяца были установлены законы распределения и их параметры: среднее значение и среднеквадратическое отклонение (рис. 1). Из визуального анализа рис. 1 следует, что подобный характер влияния нагрузки на метановыделение наблюдается на многих выемочных участках с различными условиями отработки [5]. Период наблюдений с 1-го по 10-й месяцы характеризуется как время устойчивой работы на уровне не меньше проектной нагрузки. С 13-го по 18-й месяц происходило резкое уменьшение нагрузки и соответственно метановыделения из-за ухудшения технического состояния механизированного комплекса. В этот период завершилась доработка выемочного участка.

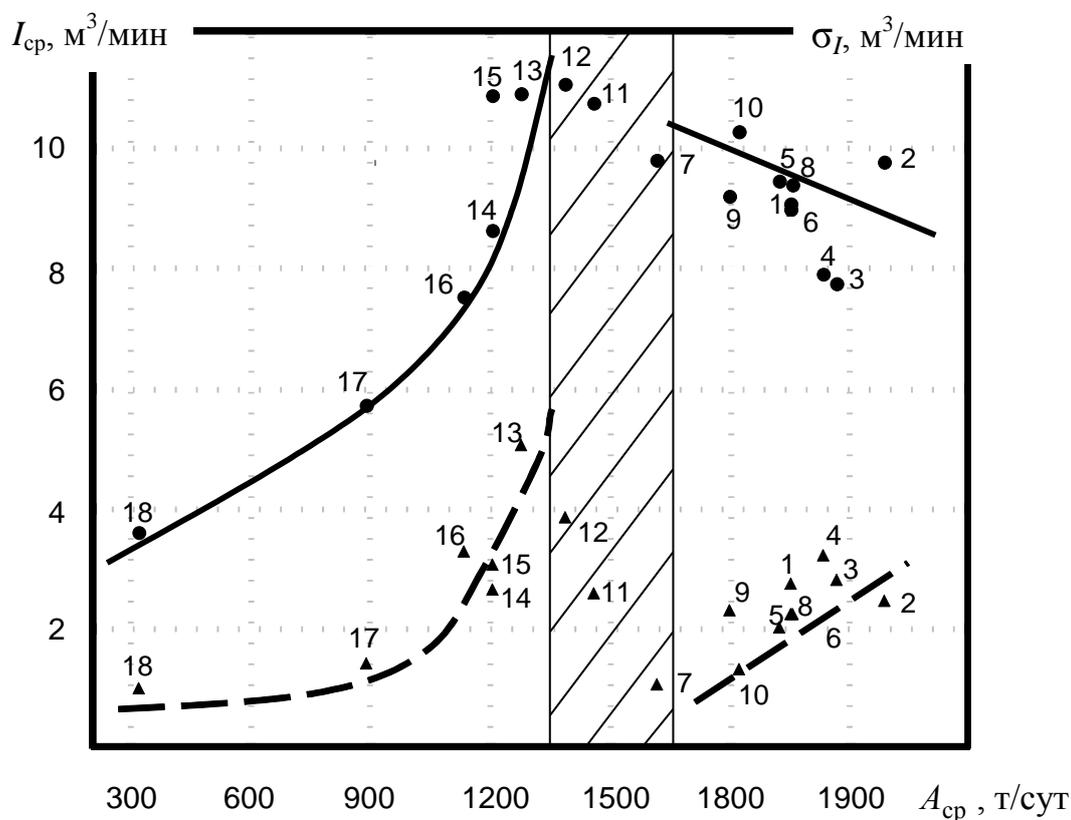


Рис. 1. Зависимость параметров метановыделения в исходящей струе от нагрузки:

- – значения метановыделения I_{cp} ; — — — линия, отражающая форму связи $I_{cp} = f(A_{cp})$;
- ▲ – среднее квадратическое отклонение метановыделения σ_I ;
- — — — линия, отражающая форму связи $\sigma_I = f(A_{cp})$; 1-18 – месяцы наблюдений

В интервале нагрузок A_{cp} от 1300 до 1600 т/сут (заштрихованная область на рис. 1) их влияние резко изменяется. Метановыделение I_{cp} стабилизируется практически на одном уровне, а его среднеквадратическое отклонение σ_I резко снижается. Наблюдается своего рода структурный сдвиг в динамике процесса метановыделения. Поэтому этот интервал нагрузки был принят в качестве критического для дальнейших исследований процесса метановыделения.

Назовем нагрузки меньше критического уровня $A_{cp} \leq 1300$ т/сут «малыми», больше критического $A_{cp} \geq 1600$ т/сут – «большими». С большими нагрузками механизированный комплекс работал в период с 1-го по 10-й месяц наблюдений, с малыми – в период с 13-го по 18-й месяц. По каждому периоду был проведен корреляционный анализ (см. таблицу). В таблице жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты корреляционного анализа

Показатель	Нагрузки	A_{cp}	σ_A	I_{cp}
σ_A	Большие	0,47	1	-0,47
	Малые	0,85	1	0,74
I_{cp}	Большие	-0,43	-0,47	1
	Малые	0,90	0,74	1
σ_I	Большие	0,76	0,28	-0,82
	Малые	0,80	0,77	0,86

Периоды существенно различаются по динамике метановыделения. В период малых нагрузок исходя из положительного знака коэффициента корреляции увеличение средних значений метановыделения сопровождается ростом их среднеквадратических отклонений, а увеличение нагрузки приводит к росту метановыделения. При больших нагрузках существует обратная зависимость – увеличение I_{cp} сопровождается снижением σ_I (коэффициент корреляции отрицателен). Просматривается противоположное влияние нагрузки и на средние значения метанообильности, так как при увеличении нагрузки σ_I должно увеличиваться, а I_{cp} соответственно – уменьшаться. Приведенные различия во влиянии нагрузки на процесс метановыделения в период «больших» и «малых» значений подтверждают обоснованность выделения критического уровня нагрузок и разделения по этим периодам исходной базы данных.

Для исследований процесса метановыделения период больших нагрузок наиболее важен, так как метановыделение в этот период, характеризуемый

устойчивой работой механизированного комплекса по добыче, согласно действующему руководству по проектированию вентиляции угольных шахт рекомендуется брать за основу для расчета необходимого количества воздуха и обеспечения газовой безопасности.

Коэффициент неравномерности метановыделения для каждого месяца наблюдений с 1-го по 10-й вычисляли по общепринятой формуле

$$k_H = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ср}}} = 1 + 3 \frac{\sigma_I}{I_{\text{ср}}}. \quad (1)$$

Связь k_H и $I_{\text{ср}}$ по данным с 1-го по 10-й месяц описана уравнением регрессии со значимым коэффициентом корреляции:

$$k_H = 11,57 I_{\text{ср}}^{-0,96}. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет аналогичный вид с зависимостью, приведенной в действующем руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт, но $I_{\text{ср}}$ имеет большее влияние.

Как и в работе [1], отклонение прогнозируемых средних значений метановыделения $I_{\text{ср.р}}$ от фактических $I_{\text{ср.ф}}$ оценивалось отношением $I_{\text{ср.ф}} / I_{\text{ср.р}}$. Полученная зависимость отражает аналогичный эффект влияния больших нагрузок – фактически метана выделяется меньше, чем ожидается (рис. 2):

$$I_{\text{ср.ф}} / I_{\text{ср.р}} = 2,42 - 0,0007 A_{\text{ср}}. \quad (3)$$

Отклонение максимальных прогнозируемых значений $I_{\text{maxф}} / I_{\text{maxр}}$ имеет противоположную тенденцию, оно увеличивается с ростом $A_{\text{ср}}$. Надежность полученного уравнения регрессии подтверждается значимым коэффициентом корреляции и имеет вид

$$I_{\text{maxф}} / I_{\text{maxр}} = 0,65 + 0,0002 A_{\text{ср}}. \quad (4)$$

Как видно из рис. 2, при увеличении нагрузки более 2150 т/сут отношение (4) становится больше единицы, т.е. фактическое максимальное метановыделение становится больше расчетного. Возникает опасная ситуация. Подаваемое количество воздуха, рассчитанное на основе заниженного прогнозируемого значения, становится недостаточным для разбавления метана до безопасных концентраций.

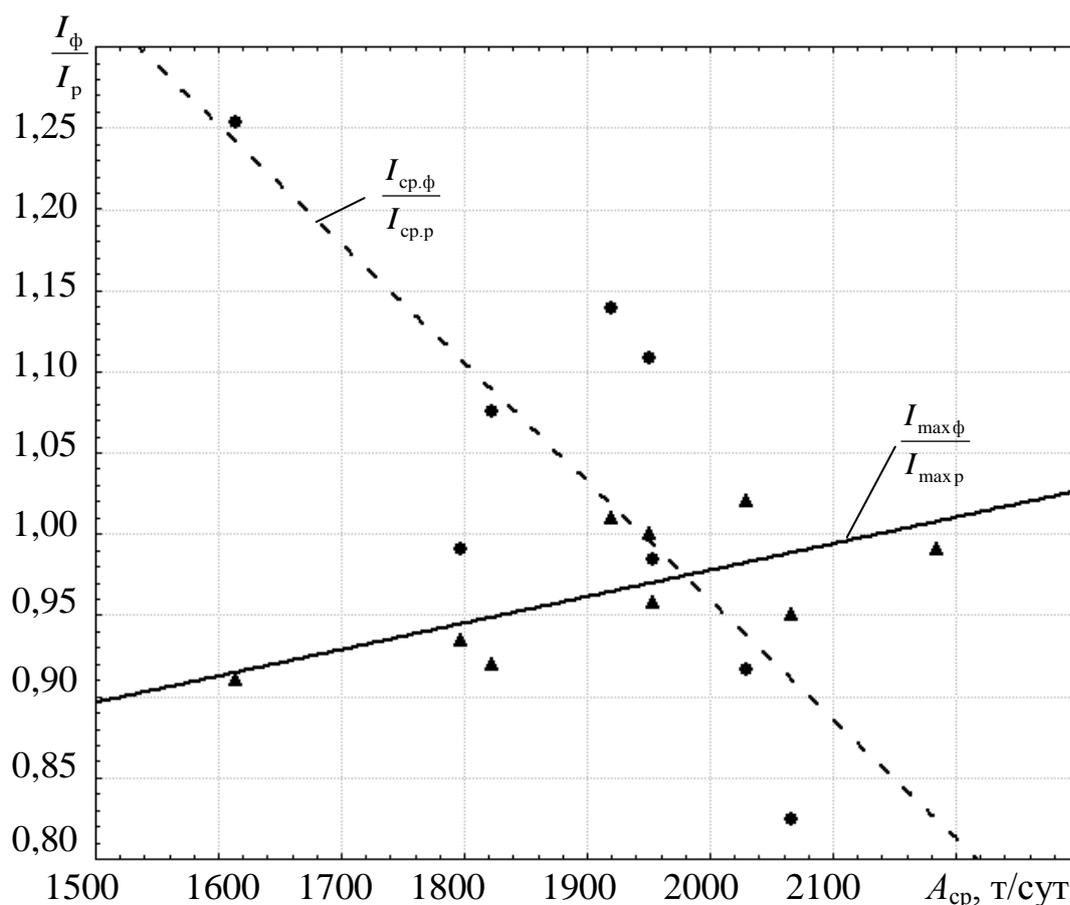


Рис. 2. Влияние нагрузки на отклонение прогнозируемых значений метановыделения от фактических:

- – отклонения средних значений $I_{ср.ф} / I_{ср.р}$;
- ▲ – отклонения максимальных значений $I_{макс.ф} / I_{макс.р}$

Таким образом, несмотря на низкие концентрации метана в течение большинства дней в текущем месяце, по мере увеличения нагрузки на механизированный комплекс возможны редкие аномально высокие значения метановыделения, превышающие прогнозируемые значения. Поэтому необходимо корректирование расчетных максимальных значений метановыделения. Реализовать его можно исходя из уравнения (4):

$$I_{макс\ кор} = I_{макс\ р} (0,65 + 0,0002 A_{ср}). \quad (5)$$

Если необходимое количество воздуха невозможно обеспечить из-за ограничений по максимально допустимой скорости в очистном забое, то необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия по обеспечению газовой безопасности на выемочном участке: переход на более эффективные

схемы проветривания, повышение эффективности дегазации или ограничение нагрузки на механизированный комплекс.

Выводы

- При отработке выемочного участка современными механизированными комплексами происходит изменение нагрузки от минимальных значений до максимальных, технически возможных, что вызывает изменения в динамике процесса метановыделения.

- Изменения динамики процесса метановыделения происходят при достижении критического уровня нагрузок.

- При росте нагрузки выше критического уровня средние значения метановыделения в исходящую струю выемочного участка значительно снижаются, но возникает значительная неравномерность метановыделения и наблюдаются редкие аномально большие метановыделения. Поэтому для исключения взрывоопасных ситуаций необходимы мероприятия по снижению концентрации метана.

- Из-за заниженных максимальных расчетных значений метановыделения нормативное обоснование необходимого количества воздуха для проветривания выемочного участка необходимо корректировать. Проведенные исследования подтверждают возможность такого корректирования применительно к конкретному выемочному участку на основе шахтного мониторинга.

Список литературы / References

1. Касимов, О. И. Метановыделение в очистные выработки угольных шахт / О. И. Касимов, Б. В. Бокий, И. В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2007. – № 1. – С. 232 – 238.

Kasimov, O. I., Bokiyy, B. V., Nazimko, I. V. *Metanovydeleniye v ochistnyye vyrabotki ugol'nykh shakht* [Methane release into stopes of coal mines]. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy* [Proceedings of the UkrNDMI of the National Academy of Sciences of the Ukraine]. 2007, no. 1, pp. 232-238.

2. Бокий, А. Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку / А. Б. Бокий // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць/ Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Метан вугільних родовищ України». – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 88. – С. 247 – 255.

Bokiyy, A. B. *Vliyaniye urovnya ugledobychi na debit parnikovyykh gazov v ochistnyuyu vyrabotku* [Influence of the level of coal mining on the output of greenhouse gases into the stope]. *Geotekhnichna mekhanika: mizhvid. zb. nauk. prats'*. *In-t geotekhnichnoi mekhaniki im. M. S. Poliakova NAN Ukrainy. Materialy*

6 *Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Metan vugil'nykh rodovyshch Ukrainy"* [Geotechnological mechanics: interdepartmental collection of scientific papers. M.S. Polyakov Institute of geotechnological mechanics of the National Academy of Sciences of the Ukraine]. Dnipropetrovsk, 2010, issue 88, pp. 247-255.

3. Мещанинов, С. К. К вопросу о влиянии дегазации на газовый режим рабочего пространства очистного забоя / С. К. Мещанинов, С. В. Борщевский, В. В. Гончаренко // Вісті Донецького гірничого інституту: сб. науч. тр. / ДонНТУ. – 2010. – № 1. – С. 187 – 193.

Meshchaninov, S. K., Borshchevskiy, S.V., Goncharenko, V.V. *K voprosu o vliyanii degazatsii na gazovyy rezhim rabocheho prostranstva ochistnogo zaboya* [To the question of influence of degassing on gas conditions of the working area of a stope]. *Visti Donets'kogo girnychogo instytutu: sb. nauch. tr. DonNTU* [News of the Donetsk institute of mines: proceedings of the DonNTU]. 2010, no.1, pp. 187-193.

4. Крыжановский, Ю. Ю. О максимальном газовыделении в горные выработки при отработке угольных пластов / Ю. Ю. Крыжановский, Н. И. Антощенко, Р. Л. Гасюк // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка-МакНИИ, 2013. – № 2(32). – С. 24 – 38.

Kryzhanovskiy, Yu.Yu., Antoshchenko, N.I., Gasyuk, R.L. *O maksimal'nom gazovydelenii v gornyye vyrabotki pri otrabotke ugol'nykh plastov* [On the maximum gas release into mine workings by mining the coal seams]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: sb. nauch. tr. MakNII* [Methods and means of creation of safe and healthy working conditions: proceedings of the MakNII]. Makeyevka-MakNII, 2013, no. 2(32), pp. 24 – 38.

5. Безопасная отработка газоносных угольных пластов с учетом геомеханических процессов сдвижений подработанных пород: монография / Н. И. Антощенко, В. П. Коптиков, П. Е. Филимонов и др. – Алчевск: ДонГТУ, 2014. – 339 с.

Antoshchenko, N. I., Koptikov, V.P., Philimonov, P.Ye. etc. *Bezopasnaya otrabotka gazonosnykh ugol'nykh plastov s uchyotom geomekhanicheskikh protsessov sdvizheniy podrabotannykh porod: monografiya* [The safe mining of the gas-bearing coal seams subject to geomechanical processes of movement of the rocks underworked: monograph]. Alchevsk, DonGTU Publ., 2014, 339 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Ю.В. Кудиновым.
Дата поступления рукописи 29.11.2017

*Svetlana Ivanovna Kulakova, postgraduate student; e-mail: Svet.Kulakova@gmail.com
The State Educational Institution of Higher Occupational Education
“The Donbas State Technical University”
94204, Alchevsk, 16, prospekt Lenina. Phone (06442) 2-31-23*

SAFETY OF FULLY MECHANIZED FACES BY HEAVY LOADS

Purpose. A more precise definition of the maximum values of methane release being predicted by heavy loads on a mechanized complex and justification of necessity of carrying-out the additional measures on lowering the methane contents up to safe values in return ventilation streams in a working area thereupon.

Methods. Analysis and generalization of investigations of the methane release process within the limits of the working area and of the influence of the heavy loads created by the modern mechanized complexes on this process. Normative methods of estimation of methane release, mathematical statistics methods for processing the experimental data, i.e. correlation and regression analyses.

Results. The loads on the mechanized complex that are larger than the critical range influence on parameters of the methane release process (monthly average and roof-mean-level square deviation). The monthly averages decrease, but the irregularity of the methane release increases. The maximum values increase in spite of lowering the averages at the expense of the growth of the irregularity coefficient. Beginning from the defined level of the loads the actual maximum values become larger than the predicted values that were calculated according to the normative document currently in force. The regression equation was obtained to correct the predicted maximum methane release values depending on the load planned.

Scientific novelty. It was ascertained that the growth within the limits of the heavy loads leads to increase of the irregularity of methane release. The regression equation describing the influence of the heavy loads on the relationship of the actual maximum values of methane release to the values calculated according to the normative document was obtained.

Practical value. The increase of the load on the mechanized complex within the limits of its large values results in that fact that the actual maximum methane release becomes larger than the maximum value calculated according to the normative document. The corrected prediction of the maximum methane release permits to raise the reliability of calculation of air necessary for dilution of methane in the return ventilation stream up to allowable contents as well to substantiate the necessity of carrying-out the additional degassing measures.

Keywords: *stope; load; critical range; methane release; monitoring; dynamics of methane release; average value; roof-mean-level square deviation; irregularity coefficient; maximum value; prediction.*

УДК [331.344.2-037:622-051]:620.178.162

Сергей Леонидович Тарасенко, завотделом; e-mail: tarasenko74@mail.ru

Государственное учреждение «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности»

286132, Макеевка, ул. Лихачева, 60. Тел. (+38 0623) 22-22-18

ИСПЫТАНИЕ ТКАНИ НА СТОЙКОСТЬ К ИСТИРАНИЮ

Цель. Разработка и изготовление прибора, предназначенного для испытания на стойкость к истиранию тканей разных свойств: хлопчатобумажных и смешанных синтетических и шелковых, полушелковых, из химических волокон и нитей для изготовления спецодежды.

Методика. Методика определения стойкости к истиранию по плоскости распространяется на технические ткани. Сущность метода заключается в определении количества циклов истирания, выдерживаемых тканью до разрушения одной-двух нитей (для фильтровальных и многослойных тканей) или до образования дыры (для других видов технических тканей).

Результаты. Изготовлен прибор ПИТ, предназначенный для испытания тканей на стойкость к истиранию; разработана методика определения стойкости тканей к истиранию; инструкция по эксплуатации прибора; программа и методика аттестации прибора и проведена его аттестация.

Научная новизна. Впервые изготовлен прибор, предназначенный для испытания тканей на стойкость к истиранию, позволяющий оценить степень изменения эксплуатационных и гигиенических характеристик спецодежды в зависимости от условий ее эксплуатации.

Практическая значимость. Применение прибора ПИТ в лабораторных условиях позволит прогнозировать степень изменения характеристик тканей в процессе эксплуатации спецодежды шахтеров.

Ключевые слова: *износостойкость; поверхностная плотность ткани; циклы истирающих воздействий; гигиенические и эксплуатационные характеристики тканей.*

Постановка задачи. Условия труда на предприятиях угольной промышленности характеризуются многообразием горно-геологических, горно-технических, климатических и микроклиматических условий, определяющих характер и степень необходимой защиты шахтеров от опасных и вредных производственных факторов, в том числе за счет применения средств индивидуальной защиты. Горнорабочих обеспечивают спецодеждой, изготавливаемой по ГОСТ 12.4.110-82, приспособленной для работ только на пластах большой мощности. Использование ее на маломощных или крутопадающих пластах приводит к ухудшению гигиенических и эксплуатационных характеристик и как следствие снижению сроков носки. Исследования эксплуатации этой спецодежды на маломощных пластах показали, что она быстро выходит из строя из-за интенсивного локального износа, поскольку ее участки подвергаются повышенному износу и не совпадают с зонами защиты, предусмотренными указанным стандартом.

В процессе эксплуатации отдельные участки и детали спецодежды претерпевают растяжение, изгиб, сжатие, сдвиг, истирание при трении о почву и ткани о ткань, что имеет место в брюках в области шаговых швов, а также на участке рукав – область бокового шва, при истирающем воздействии батареи

головного светильника по низу куртки. Многократные воздействия этих изнашивающих факторов в конечном счете приводят спецодежду к разрушению. Исследования эксплуатационных характеристик спецодежды в шахтных условиях показывают, что основными разрушающими дефектами являются: появление сквозных потертостей в области локтей, колен, мест сидения (особенно при работе на крутом падении), в области шаговых швов, разрушение материала по низу брюк, подкладки пояса, появление дыр внизу карманов курток и брюк вследствие повреждений острыми предметами. При этом разрушаются в первую очередь нити и волокна, непосредственно соприкасающиеся с истирающей поверхностью, т.е. разрушается опорная поверхность материала.

Структура и площадь опорной поверхности оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства материалов для одежды и играют важную роль в их характеристике. По сгибам в низках рукавов, в низках брюк, по краям карманов, по подогнутому краю усилительных нашивок наблюдается истирание по сгибу. Здесь вначале происходит разрушение нитей по сгибу, затем появляются дыры. Существенным недостатком является и тот фактор, что в процессе стирки спецодежда из тканей с синтетическими нитями значительно осыпается по срезам в области шва, по окату рукава в пройме, что в конечном счете ослабляет прочность швов. Значительной осыпаемостью тканей с синтетическими волокнами можно объяснить довольно быстрое разрушение ткани при разрыве боковых и шаговых швов, в низках куртки и брюк, после разрыва шва, соединяющего передние половинки брюк. Наблюдается также осыпаемость нитей в ткани при отрыве планки и держателей пряжек и разрушение обметанной петли в поясе брюк.

Значительный удельный вес составляют дефекты в швах спецодежды. Соединение деталей спецодежды с помощью шва «в замок» с одной стороны способствует снижению осыпаемости, с другой, увеличивая толщину материала, особенно в местах крепления усилительных нашивок, приводит к повышению жесткости швов. С целью упрочнения участков спецодежды, наиболее подвергающихся истиранию, применяют усилительные нашивки из материала костюма в области плеч и локтей курток, в области колен и в местах сидения в брюках. Однако, как показали проведенные ранее работы по изучению износа спецодежды шахтеров, применение ткани костюма в качестве усилительных нашивок не решает проблему повышения износостойкости спецодежды. Среднее время безотказной эксплуатации спецодежды в 1,5...2 раза меньше нормативного срока, но наличие элементарного профилактического ремонта может несколько продлить фактический срок службы.

Как следствие указанных процессов в местах разрушения ткани спецодежды существенно снижается или вообще отсутствует защита кожных покровов от микротравм и производственных загрязнений, собственно, для чего спецодежда горнорабочих и предназначена в первую очередь, приводя к возникновению пиодермитов.

В этой связи определение реальных сроков носки спецодежды шахтеров имеет большое значение для установления пределов эксплуатационных и гигиенических характеристик. Наиболее эффективным направлением оценки эксплуатационных свойств спецодежды является определение этих показателей путем испытания тканей в лабораторных условиях. В то же время оборудование, предназначенное для испытания тканей на стойкость к истиранию по большой плоскости, которое позволило бы оценить степень изменения эксплуатационных и гигиенических характеристик спецодежды, до настоящего времени не создано. В связи с этим и исходя из принципа сохранения защитных свойств средств индивидуальной защиты невозможно установление их ассортимента и максимально допустимых сроков службы.

Анализ последних исследований. Проведенный анализ литературных источников по данной проблеме показал, что в настоящее время не предусмотрено применение в практике лабораторных исследований тканей, прибора или стенда, предназначенного для их испытания на стойкость к истиранию по большой плоскости. Соответственно не разработаны методика определения стойкости тканей к истиранию, инструкция по эксплуатации прибора, программы и методики его аттестации. В первую очередь это объясняется отсутствием научно обоснованных подходов в постановке проблемы определения эффективности защитных и эксплуатационных характеристик с целью разработки перспективных направлений в их создании и совершенствовании спецодежды [1 – 3].

Цель настоящей работы – создание прибора, предназначенного для испытания на стойкость к истиранию хлопчатобумажных, смешанных синтетических и шелковых, полупшелковых, из химических волокон и нитей тканей для изготовления спецодежды.

Результаты исследования. Для изучения интенсивности воздействия механических факторов производственной среды на спецодежду горнорабочего разработан и изготовлен прибор ПИТ (см. рисунок), предназначенный для испытания тканей на стойкость к истиранию и позволяющий оценить степень изменения эксплуатационных и гигиенических характеристик спецодежды в зависимости от условий ее эксплуатации.

Прибор состоит из станины, изготовленной из чугуна, на которой смонтированы все остальные детали прибора. Пяльцы служат для заправки абразива. Закрепляют абразив (серо-шинельное сукно) на пяльцах при помощи кольца и откидных винтов. Рабочая поверхность пялец представляет собой кольцо с плоской поверхностью, пяльцы с заправленным абразивом устанавливают на конус прибора, для чего на пяльцах имеется конусная лунка. Штифт в конусе удерживает пяльцы от вращения. При появлении дыры на ткани система замыкания сети в виде проволоки, закрепляемой в зажимах, которые расположены на пяльцах, останавливает прибор. На бегунке укреплен головка с обоймой для заправки в них образцов ткани.

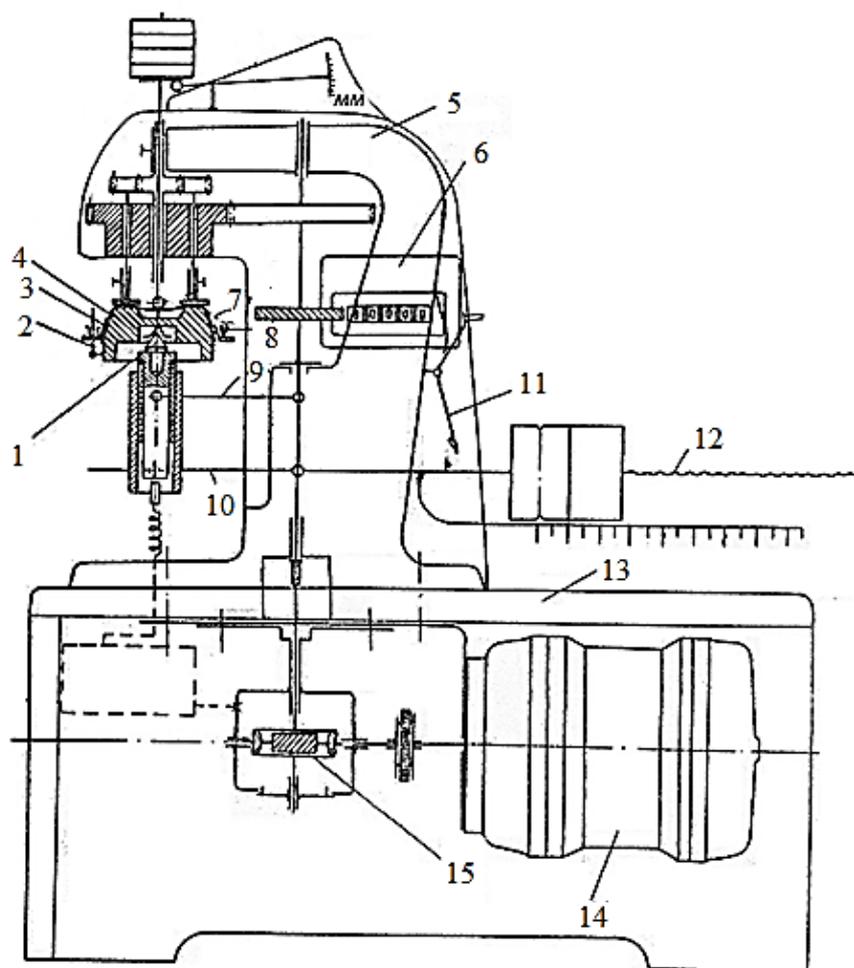


Схема прибора для испытания ткани на стойкость к истиранию:

- 1 – конус; 2 – откидной винт; 3 – кольцо; 4 – пальцы; 5 – станина; 6 – счетчик;
 7 – проволока; 8 – зажим; 9 – верхний рычаг; 10 – нижний рычаг; 11 – защелка;
 12 – рычажно-грузовая система; 13 – основание; 14 – электродвигатель; 15 – редуктор

Обойма с заправленным в нее образцом ткани вращается относительно своей оси, одновременно с бегунком совершая движение в плоскости касания абразива. Рычажно-грузовая система представляет собой механизм, обеспечивающий прижим палец с абразивом к образцу ткани, и состоит из шарнирно закрепленного верхнего и нижнего рычагов. На заднем конце нижнего рычага имеется стержень с резьбой, на который надеты два цилиндрических груза. Перемещением грузов по резьбе стержня достигается требуемый прижим палец с абразивом к образцу ткани. К нижнему рычагу прикреплена шкала, деления которой указывают нагрузку на абразив при соответствующем положении грузов. На шкалу нанесены два ряда делений. Верхний ряд делений указывает нагрузку при работе с одним грузом, нижний ряд – при работе с двумя грузами. На станине прибора имеется защелка, удерживающая нижний рычаг с грузами при съеме палец для замены абразива. На пальцах в зажимах укреплен проволока из нихрома $\varnothing 0,2$ мм, свободно

лежащая поверх сукна. В случае появления дыры на ткани грибок касается проволоки на абразиве и замыкает цепь электронного реле, выключающего электродвигатель, приводящий прибор в движение. Сбоку на приборе смонтирован счетчик. Счетчик фиксирует количество оборотов бегунка с образцом ткани относительно пялец с абразивом и при автоматической остановке показывает количество стирающих циклов, выдержанных тканью до разрушения. В начале каждого испытания показания счетчика устанавливаются на нуль. Привод прибора осуществляется от электродвигателя $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$. Электродвигатель приводит во вращение червячный редуктор прибора. Бегунок вращается со скоростью 100 мин^{-1} . В основании прибора размещены редуктор и часть электрооборудования.

Испытания до разрушения одной-двух нитей проводят следующим образом. Счетчик циклов перемещения абразива устанавливают на нуль. Пяльцы с заправленной элементарной пробой с помощью рычажно-грузовой системы поднимают до соприкосновения с абразивом, заправленным в бегунок-стирающую головку, и включают прибор. Затем проводят предварительное истирание двух контрольных элементарных проб до разрушения одной-двух нитей. Для этого прибор периодически (через каждые 10...20 циклов) останавливают, удаляют абразивную пыль мягкой кисточкой и осматривают поверхность пробы ткани.

При разрушении одной-двух нитей прибор включают, записывают по счетчику количество циклов истирания и определяют среднее арифметическое количество циклов истирания до разрушения одной-двух нитей контрольных элементарных проб $n_{к.п.}$. Гарантированное количество циклов истирания n_1 до первой остановки прибора, необходимой для осмотра поверхности проб, вычисляют по формуле

$$n_1 = 0,5 n_{к.п.} \quad (1)$$

Вычисление проводят до целого числа с последующим округлением до числа, кратного пяти. Интервал n_2 между последующими остановками прибора вычисляют по формуле

$$n_2 = 0,1 n_{к.п.} \quad (2)$$

Первую остановку прибора делают при показании счетчика, равном n_1 циклов. При остановке прибора кисточкой удаляют накопившуюся пыль с абразива и элементарной пробы и осматривают стираемую поверхность.

Дальнейшие остановки прибора, вплоть до разрушения одной-двух нитей, осуществляют через каждые n_1 циклов. При разрушении одной-двух нитей на поверхности опытной элементарной пробы прибор выключают. Количество циклов до разрушения одной-двух нитей при истирании каждой элементарной пробы фиксируют в протоколе.

Обрабатывают результаты испытаний следующим образом. При истирании до разрушения одной-двух нитей по каждой элементарной пробе подсчитывают количество циклов истирания M_i по формуле

$$M_i = n_{i \text{ сч}} - 0,5n_2, \quad (3)$$

где i – номер опытной элементарной пробы;

$n_{i \text{ сч}}$ – показания счетчика;

n_2 – интервал между остановками прибора.

За показатель стойкости ткани к истиранию по плоскости $I_{\text{исп}}$ принимают среднее арифметическое количества циклов истирания до разрушения одной-двух нитей всех опытных элементарных проб. Данный показатель определяют по формуле

$$I_{\text{исп}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n}, \quad (4)$$

где n – количество опытных элементарных проб.

Испытания на истирание элементарных проб до образования дыры проводят следующим образом. Меняют абразив при испытаниях после каждых 5 тыс. циклов истирания элементарных проб. При образовании дыры на элементарной пробе прибор автоматически останавливается. Количество циклов истирания фиксируют счетчиком.

При истирании до образования дыры за показатель стойкости к истиранию принимают среднее арифметическое количество циклов истирания всех элементарных проб. Вычисления проводят до первого десятичного знака с последующим округлением до целого числа. Результаты испытаний записывают в протокол.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В результате проведенных исследований впервые разработан и изготовлен прибор, предназначенный для испытания тканей на стойкость к истиранию и позволяющий оценивать степень изменения эксплуатационных и гигиенических характеристик спецодежды, в зависимости от условий ее эксплуатации прогнозировать характер износа тканей.

Список литературы / References

1. Долженков, А.Ф. О перспективах рационализации средств индивидуальной защиты, применяемых в угольной промышленности / А.Ф. Долженков // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли: 8-9 дек. 2004: тезисы докл. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 180 – 183.

Dolzhnikov, A.F. *O perspektivakh ratsionalizatsii sredstv individual'noy zashchity, primenyayemykh v ugol'noy promyshlennosti* [On prospects of rationalization of individual protection means being used in the coal industry]. *Puti povysheniya bezopasnosti gornyykh rabot v ugol'noy otrasli: 8-9 dek. 2004: tez. dokl.*

[Ways of increasing the safety of mining operations in the coal sector: December 8-9, 2004: heads of reports]. Makeyevka, MakNII, 2004, pp. 180 – 183.

2. Долженков, А.Ф. О совершенствовании системы контроля качества и безопасности средств индивидуальной защиты / А.Ф. Долженков // «Уголь Украины». – № 10. – 2005. – С. 28 – 30.

Dolzhenkov, A.F. *O sovershenstvovanii sistemy kontrolya kachestva i bezopasnosti sredstv individual'noy zashchity* [On improvement of the quality and safety control system of individual protection means]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2005, no. 10, pp. 28 – 30.

3. Организация и порядок сертификации средств индивидуальной защиты на Украине / А.Ф. Долженков, Ю.А. Иванов, А.Ф. Макаев, А.Г. Квитко // Актуальные проблемы медицины труда и экологии Донбасса: сб. науч. тр. – Донецк: Каштан, 2000. – С. 54 – 55.

Dolzhenkov, A.F., Ivanov, Yu.A., Makayev, A.F., Kvitko, A.G. *Organizatsiya i poryadok sertifikatsii sredstv individual'noy zashchity na Ukraine* [Organization and order of certification of individual protection means in the Ukraine]. *Aktual'nyye problemy meditsiny truda i ekologii Donbassa: sb. nauch. tr.* [Actual problems of the labor medicine and ecology of the Donets Basin: collection of scientific papers]. Donetsk, Kashtan, 2000, pp. 54 – 55.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым.
Дата поступления рукописи 29.08.2017

Sergey Leonidovich Tarasenko, head of department; e-mail: tarasenko74@mail.ru
The State Institution "Makeyevka Research Institute for Mining Safety"
286132, Makeyevka, 60, ulitsa Likhachyova. Phone: +38 0623-22-22-18

ABRASION RESISTANCE TESTING OF FABRICS

Purpose. Working-out and manufacture of a device intended for abrasion resistance testing the fabrics of various compositions: cotton and mixed synthetic and silk, semi-silk fabrics, cloths from chemical filaments and fibers for making the working clothes.

Methods. The methods of determination of the surface abrasion resistance apply to technical fabrics. The essence of the method consists in determination of the abrasion cycle life that endures the fabric up to destruction of one-two fibers (for filter and multilayer cloths) or up to formation of a hole (for other technical fabrics).

Results. The ПИТ device intended for the abrasion resistance testing of the fabrics was manufactured; the methods of determination of the abrasion resistance of the fabrics; service instruction of the device; program and methods of certification of the device were worked out, and its certification was carried out.

Scientific novelty. The device intended for the abrasion resistance testing of the fabrics allowing estimating the degree of change of operational and hygienic characteristics of the working clothes depending on their operating conditions was manufactured for the first time.

Practical value. The application of the ПИТ device under laboratory conditions will permit to forecast the degree of change of the operational and hygienic characteristics of the fabrics in the process of the use of the working clothes of mine workers.

Keywords: *wear resistance; surface sett; abrasion influence cycles; hygienic and operational characteristics of fabrics.*

Требования к оформлению 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 отступлением 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 структурированным и содержать следующие элементы: цель; методика; результаты; научная новизна; практическая значимость; ключевые слова (5–15 слов) на русском и английском языках, реферат не должен повторять названия статьи;
- 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 задачи);
- описание методики (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 9 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, фото и др.) располагаются вместе с текстом в местах ссылок на них. Подписи к рисункам должны содержать нумерацию в порядке размещения в тексте и объяснительную подпись. Недопустимо включать подписи в сам рисунок.

Формулы в статьях должны быть набраны с помощью редактора формул (внутренний редактор формул в редакторе Microsoft Word for Windows или Microsoft Equation), стиль – математический (курсив). Формулы отделяют от текста сверху и снизу одним интервалом. Нумерация формул, на которые есть ссылка в тексте, – справа в скобках. Все физические величины приводятся в системе СИ.

Таблицы – в книжной ориентации, они должны иметь тематические заглавия и номера, фон таблицы другим цветом не выделяют. Желательная длина таблицы – не больше одной страницы.

Список литературы (не более 15 источников с датой их издания не ранее чем за 10 лет и количеством самоссылок до 20 %) приводится в порядке упоминания в тексте.

Статья должна быть тщательно проверена, печатный вариант – подписан всеми авторами и сопровождаться письменной рекомендацией доктора наук соответствующего профиля.

Ответственность за содержание статьи несет автор. Предоставленные материалы не возвращаются.

Статьи, которые не отвечают требованиям редакции, не рассматриваются.

Научный вестник НИИГД «Респиратор»

Научно-технический журнал
2018, № 1(55)

На русском и английском языках

Редактор Э.Я. Бранопольская

Переводчик О.А. Шестакова

Верстальщик Т.Н. Филатова

Учредитель и издатель

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

Поступившие на издание статьи проходят рецензирование

Подписано к использованию 14.02.2018.

Адрес редакции и издателя: НИИГД «Респиратор», ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: (+38 062) 332-78-01; 332-78-64

Объем 3,0 Мб

E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

Дата размещения на сайте 14 февраля 2018 г.