



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

№ 4(54)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

---

---

Донецк  
2017

---

---

УДК 614.8"363"+355.244.2+622.867

Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 4(54). – 120 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 по специальности «Безопасность жизнедеятельности человека» (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.С. Гребёнкин
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 № 7 от 28.09.2017).

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. 4(54)

Published quarterly

Found in 1970

---

---

Donetsk  
2017

---

---

UDC 614.8"363"+355.244.2+622.867

Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal. – Donetsk, 2017. – No. 4(54). – 120 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 on the specialty "Human social safety" 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.S. Grebyonkin
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. 7 from 28.09.2017).

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***

**Агеев В.Г., Кострубицкий А.А.**  
 Параметры многофункционального  
 пожарного ствола для воздействия на  
 очаги горения 7

**Богомаз А.М., Осадчий А.В.,  
 Дикенштейн И.Ф.**  
 Пожароопасность помещений  
 с маслonaполненным  
 электрооборудованием 14

**Греков С.П., Орликова В.П.,  
 Глушенко К.В., Волюнец В.В.**  
 Условия теплообмена при очаговом  
 самонагревании скопления торфа 21

**Головченко Е.А.**  
 Теплонакопление в краевой части  
 угольного массива 32

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

**Пашковский П.С., Карнаух Н.В.,  
 Мавроди А.В., Захлебн В.В.**  
 Влияние газоотсасывающей установки  
 на распределение воздуха в выемочных  
 участках 42

**Высоцкий С.П., Писаренко А.В.**  
 Методы увеличения структурной  
 прочности грунтов 52

**Воронов П.С., Карнаух Н.В.,  
 Мавроди А.В.**  
 Интенсивность изменения метано-  
 выделения на выемочных участках при  
 отключении системы дегазации 60

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

**Ageyev V.G., Kostrubitskiy A.A.**  
 Parameters of the multifunctional fire-hose  
 barrel for influence on heat sources

**Bogomaz A.M., Osadchiy A.V.,  
 Dikenshteyn I.F.**  
 Fire hazard of premises with the oil-filled  
 electric equipment

**Grekov S.P., Orlikova V.P.,  
 Hlushenko K.V., Volynets V.V.**  
 Heat exchange conditions by the fireplace  
 spontaneous heating of a peat accumulation

**Golovchenko Ye.A.**  
 Heat accumulation in the boundary part of  
 the coal massif

***II. Safety in emergencies***

**Pashkovskiy P.S., Karnaukh N.V.,  
 Mavrodi A.V., Zakhlebin V.V.**  
 Influence of a gas-suction installation on air  
 distribution in excavation districts

**Vysotskiy S.P., Pisarenko A.V.**  
 Methods of increase of the structural  
 solidity of soils

**Voronov P.S., Karnaukh N.V.,  
 Mavrodi A.V.**  
 Intensity of change of methane emission  
 at excavation districts by cutout  
 of the degassing system

**Пeftибай Г.И., Галухин Н.А.,  
Курбацкий Е.В.**

Быстротвердеющие зольно-цементные  
и шлакоцементные смеси для  
возведения взрывоустойчивых  
перемычек

70

### **III. Охрана труда**

**Мамаев В.В., Розанова Е.Н.,  
Дикенштейн И.Ф.**

Роль человеческого фактора в уровне  
травматизма пожарных

82

**Долженков А.Ф., Тарасенко С.Л.**  
Эксплуатационные свойства ткани  
для спецодежды шахтеров

92

**Пенчук В.А., Новичков Ю.А.**  
Оптимизация рециклинга шин  
пневмоколесной техники для  
безопасной их утилизации

101

**Кременев О.Г., Овчаренко В.Л.**  
Коэффициент равновесия радона с  
дочерними продуктами его распада в  
горных выработках угольной шахты

109

**Требования к оформлению статьи**

119

**Peftibay G.I., Galukhin N.A.,  
Kurbatskiy Ye.V.**

Rapid-hardening ash-cement and slag-  
cement mixtures for erection of explosion-  
stable stoppings

### **III. Labor protection**

**Mamayev V.V., Rozanova Ye.N.,  
I.F. Dikenshteyn**

The role of the human factor in the injury  
rate of firemen

**Dolzhenkov A.F., Tarasenko S.L.**

The economic damage because of pollution  
of the environment with collieries

**Penchuk V.A., Novichkov Yu.A.**

Optimization of recycling the tires of the  
rubber-mounted equipment for their safe  
utilization

**Kremenyev O.G., Ovcharenko V.L.**

Equilibrium coefficient of radon with  
daughter products of its decay in mine  
workings of a coal mine

**Requirements of execution of an article**

## I. Пожарная и промышленная безопасность

УДК 614.843.4:[614.842.615+614.842.612]

*Владимир Григорьевич Агеев, д-р техн. наук, директор; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-00;*

*Алексей Александрович Кострубицкий, министр; e-mail: [mchs-dnr@mail.ru](mailto: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*

### ПАРАМЕТРЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО СТВОЛА ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОЧАГИ ГОРЕНИЯ

**Цель.** Определение параметров многофункционального пожарного ствола для эффективного пожаротушения.

**Методика.** Разработка конструктивных параметров ручного пожарного ствола; экспериментальное исследование дальности подачи огнетушащих веществ и площади орошения; сравнение расчётных и экспериментальных данных.

**Результаты.** Рассмотрены схемы основных элементов ручного пожарного ствола, в частности, с пенной струёй различной кратности, со сплошной и распылённой водяными струями, с теплозащитным водяным экраном. Предложены расчётные формулы для определения дальности подачи струй и площади орошения. Адекватность математической модели подтверждена результатами испытаний. Установлено, что чем больше кратность пены, тем меньше дальность её подачи, но больше площадь орошения. При кратности пены, равной единице, пена, по сути, является водой.

**Научная новизна.** Результаты испытаний ручного многофункционального пожарного ствола позволили установить адекватность математической модели динамики пенных и водяных струй при воздействии на зону горения.

**Практическая значимость.** Полученные результаты можно использовать при выборе параметров многофункционального пожарного ствола и оценке эффективности воздействия пенных и водяных струй на очаг пожара.

**Ключевые слова:** *пожарный ствол; пена; вода; зона горения; испытания ствола; динамика струй; аналитические зависимости; адекватность модели; эффективность тушения.*

**Постановка проблемы.** Обновление средств подачи огнетушащих веществ на очаги пожара в соответствии с уровнем мировых стандартов и научно-технических достижений сопровождается появлением нового поколения пожарных стволов. В отличие от применяемых ранее универсальные стволы позволяют подавать воду в виде сплошной и распылённой струй в широком диапазоне расходов и давлений, подавать пену низкой и средней кратности, создавать водяной экран из распыленной воды для защиты ствольщика от теплового излучения пожара.

Известно, что эффективность тушения пожаров в значительной степени зависит от совершенствования приёмов и способов подачи огнетушащих веществ. В пожарной службе используют стволы, не обладающие универсальностью.

**Анализ последних исследований.** Одним из существенных недостатков большинства современных стволов [1 – 4] является неспособность образовывать устойчивую пену низкой кратности, что значительно снижает эффективность тушения пожара.

Для тушения пожаров в ДНР применяют воздушно-пенные стволы СВП и СВПЭ, которые предназначены для получения воздушно-механической пены низкой кратности из 6 %-го водного раствора пенообразователя и направления её в очаг пожара. К недостаткам стволов данного типа следует отнести способность образовывать воздушно-механическую пену с кратностью 7...8 лишь при расходе пенообразователя 0,36 л/с. Кроме того, переход при тушении от одного типа ствола к другому требует существенной затраты времени, что в условиях развивающегося пожара может привести к высокому материальному ущербу и значительным потерям человеческих ресурсов.

Таким образом, успехи борьбы с пожарами требуют разработки многофункционального пожарного ствола и определения эффективной дальности подачи и площади орошения зоны горения.

Перспективные направления при этом:

- разработка комбинированных ручных и переносных пожарных стволов с возможностью быстрой замены огнетушащего вещества или конфигураций их струй в процессе тушения пожара;
- разработка конструкций пожарных стволов для обеспечения одновременной подачи струй пены или воды (сплошных и распыленных) на тушение пожара и формирования теплозащитного водяного экрана;
- научное обоснование и разработка многофункциональных пожарных стволов комбинированного типа для повышения эффективности подачи огнетушащего вещества при тушении пожара.

**Цель исследования** – разработка и определение параметров многофункционального пожарного ствола для эффективного пожаротушения.

**Материалы и результаты исследований.** В соответствии с вышеизложенным НИИГД «Респиратор» разработана конструкция многофункционального ручного пожарного ствола комбинированного тушения пожаров воздушно-механической пеной и диспергированной водой с теплозащитным водяным экраном (рис. 1).

Пеногенератор позволяет использовать комбинированный ручной пожарный ствол для подачи пены низкой кратности (рис. 2).

Экспериментальные исследования проведены на базе ПЧ № 9 МЧС ДНР с использованием пожарных машин (автоцистерн) АЦ-40 (130) 63Б и АЦ 40 (540). Целью экспериментальных исследований была оптимизация устройства и размеров пеногенератора для получения на выходе из него пены низкой кратности высокого качества.

Основная задача экспериментальных исследований – получение исходных данных для определения влияния расхода и давления раствора воды и пенообразователя на кратность генерируемой пены.



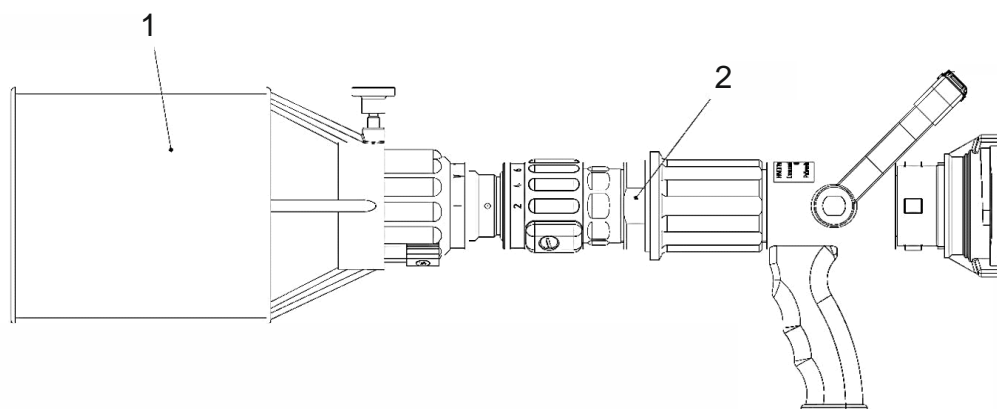


Рис. 1. Схема ручного многофункционального пожарного ствола с пеногенератором:  
1 – пеногенератор; 2 – ствол

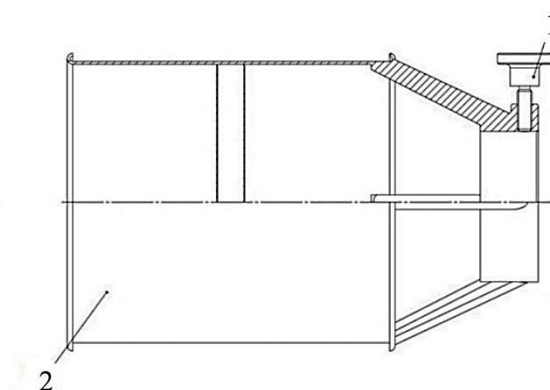


Рис. 2. Схема водопенного насадка (пеногенератора):  
1 – винт; 2 – корпус

Для проведения исследований пожарный ствол присоединяли к рукавной линии и пожарной автомашине. Исследовали пропускную способность пеногенератора в зависимости от давления перед пожарным стволом: 0,2; 0,4 и 0,6 МПа.

Воду в рукавную линию подавали автомашиной. Давление перед пожарным стволом повышали до первого контрольного значения 0,2 МПа. Через 30...60 с расход устанавливался, значения расхода и напора фиксировали. Далее давление перед стволом повышали поэтапно до второго 0,4 МПа и третьего 0,6 МПа контрольных значений в соответствии с тем же алгоритмом действий.

Кратность пены определяли для двух контрольных значений давления 0,4 МПа. Пожарный ствол устанавливали на высоте  $(1 \pm 0,2)$  м от земли и на расстоянии  $(15 \pm 1)$  м от мерного бака. Давление в рукавной линии перед пожарным стволом повышали до первого контрольного значения 0,4 МПа. После достижения установившегося режима струю пены направляли на мерный бак, а после его заполнения отводили в сторону. Проводили серию из пяти экспериментов. Далее давление перед стволом повышали до 0,7 МПа и

проводили серию из пяти экспериментов в соответствии с тем же алгоритмом действий.

Кратность пены определяли как отношение объёма пены к объёму раствора пенообразователя, содержащегося в пене. Определяли расход пены при рабочем давлении 0,4...0,7 МПа. Измерение расхода водного раствора пенообразователя проводили электромагнитным счётчиком воды с переходным расходом воды. За результат принято среднее арифметическое опытных данных пяти измерений.

Для определения дальности пенной струи пожарный ствол устанавливали под углом  $(30 \pm 1)^\circ$  к горизонтали и на высоте  $(1,00 \pm 0,01)$  м от выходного отверстия насадка до площадки. На площадке предварительно делали отметки на расстоянии 5, 10, 15, 20, 25, 30 м от места установки ствола. Расстояние от места установки ствола до места падения крайних частиц пены измеряли рулеткой. Выполнена серия из пяти измерений.

Для определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения на площадке для испытаний устанавливали ёмкости, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда с основанием  $(100 \pm 5) \times (100 \pm 5)$  мм и высотой  $(200 \pm 5)$  мм. Количество ёмкостей – 150. Время сбора пены  $\tau = 5$  мин фиксировали по секундомеру. До фиксации установившихся показаний манометра и по окончании сбора осадков ствол направляли в сторону от площадки. Учитывали только те ёмкости, уровень пены в которых достиг отметки 10 мм.

Эффективную дальность струи определяли как расстояние от насадка ствола до места с наибольшей локальной интенсивностью орошения. Проведена серия из трех экспериментов.

При оценке точности измерений расхода, максимальной дальности, эффективной дальности струи применяли методику обработки прямых измерений. Относительная погрешность измерений при определении расхода не превышала 4 %, дальности и эффективной дальности струи 10 %, средней интенсивности орошения 20 % (см. таблицу).

#### Результаты экспериментальных исследований параметров пожарного ствола

Параметр	Давление перед стволом $P$ , МПа		
	0,2	0,4	0,6
Кратность пены $K$	10,9	11,2	11,9
Расход водного раствора пенообразователя $G_{ж}$ , л/с	0,58	1,39	1,67
Максимальная дальность пенной струи $L$ , м	20	23,8	25,0
Эффективная дальность пенной струи $L_{эф}$ , м	7,5	10,4	14,2
Средняя интенсивность орошения $I$ , л/(с·м <sup>2</sup> )	0,091	0,098	0,115

Обработка и сравнение экспериментальных и расчётных данных позволили получить аналитическую зависимость для практических расчётов дальности подачи струй пены или воды  $L_m$ , м:

$$L_m = \frac{342}{40 + K} \ln(1 + 23G_{\text{ж}} P^2), \quad (1)$$

где  $G_{\text{ж}} = G / K$  – расход жидкости в пене, л/с;

$G$  – расход пены, л/с.

Полученная формула (1) универсальна. При  $K = 1$  она превращается в формулу для расчёта дальности подачи воды.

Как видно на рис. 3, при  $P = 0,6$  МПа наибольшая дальность имеет место при кратности  $K = 1$ , т.е. при струйном течении воды. В то же время с увеличением кратности дальность подачи пены уменьшается и при расходе жидкости 2 л/с и  $K = 50$  равна 10 м.

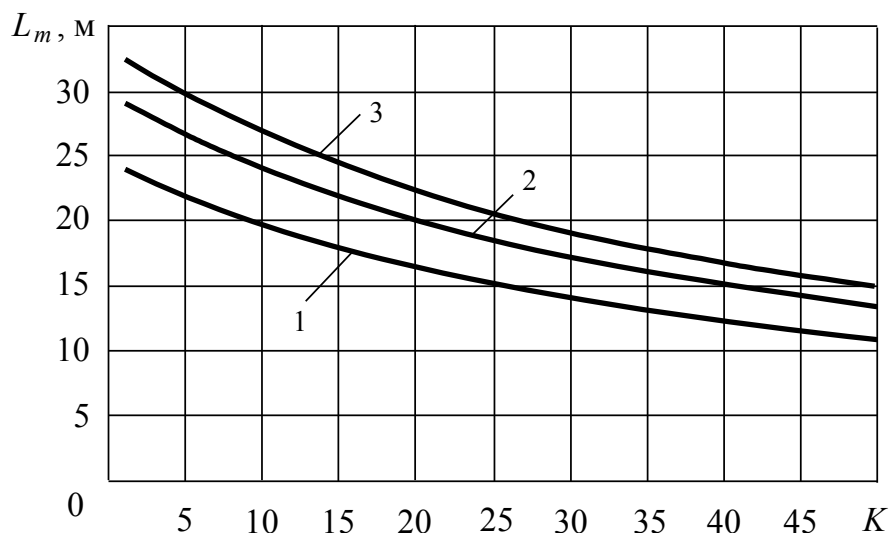


Рис. 3. Изменение дальности подачи воды или пены в зависимости от ее кратности:

1 –  $G_{\text{ж}} = 2$  л/с; 2 –  $G_{\text{ж}} = 4$  л/с; 3 –  $G_{\text{ж}} = 6$  л/с

Для расчёта площади орошения при подаче пены или воды предложена формула (2), в которой примем  $G = KG_{\text{ж}}$ :

$$S_m = 0,057(GL_m)^{0,8}. \quad (2)$$

Как видно на рис. 4, при  $P = 0,6$  МПа с увеличением кратности пены резко увеличивается площадь покрытия очага пожара и при расходе жидкости 6 л/с и  $K = 50$  равна  $45 \text{ м}^2$ .

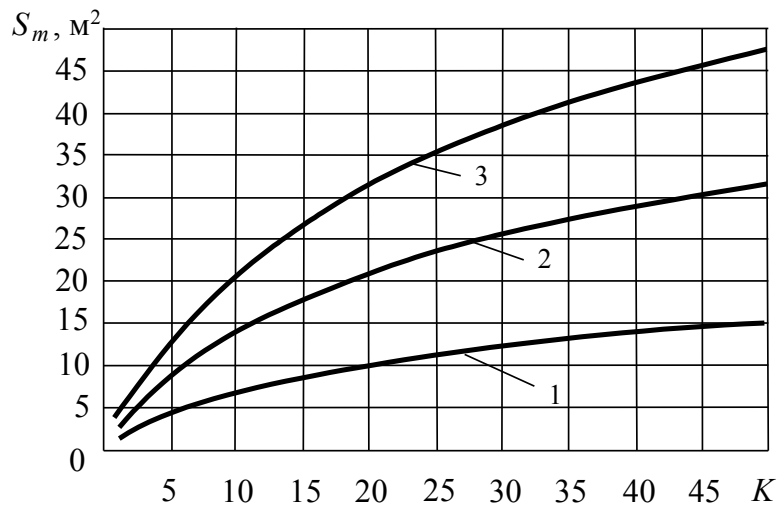


Рис. 4. Изменение площади покрытия очага пожара пеной или водой в зависимости от кратности пены:

1 –  $G_{ж} = 2$  л/с; 2 –  $G_{ж} = 4$  л/с; 3 –  $G_{ж} = 6$  л/с

Таким образом, выполненные экспериментальные и теоретические исследования параметров многофункционального пожарного ствола позволили получить расчётные зависимости для определения максимальной дальности подачи струй пены и воды, а также площади орошения очага пожара.

#### Выводы

1. Разработана и экспериментально исследована конструкция многофункционального ручного пожарного ствола комбинированного тушения пожаров воздушно-механической пеной и диспергированной водой с теплозащитным водяным экраном.

2. Получены аналитические зависимости для определения дальности подачи пены или воды и площади покрытия очага горения огнетушащим веществом.

3. Установлена адекватность математической модели динамики пенных и водяных струй натурному объекту.

4. Обоснованы параметры многофункционального пожарного ствола в результате его испытаний и согласования с данными теоретических исследований.

#### Список литературы / References

1. Пожарный ствол: пат. 46874 Украина, МПК<sup>6</sup> А 62 С 31/02, В 05 В 7/02 / С.С. Компанец. – № 99063091; Заявл. 04.06.1999; Опубл. 17.06.2002.

Компанец, S.S. *Pozharnyy stvol* [Fire-hose barrel]. Patent Ukrainy, no. 46874, 2002.

2. Результати випробувань ручного диспергувального пожежного ствола, розробленого на основі використання гідроімпульсних систем / В.С. Бабенко, В.Ф. Кравчуновський, В.В. Присяжнюк, А.П. Кремена // Пожежна безпека. – 2003. – № 3. – С. 91 – 95.

Babenko, V.S., Kravchunovs'kyi, V.F., Prysiazhniuk, V.V., Kremena, A.P. *Rezultaty vyprobuvan' ruchnogo dysperguval'nogo pozhezhnogo stvola, rozrobenogo na osnovi vykorystannia gidroimpul'snykh system* [Results of testing the dispersing fire-hose barrel worked out on the basis of the use of hydroimpulsive systems]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2003, no. 3, pp. 91 – 95.

3. Белова, А. Стволы Шампани / А. Белова // Пожарное дело. – 2008. – № 6. – С. 22 – 23.

Belova, A. *Stvoly Shampani* [Barrels of Champagne]. *Pozharnoye delo – Fire work*, 2008, no. 6, pp. 22 – 23.

4. Підгайний, А.В. Проблеми пінного пожежогасіння та шляхи їх розв'язання / А.В. Підгайний, В.П. Підгайний // Пожежна безпека. – 2005. – № 7. – С. 39 – 42.

Pidgainyi, A.V., Pidgainyi, V.P. *Problemy pinnogo pozhezhogasinna ta shliakhy ikh rozv'iazannia* [Problems of the fire-fighting with foam and ways of their solution]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2005, no. 7, pp. 39 – 42.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Сынковым.  
Дата поступления рукописи 28.09.2017

*Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.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) 332-78-00;*

*Aleksey Aleksandrovich Kostrubitskiy, Minister, e-mail: [mchs-dnr@mail.ru](mailto:mchs-dnr@mail.ru)*

*The Ministry of the Donetsk People’s Republic for Civil Defense Affairs, Emergencies, and Liquidation of Consequences of Natural Disasters*

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

## PARAMETERS OF THE MULTIFUNCTIONAL FIRE-HOSE BARREL FOR INFLUENCE ON HEAT SOURCES

**Purpose.** Determination of the parameters of the multifunctional fire-hose barrel for the effective fighting the fires.

**Methods.** Working-out the constructive parameters of the hand fire-hose barrel; experimental investigation of feed distance of fire-extinguishing substances and spraying area; comparison of the calculation and experimental data.

**Results.** The outlines of the principal elements of the hand fire-hose barrel, in particular with the foam stream of the various expansion ratio, with the continuous and sprayed water streams, with the heat protective water shield were considered. The design formulae to determine the feed distance of the streams and the spraying area were proposed. The adequacy of the mathematical model is confirmed with the results of the investigations. It is ascertained that the more is the expansion ratio of the foam the less is the distance of its feed but the more is the spraying area. When the expansion ratio of the foam is equal to unity foam is water as a matter of fact.

**Scientific novelty.** The investigation results of the hand multifunctional fire-hose barrel allowed ascertaining the mathematical model of dynamics of the foam and water streams by influence on the combustion area.

**Practical value.** One can use the results obtained by choice of the parameters of the multifunctional fire-hose barrel and estimation of the efficiency of influence of the foam and water streams on the seat of fire.

**Keywords:** *fire-hose barrel; foam; water; combustion area; tests of the fire-hose barrel; dynamics of the streams; analytical dependences; adequacy of the model; efficiency of fighting the fires.*

УДК 614.841.45:[621.313:621.315.615.2]

*Андрей Михайлович Богомаз, аспирант; e-mail: [mchs-dnr@mail.ru](mailto:mchs-dnr@mail.ru);*

*Андрей Васильевич Осадчий, замнач. отд.; e-mail: [osad4iy@mail.ru](mailto:osad4iy@mail.ru);*

*Игорь Феликсович Дикенштейн, науч. сотр.; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@mail.ru)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-40*

## ПОЖАРООПАСНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ С МАСЛОНАПОЛНЕННЫМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ

**Цель.** Определение удельной пожарной нагрузки в помещениях с маслonaполненным оборудованием, критического объема трансформаторного масла в единице оборудования и обоснование категории таких помещений по пожароопасности.

**Методика.** Информационно-аналитические исследования.

**Результаты.** Дана оценка пожароопасности помещений с маслonaполненным оборудованием, получена расчетная зависимость для определения критического объема масла в единице оборудования.

**Научная новизна.** Доказана необходимость оснащения помещений с маслonaполненным электрооборудованием автоматическими средствами пожаротушения.

**Практическая значимость.** Обоснована категория пожароопасности помещений с маслonaполненным оборудованием, предложены меры противопожарной защиты и обосновано применение автоматических систем пожаротушения, ликвидирующих пожар на ранней стадии его возникновения, что приводит к минимизации возможного ущерба.

**Ключевые слова:** *помещение; маслonaполненное оборудование; пожароопасность; категория; трансформаторное масло; критический объем; автоматическая система пожаротушения.*

**Постановка проблемы.** Высокий уровень материальных ущербов от пожаров свидетельствует о ненадлежащем выполнении системами противопожарной защиты своего функционального назначения. Поэтому усовершенствование существующих методов противопожарной защиты зданий и сооружений актуально.

Один из основных параметров при проектировании промышленных зданий и сооружений – их категория по пожарной опасности, определение которой выдвигает требования к планировочно-конструктивным решениям, размещению помещений, инженерному оборудованию, системам противопожарной защиты и пожарной сигнализации.

Категорирование электропомещений с маслonaполненным электрооборудованием и их противопожарная защита имеют ряд особенностей. Правильное определение категории электропомещений важно, поскольку заранее определяет недостаточность или чрезмерность мероприятий по противопожарной защите.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [1] проведено исследование пожарной безопасности маслонаполненного оборудования и намечены пути её повышения за счет своевременного выявления дефектов.

В работе [2] дана оценка пожароопасности высоковольтного маслонаполненного оборудования шахтных электроподстанций и предложено включить в нормативную документацию требования об их автоматической противопожарной защите. В работе [3] представлены особенности категорирования электропомещений, но не указаны методы и средства их противопожарной защиты.

**Цель настоящей работы** – категорирование помещений с маслонаполненным оборудованием по пожарной опасности, расчет критической массы трансформаторного масла в единице оборудования и разработка предложений по противопожарной защите таких объектов.

**Материалы и результаты исследований.** Риск возникновения возгорания в электропомещениях с маслонаполненным электрооборудованием достаточно велик, а возможные последствия пожара могут достигать катастрофических размеров. Например, пожары на электроподстанциях серьезно влияют на энергоснабжение предприятия, создают угрозу его персоналу и аварийно-спасательным подразделениям. Понимание возможности возникновения пожара на таких объектах, принятие соответствующих противопожарных мер позволяют снизить пожарные риски и уменьшить последствия пожара.

Пожарная опасность высоковольтного маслонаполненного электрооборудования связана с эксплуатацией на электростанциях, подстанциях и в системах электроснабжения большого количества силовых трансформаторов и автотрансформаторов, шунтирующих и токоограничивающих реакторов, маслонаполненных вводов и масляных высоковольтных выключателей, измерительных трансформаторов тока и напряжения. Анализ статистики пожаров за последние годы показывает, что в электромашиных помещениях с маслонаполненным оборудованием напряжением 220...750 кВ в 90 % случаев пожары связаны с возгоранием масла, которое используют в высоковольтном оборудовании как изолирующую, охлаждающую или дугогасительную среду [1].

Трансформаторное масло в соответствии с его физико-химическими свойствами – горючая жидкость (температура вспышки  $t_{всп} = 150$  °С; теплота сгорания  $Q^p = 43,111$  МДж/кг; плотность  $\rho = 870$  кг/м<sup>3</sup>).

Наиболее пожароопасные ситуации возникают при внутренних коротких замыканиях (КЗ) в обмотках, вводах, устройствах регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой или других конструктивных элементах. Проникновение воды, повреждение основной изоляции или средств защиты – одни из основных причин искрения в изоляционном минеральном масле. При внутренних КЗ образуется электрическая дуга. Вследствие нагревания и термического разложения масла в большом объеме выделяются

«газы пробоя», такие, как ацетилен и водород, что приводит к быстрому повышению давления в корпусе устройства. При повреждении предохранительных клапанов это может привести к разгерметизации и разрыву корпуса. Например, при разрыве бака силового трансформатора разливается масло и образуется большой очаг пожара в помещении, потушить который первичными средствами пожаротушения невозможно вследствие теплового излучения и конвективного теплообмена.

Анализ степени повреждения силовых трансформаторов напряжением 110...500 кВ мощностью 63 кВ·А и более показывает, что интенсивность отказов трансформаторов из-за внутренних КЗ составляет 45 % в год, из них 24 % сопровождаются возгораниями и пожарами. Таким образом, вероятность возгорания трансформаторов составляет  $1 \cdot 10^{-3}$  в год, что превышает допустимые значения пожарных рисков. Доля пожаров в масляных высоковольтных выключателях составляет 14 % от общего количества пожаров в электрооборудовании [2].

В угольных шахтах центральные и участковые подземные подстанции относятся к подземным объектам повышенной пожарной опасности и подлежат защите автоматическими системами пожаротушения. Это касается, прежде всего, камер с маслonaполненным оборудованием и кабельных линий с горючей изоляцией.

Наиболее пожароопасны устаревшие и давно снятые с производства комплектные распределительные устройства, силовые трансформаторы, преобразовательные агрегаты, коммутационная аппаратура. Так, на угольных шахтах ДНР распространены распределительные устройства с масляными выключателями типа РВД-6 (УРВМ, РВДМ-6, ВЯП-6, ВЯПО-6).

Например, на шахтах Макеевки в сети горных выработок эксплуатируют 441 высоковольтное распределительное устройство, из них подлежат замене 207 устаревших. Замена устаревших высоковольтных распределительных устройств требует длительного времени и больших финансовых затрат (более 75,0 млн руб.), что нецелесообразно в настоящих условиях.

В РВД-6, ЯВ-6400 и КРУВ-6 выпуска до 1990 г. отсутствует защита от однофазного замыкания на землю, которая снижает вероятность возникновения пожара.

Защита трансформаторов и электродвигателей от токов короткого замыкания и утечек (замыканий) на землю обеспечивается только вновь вводимыми комплектными распределительными устройствами КРУВ-6, выпущенными после 1990 г., и УВР-6 [5].

В последнее время предпринимают попытки модернизировать схемы управления и защиты распределительных устройств РВД-6, а также заменить в них масляный выключатель вакуумным. Однако в связи с тем, что стоимость затрат на модернизацию РВД-6 в этом случае будет не менее половины стоимости нового распределительного устройства, такая модернизация изделия недостаточно обоснована. Следует также иметь в виду, что масляный бак



ячейки, рассчитанный на обеспечение взрывобезопасности в нормальном и в аварийном режимах (искрение и дуговые замыкания) после эксплуатации сверх положенного срока, нуждается в проверке и испытаниях на взрывобезопасность в установленном порядке [6].

Категорирование электромашинных помещений с маслonaполненным оборудованием и требования по их противопожарной защите имеют ряд противоречий.

В соответствии с действующей редакцией Правил устройства электроустановок электромашинные помещения по взрывопожарной и пожарной опасности относятся к категории Г независимо от наличия и количества горючих веществ, используемых в них [7].

С другой стороны, электромашинные помещения относятся к производственным помещениям, категорирование которых должно выполняться согласно нормативным требованиям. К пожароопасной категории В относятся помещения (не относящиеся к категориям А и Б), в которых удельная пожарная нагрузка на отдельных участках площадью не менее  $10 \text{ м}^2$  каждый превышает  $q_{\text{кр}} = 180 \text{ МДж/м}^2$ .

Удельную пожарную нагрузку  $q$ ,  $\text{МДж/м}^2$ , определяют по формуле

$$q = Q/S, \quad (1)$$

где  $Q$  – пожарная нагрузка,  $\text{МДж}$ ;

$S$  – площадь размещения материалов пожарной нагрузки,  $\text{м}^2$  (не менее  $10 \text{ м}^2$ ).

Пожарную нагрузку  $Q$ ,  $\text{МДж}$ , обусловленную наличием в пределах пожароопасного участка горючих материалов, определяют по формуле

$$Q = \sum_i G_i Q_i^P, \quad (2)$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го горючего материала из пожарной нагрузки,  $\text{кг}$ ;

$Q_i^P$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го горючего материала из пожарной нагрузки,  $\text{МДж/кг}$ .

Принимая, что основным горючим материалом в электромашинных помещениях является трансформаторное масло, из формул (1) и (2) получаем, что пожарная нагрузка на площади  $S_{\text{кр}} = 10 \text{ м}^2$  превысит  $g \geq g_{\text{кр}} = 180 \text{ МДж/м}^2$ , если масса масла  $G_{\text{м}} = Q/Q_{\text{м}}^P = g_{\text{кр}} S_{\text{кр}}/Q_{\text{м}}^P = 41,8 \text{ кг}$ ,

или объем  $V_{\text{м}}, \text{ м}^3$

$$V_{\text{м}} = G_{\text{м}}/\rho_{\text{м}} = 0,048 \text{ м}^3 = 48 \text{ л}.$$

Исходя из габаритов маслonaполненного оборудования получаем, что в единице оборудования критический объем масла  $v_{\text{кр}}, \text{ л}$

$$v_{кр} = \frac{V_m}{N} = \frac{48 S_{об}}{10} = 4,8 S_{об},$$

где  $N = S_{кр}/S_{об}$  – количество единиц маслonaполненного оборудования на площади  $S_{кр}$ ;

$S_{об}$  – площадь основания единицы маслonaполненного оборудования,  $m^2$ .

Например, для ячейки КРУВ-6 критический объем масла равен  $v_{кр} \approx 7$  л, или 6,1 кг, что в 10 раз меньше нормативного значения.

Если  $v < v_{кр}$ , то помещение относится к категории Г.

Согласно требованиям нормативного документа оснащению автоматическими системами пожаротушения подлежат помещения трансформаторных подстанций, распределительных устройств, электроаппаратуры, электропомещения в зданиях и сооружениях при наличии масла более 60 кг в единице оборудования. Это неизвестно откуда появившееся значение никак не обосновано, не связано с габаритами помещения, его категорированием, с параметрами тушения возможного пожара и переходит на протяжении десятков лет из одного нормативного документа в другой. Завышенное значение критической массы масла позволяет руководителям предприятий оставлять без противопожарной защиты производственные помещения категории В.

В новую редакцию нормативных документов по пожарной безопасности необходимо ввести следующий пункт: «Все помещения с маслonaполненным электрооборудованием, относящиеся к категории В, должны быть оснащены автоматическими системами пожаротушения и сигнализации». Выполнение этого требования значительно повысит пожаробезопасность промышленных предприятий и снизит ущерб от возможных пожаров.

### **Выводы**

1. Дана оценка и обоснована категория пожароопасности помещений с маслonaполненным оборудованием.

2. Получена расчетная зависимость для определения критического объема масла в единице оборудования.

3. Разработаны предложения по противопожарной защите подземных и поверхностных объектов с маслonaполненным оборудованием.

### **Список литературы / References**

1. Назарычев, А.Н. Повышение пожарной безопасности высоковольтного маслonaполненного электрооборудования на основе выявления комбинированных дефектов / А.Н. Назарычев, С.Н. Животягина, Н.Ю. Зеленцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 8. – С. 56 – 60.

Nazarychev, A.N., Zhivotyagina, S.N., Zelentsev, N.Yu. *Povysheniye pozharnoy bezopasnosti vysokovol'tnogo maslonapolnennogo elektrooborudovaniya na osnove vyyavleniya kombinirovannykh defektov* [Improvement of the fire safety of the high-voltage oil-filled electrical equipment on the basis of detection of combined defects]. *Pozharovzryvbezopasnost' – Fire- and explosion safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 56 – 60.

2. О пожароопасности шахтных электроподстанций / В.В. Мамаев, И.Ф. Дикенштейн, В.В. Гуржий, А.А. Диденко // Уголь Украины. – 2015. – № 3-4. – С. 48 – 50.

Мамаев, В.В., Дикенштейн, И.Ф., Гуржий, В.В., Диденко, А.А. *О пожеоропасности шахтних подстанцій* [About the fire hazard of mine substations]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2015, no. 3-4, pp. 48 – 50.

3. Кулаков, О.В. Особливості категорювання за вибухопожежною та пожежною небезпекою електромашинних приміщень / О.В. Кулаков // Матеріали Х Міжнародної наук.-практ. конф. «Пожежна безпека-2011». – Харьков: НУГЗ, 2011. – С. 226 – 227.

Kulakov, O.V. *Osoblyvosti kategoruvannia za vybukhopozhezhnoiu nebezpekoiu elektromashynnykh prymishchen'* [Peculiarities of banding the electric machine premises according to explosion and fire hazard]. *Materialy X Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. "Pozhezhna bezpeka-2011"* [Materials of the 10<sup>th</sup> International theoretical and practical conference "Fire safety-2011"]. Kharkov, NUGZ, 2011, pp. 226 – 227.

4. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации / Б.В. Ванин, Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов и др. // Электрические станции. – 2001. – № 9 – С. 47 – 53.

Vanin, B.V., L'vov, Yu.N., L'vov, M.Yu. etc. *О povrezhdeniyakh silovykh transformatorov napryazheniyem 110-500 kV v ekspluatatsii* [About damages of power transformers of 110-500 kV voltage in the operation]. *Elektricheskiye stantsii – Electric stations*, 2001, no. 9, pp. 47 – 53.

5. Пути развития конструкций рудничных высоковольтных распределительных устройств / А.Г. Мнухин, В.В. Антипин, В.А. Тавричко, А.П. Лихван // Уголь Украины. – 2013. – № 1. – С. 20 – 24.

Mnukhin, A.G., Antipin, V.V., Tavrichko, V.A., Likhvan, A.P. *Puti razvitiya konstruksiy rudnichnykh vysokovol'tnykh raspredelitel'nykh ustroystv* [Ways of development of constructions of mine high-voltage distributors]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2013, no. 1, pp. 20 – 24.

6. Направление совершенствования подземных систем электроснабжения шахт / Н.М. Басов, В.С. Дзюбан, М.И. Рымар, А.А. Мацегора // Уголь Украины. – 2013. – № 5. – С. 28 – 30.

Basov, N.M., Dzyuban, V.S., Rymar, M.I., Matsegora, A.A. *Napravleniye sovershenstvovaniya podzemnykh sistem elektrosnabzheniya shakht* [Tendency of improvement of underground power-supply systems of the mines]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2013, no. 5, pp. 28 – 30.

7. Правила устройства электроустановок. – Харьков: Форт, 2009. – 704 с.  
*Pravila ustroystva elektroustanovok* [Rules of electric installations control].  
Kharkov, Fort Publ., 2009, 704 p.

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Грековым.  
Дата поступления рукописи 02.06.2017*

*Andrey Mikhailovich Bogomaz, postgraduate student; e-mail: [mchs-dnr@mail.ru](mailto:mchs-dnr@mail.ru);  
Andrey Vasilyevich Osadchiy, deputy head of department; e-mail: [osad4iy@mail.ru](mailto:osad4iy@mail.ru);  
Igor Felixovich Dikenshteyn, scientific associate; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@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) 332-78-40*

## **FIRE HAZARD OF PREMISES WITH THE OIL-FILLED ELECTRIC EQUIPMENT**

**Purpose.** Determination of the specific fire load in the premises with the oil-filled equipment, that one of the critical volume of transformer oil in a piece of equipment, and substantiation of the category of such premises in accordance with the fire hazard.

**Methods.** Information and analytical investigations.

**Results.** The estimation of the fire hazard of the premises with the oil-filled equipment is given, the estimated dependence to determine the critical volume of oil in a piece of equipment is obtained.

**Scientific novelty.** The necessity of fitting out the premises having the oil-filled electric equipment with the automatic fire-fighting means is proved.

**Practical value.** The category of the fire hazard of the premises with the oil-filled electric equipment is substantiated, the fire protection measures are proposed, and the use of the automatic fire-fighting systems extinguishing the fire at the early stage of its origin are proposed, what results in minimization of the possible damage.

**Keywords:** *premise; oil-filled equipment; fire hazard; category; transformer oil; critical volume; automatic fire-fighting system.*

**УДК 614.841.41:552.577**

*Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: [obep.niigd@list.ru](mailto:obep.niigd@list.ru);*

*Виктория Петровна Орликова, науч. сотр.; e-mail: [orlikova.69@yandex.ua](mailto:orlikova.69@yandex.ua);*

*Кристина Валериевна Глушенко, мл. науч. сотр.; e-mail: [kristina.hlushenko@mail.ru](mailto:kristina.hlushenko@mail.ru);*

*Виктория Викторовна Вольнец, техник; e-mail: [volynetsvika@mail.ua](mailto:volynetsvika@mail.ua)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-01*

## **УСЛОВИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОЧАГОВОМ САМОНАГРЕВАНИИ СКОПЛЕНИЯ ТОРФА**

**Цель.** Разработка метода расчета коэффициента теплоотдачи на основании созданной ранее математической модели самонагревания дисперсных веществ.

**Методика.** Математическое моделирование очагового самонагревания на основании известных экспериментальных данных.

**Результаты.** Рассчитаны критерии генерации теплоты и теплоотдачи для скопления торфа. Показано изменение этих критериев во времени и определена скорость самонагревания исследуемого вещества.

**Научная новизна.** В качестве критерия пожароопасности скопления дисперсных органических веществ предложено определять скорость самонагревания вещества, зависящую от генерации теплоты, теплоотдачи и размера скопления.

**Практическая значимость.** Полученные результаты можно использовать при прогнозировании пожароопасности скопления органического вещества.

**Ключевые слова:** *самовозгорание органического вещества; торф; математическое моделирование; пожароопасность; критерий генерации теплоты; коэффициент теплоотдачи.*

**Постановка проблемы.** Пожарную опасность органических веществ растительного происхождения определяет склонность к самонагреванию и самовозгоранию при хранении в определенных условиях окружающей среды [1].

Самовозгорание твердых органических веществ инициируется интенсивным окислением на воздухе при сравнительно низкой температуре, которое приводит к термоокислительной деструкции и разогреванию. Рост температуры увеличивает скорость реакции и способствует дальнейшему самопроизвольному разогреванию. При определенных условиях скорость генерации теплоты может превышать скорость ее потери, что приводит к непрерывному увеличению температуры вещества и его самовозгоранию. В этом случае для перехода к пламенному горению не требуется внешнего источника зажигания, вещество самовозгорается под действием суммарного тепловыделения химических реакций процесса.

Самонагревание веществ реализуется с неравномерным распределением температуры в объеме, что обусловлено разными условиями теплообмена каждой его точки с окружающей средой. В объеме вещества появляются отдельные

«горячие точки» с максимальной температурой, от которых теплота распространяется по всему объему скопления.

При самовозгорании объем скопления органического вещества играет определяющую роль. В технологических процессах с участием небольшой массы вещества самовозгорание происходит на стадиях их тепловой обработки. С ростом объема единичных агрегатов, в которых перерабатываются значительные массы органических веществ растительного происхождения, самовозгорание происходит при более низких температурах. При определенных температурных условиях складирования и транспортирования веществ существуют критические размеры их скопления, превышение которых может привести к самовозгоранию [1].

Для разработки и организации комплекса профилактических мероприятий, исключающих возникновение пожаров от самовозгорания, необходимо знать основные показатели, влияющие на процесс самонагревания органических веществ, и условия теплообмена, способствующие возникновению возгорания.

**Анализ последних исследований.** Процессу возгорания вещества предшествует длительный период самонагревания, который в значительной степени зависит от температуры окружающей среды. В работах [2, 3] изложены методы оценки склонности к самовозгоранию органических веществ растительного происхождения, основанные на определении температуры самонагревания. Показано, что температура самонагревания как показатель этого процесса зависит от дисперсности, влажности, плотности вещества и условий вентиляции при хранении.

Зависимость температуры среды, при которой возникает самовозгорание от удельной поверхности образца и времени до самовозгорания определяют по ГОСТ 12.1.044. Экспериментальные данные откладывают в логарифмических координатах, линеаризуют и устанавливают функциональные зависимости для каждого исследуемого вещества. Исследования показали, что во всех случаях с увеличением размеров образца уменьшается температура самовозгорания и увеличивается время до самовозгорания вещества. Достоинство методики – простота экспериментального оформления. Недостатки – сложность экстраполяции эмпирической зависимости при расчете критических условий самовозгорания, полученной в высокотемпературной области, на низкотемпературную. В эмпирические коэффициенты в неявном виде входят химические и теплофизические параметры, вследствие чего по ним невозможно оценить, какую роль при самовозгорании играют химические и физические параметры.

Другой показатель процесса самонагревания – промежуток времени с того момента, когда температура всего вещества станет равной минимальной температуре окружающей среды, до момента наступления самовозгорания в наиболее «горячей точке» объема. Это время называют инкубационным периодом самовозгорания органических веществ растительного происхождения.

Третий показатель процесса самонагрева, определяющий склонность к самовозгоранию – это удельная поверхность самонагревающегося вещества, которая определяется размерами и формой его скопления. Зная этот показатель, можно в каждом случае определить безопасные размеры скопления вещества для данной температуры среды.

В работе [4] для скоплений различных органических веществ радиусом  $R_1$ , м, предложено использовать время достижения температуры  $T = 100$  °С, при которой в насыпи начинается активное выделение горючих газов. Приведены следующие формулы для вычисления максимальной температуры  $T_{\max}$ , °С, в центре скопления вещества:

$$T_{\max} = \frac{q_0 R_1^2}{2\lambda}, \quad (1)$$

текущих температур  $T$ , °С,

$$T = \frac{q_0 R_1^3}{2\lambda} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R_1^2 + 4at}} \right) \quad (2)$$

и времени достижения  $t$ , с, любой текущей температуры

$$t = \frac{R_1^2}{4a} \left[ \left( 1 - \frac{2\lambda T}{q_0 R_1^2} \right)^{-2} - 1 \right], \quad (3)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности вещества, м<sup>2</sup>/с;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности вещества, Вт/(м·К);

$q_0$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>3</sup>.

К недостаткам использования этих формул следует отнести задание функции тепловыделения  $q_0$  постоянной величиной, которая, однако, зависит от скорости химических реакций и изменяется с температурой. Также отсутствуют параметры, определяющие теплотери в скоплении вещества при испарении влаги и теплоотдаче.

Существующие математические модели процесса очагового самонагрева органических веществ [5, 6] позволяют определять показатели самонагрева при некоторых типичных условиях, возникающих на промышленных объектах. К недостаткам этих моделей следует отнести принимаемую линейную зависимость теплоты от температуры, при этом угловой коэффициент линейной функции зависит от усредненного значения концентрации кислорода. Это позволяет «расщепить» систему дифференциальных уравнений, их линеаризовать и получить аналитические решения. Однако корректность такого рода линеаризации недостаточно обоснована, так как полученные аналитические решения в этом случае будут

приближенными, искажающими физическую сущность процесса самонагрева.

В работах [7 – 9] рассмотрены обобщённые математические модели газотеплообменных процессов в слое зернистого вещества и получено решение системы уравнений переноса теплоты и кислорода. Аналитические решения для случаев квазистационарного процесса самонагрева в газовой фазе позволяют исследовать изменение температуры дисперсного вещества и определить, при каких условиях процесс самонагрева приводит к самовозгоранию, а при каких – к затуханию, что позволяет судить о пожарной опасности скопления вещества.

**Цель исследования** – рассмотреть показатели процесса самонагрева органических веществ растительного происхождения с учетом влияния генерации теплоты и теплоотвода на основании разработанной ранее математической модели очагового самонагрева дисперсных веществ, а также разработать метод расчета коэффициента теплоотдачи в скоплении вещества.

**Материалы и результаты исследований.** Из анализа состояния вопроса следует, что к недостаткам большинства работ [2 – 6] по исследованию самонагрева органических веществ растительного происхождения относится сложность выполнения расчетов по предлагаемым математическим зависимостям, не учитывающим скорость химической реакции окисления этих веществ. Воспользуемся результатами работы [10], в которой сделан вывод о том, что поток воздуха, проходящий через скопление самонагревающегося вещества, мало влияет на теплопотерю. Учтем также результаты работы [8], в которой рассмотрена кинетика неизотермической хемосорбции кислорода микропористыми адсорбентами и предложен метод линеаризации уравнения теплопроводности для следующих диапазонов температуры и энергии активации соответственно:  $280 \text{ К} < T < 500 \text{ К}$  и  $500 \text{ Дж/моль} < E < 30000 \text{ Дж/моль}$ . Тогда зависимость температуры от времени в скоплении зернистого органического вещества при его очаговом самонагревании будет выражена формулой, приведенной в работе [11], которая справедлива для небольших значений критерия  $Bi$ :

$$\bar{T} = \frac{T(\bar{R}Fo)}{T_0} = 1 + \frac{1 - \left[ \exp \Gamma_T Fo \right]^{-\Gamma_v} \sin \left( \bar{R} \sqrt{3Bi} \right)}{\Gamma_v \bar{R} \sqrt{3Bi}}, \quad (4)$$

где  $\bar{R} = \frac{r}{R_1}$  – относительный радиус изучаемого поля температур;

$r, R_1$  – текущий радиус и радиус поля вещества, м;

$\Gamma_v = \frac{3Bi}{\Gamma_T} - 1$  – показатель скорости самонагрева вещества; (5)



$$Bi = \frac{\alpha R_1}{\lambda} - \text{критерий Био}; \quad (6)$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$$\Gamma_T = A \frac{R_1^2}{a} - \text{комплексный критерий генерации теплоты}; \quad (7)$$

$A$  – показатель, характеризующий самонагревающееся вещество, с<sup>-1</sup>;

$$A = \frac{\xi C_{O_2} q k}{\rho c_v T_0}; \quad (8)$$

$\xi$  – доля реакционной поверхности, принимающей участие в окислении органического вещества;

$C_{O_2}$  – концентрация кислорода в веществе, моль/м<sup>3</sup>;

$k$  – константа скорости реакции окисления, с<sup>-1</sup>, которую находили по уравнению Аррениуса

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_0}\right); \quad (9)$$

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

$$Fo = \frac{at}{R_1^2} - \text{критерий Фурье}; \quad (10)$$

$t$  – текущее время, с.

Воспользуемся экспериментальными данными автора [3], исследующего самонагревание торфа, и рассчитаем по предложенным зависимостям коэффициент теплоотдачи и показатель скорости самонагревания вещества с использованием следующих его теплофизических и кинетических параметров:

начальная температура образца (термостата)  $T_0 = 398$  К;

предэкспоненциальный множитель  $k_0 = 1,041 \cdot 10^7$  с<sup>-1</sup>;

энергия активации  $E = 96499$  Дж/моль;

плотность  $\rho = 309$  кг/м<sup>3</sup>;

удельная теплоёмкость  $c_v = 1673$  Дж/(кг·К);

коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,0602$  Вт/(м·К);

коэффициент температуропроводности  $a = 1,71 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с;

количество теплоты при окислении  $q = 975945,6$  Дж/моль.

При начальной температуре образец выдерживали в течение 2...2,5 ч, затем помещали в металлическую корзину кубической формы с размером ребра 0,8 м, установленную на открытом воздухе, и наблюдали за изменением температуры при остывании торфа. Температуру контролировали с помощью термопар в трех точках: в центре куба, на расстоянии 0,2 м от центра куба и на поверхности куба. Кривые изменения температуры во времени для трех точек представлены на рис. 1.

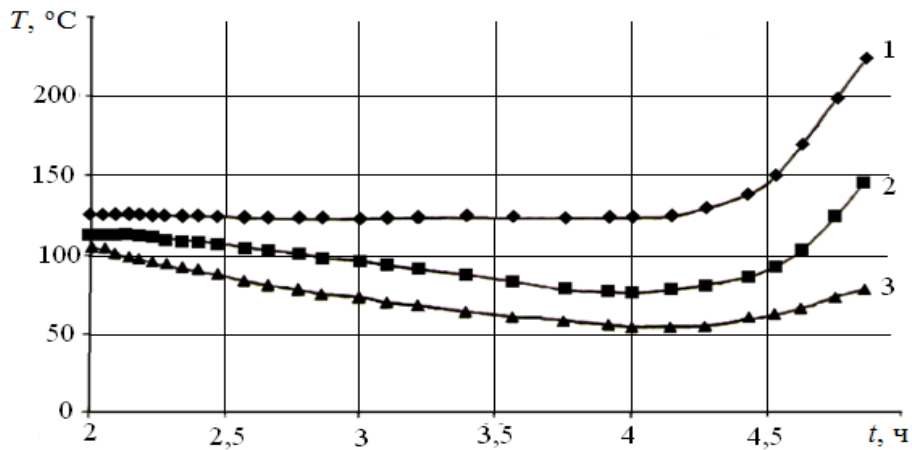


Рис. 1. Температура торфа в кубическом контейнере со стороной 0,8 м [3]:  
1 – центр куба; 2 – 0,2 м от центра куба; 3 – поверхность куба

По всем кривым после 4 ч остывания наблюдается повышение температуры, которое наиболее активно протекает в центре кубической формы. Для этой точки применим зависимости (4) – (10) и рассчитаем изменение температуры во времени путем умножения правого сомножителя формулы (4) на текущие значения  $T$  (рис. 2).

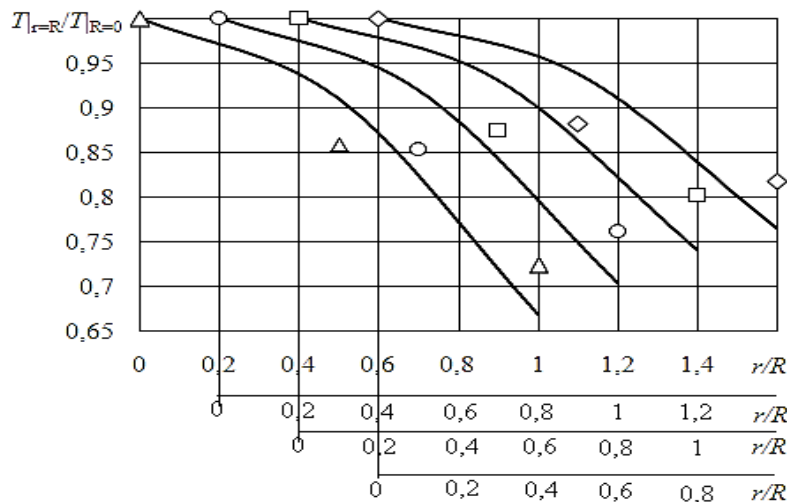


Рис. 2. Экспериментальные (маркеры) [3] и расчётные кривые температурных полей в насыпи торфа в безразмерных координатах при точечном нагревании:

$\Delta$  –  $t = 4,83$  ч;  $\mu = 1,49$ ;  $Bi = 0,9$ ;  $\circ$  –  $t = 4,667$  ч;  $\mu = 1,4$ ;  $Bi = 0,8$ ;  
 $\square$  –  $t = 4,5$  ч;  $\mu = 1,3$ ;  $Bi = 0,6$ ;  $\diamond$  –  $t = 4,33$  ч;  $\mu = 1,23$ ;  $Bi = 0,5$

Для экспериментальных значений температуры рассчитывали комплексный критерий генерации теплоты  $\Gamma_T$  по формуле (7) с учетом (8) и (9). Критерий Фурье рассчитывали по формуле (10) для различных моментов времени от начала нагревания, а критерий Био определяли из характеристического уравнения

$$\operatorname{tg}\mu = -\frac{1}{\operatorname{Bi}_{i-1}}\mu, \quad (11)$$

где  $\mu$  – корень характеристического уравнения из таблиц А.В. Лыкова.

По формуле (6) определяли критерий Био исследуемого образца торфа. Поскольку параметр  $\mu$  является характеристикой процесса тепловыделения и теплоотдачи и равен

$$\mu^2 = 3\operatorname{Bi}_i, \quad (12)$$

то формула (5) примет вид

$$\Gamma_v = \frac{\mu^2}{\Gamma_T} - 1. \quad (13)$$

На примере образца торфа  $R_1 = 0,4$  м рассчитаем комплексный критерий генерации теплоты и коэффициент теплоотдачи при температуре 398 К.

1. Примем, что  $\xi = 1$ , т.е. вся поверхность дисперсного вещества принимает участие в окислении, концентрация кислорода в веществе равна концентрации кислорода в воздухе  $C_{O_2} = 21\% = 9,36$  моль/м<sup>3</sup>, тогда критерий генерации теплоты  $\Gamma_T$  по формуле (7) с учетом (8) и (9) равен

$$\Gamma_T = 0,09 \approx 0,1.$$

2. Определим критерий Фурье по формуле (10) при  $T = 398$  К и  $t = 4$  ч = 14400 с

$$\operatorname{Fo} = 0,015.$$

3. В результате моделирования по зависимости (4) при  $T_{R=1} = 398$  К;  $t = 14400$  с;  $\operatorname{Fo} = 0,015$ ;  $\Gamma_T = 0,1$  установили, что параметр  $\mu = 1,23$  и соответствует  $\operatorname{Bi} = 0,55$ .

4. По формуле (6) рассчитаем коэффициент теплоотдачи образца торфа

$$\alpha = \frac{\lambda \operatorname{Bi}}{R_1} = 0,06875 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

5. Показатель скорости самонагрева вещества определим по формуле (13)

$$\Gamma_v = 14,13.$$

Для других значений температуры и времени результаты моделирования параметров теплообмена приведены в таблице.

### Определение параметров теплообмена в очаге скопления торфа

$T_{R=t}$ , К	$t$ , ч	$t$ , с	$\mu$	Bi	Fo	$\Gamma_T$	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\Gamma_v$
494	4,83	17388	1,5	0,9	0,019	11,9	0,1125	-0,81
423	4,5	16200	1,4	0,8	0,017	3,6	0,1	-0,46
408	4,25	15300	1,28	0,6	0,016	1,6	0,075	0,024
398	4	14400	1,23	0,55	0,015	0,1	0,06875	14,13

Используя данные таблицы, установили зависимость коэффициента теплоотдачи торфа от температуры в центре очага (рис. 3), которая свидетельствует о существенных процессах теплообмена в начальный период при  $T = 385 \dots 420$  К.

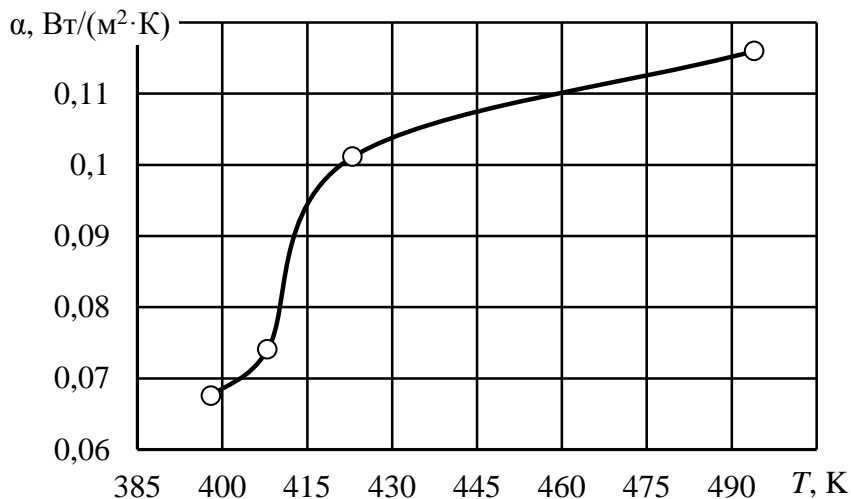


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры в центре образца

Анализ зависимости (4) показывает, что температура в очаге предполагаемого места самовозгорания остается постоянной при значении критерия  $\Gamma_v = 0$ . Из уравнения (13) при  $\Gamma_v = 0$  следует, что  $\mu^2 = \Gamma_T$ , т.е. теплоотвод равен теплопритоку и, следовательно, повышения температуры в скоплении органического вещества растительного происхождения не наблюдается. Если отвод теплоты превышает ее приток, то  $\Gamma_v > 0$  и скопление не пожароопасно. При  $\Gamma_v < 0$  характерно превышение генерации теплоты над ее отводом в окружающую среду, что говорит о создании пожароопасных условий в скоплении вещества. Таким образом, показатель скорости самонагрева вещества может характеризовать пожароопасность скопления. Дальнейшие исследования будут направлены на определение показателя скорости

самонагревания других органических веществ растительного происхождения с целью установления показателя пожароопасности.

**Выводы.** Путем моделирования процесса очагового самонагревания скопления торфа разработан метод расчета коэффициентов теплоотдачи в центре насыпи органического вещества растительного происхождения. На примере торфа показано, что по значению показателя скорости самонагревания вещества, учитывающего влияние процессов теплоотвода и теплопритока и зависящего от кинетических и теплофизических характеристик вещества, можно установить степень пожароопасности скопления.

#### Список литературы / References

1. Откідач, Д.М. Вибухонебезпе́ка зберігання та перероблення продукції сільськогосподарського виробництва. Теорія та практика / Д.М. Откідач, В.М. Альбоций.– Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2006. – 288 с.

Otkidach, D.M., Al'boshchii, V.M. *Vybukhonebezpeka zberigannia ta pereroblennia produktsii sil's'kogospodars'kogo vyrobnytstva. Teoriia ta praktyka* [Explosion hazard of storing and processing the agricultural products. Theory and practice]. Kyiv, UkrNDIPB MNS Ukraine Publ., 2006, 288 p.

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

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

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

Korol'chenko, I.A. *Teplovoye samovozgoraniye nasypey i otlozheniye tvyerdykh dispersnykh materialov: dis. ...d-ra tekhn. nauk* [Heat spontaneous ignition and deposition of solid disperse materials: dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2007, 472 p.

4. Ольшанский, В.П. Температурное поле гнездового самонагревания в слое / В.П. Ольшанский // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38, № 6. – С. 134 – 139.

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

5. 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.

6. Горшков, В.И. Способ расчета времени индукции при очаговом самовозгорании материалов / В.И. Горшков, И.А. Корольченко // Пожарная безопасность. – Ч. 1. – 2009. – № 3. – С. 72 – 77. Ч.2. – 2010. – № 4. – С. 59 – 63.

Gorshkov, V.I., Korol'chenko, I.A. *Sposob raschyeta vremeni induktsii pri ochagovom samovozgoranii materialov* [Method of calculation of the induction time by the fireplace spontaneous ignition of materials]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire safety*, Part 1, 2009, no. 3, pp. 72 – 77. Part 2, 2010, no. 4, pp. 59 – 63.

7. Математическая модель газотеплообменных процессов в слое зернистого материала / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Г.Б. Тында // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2005. – Вып. 42. – С. 5 – 14.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P., Zinchenko, I.N., Tynda, G.B. *Matematicheskaya model' gazoteploobmennyykh protsessov v sloye zernistogo materiala* [The mathematical model of gas- and heat-exchange processes in the layer of a granular material]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2005, issue 42, pp. 5 – 14.

8. Греков, С.П. Кинетика гетерогенного окисления слоя угля и его самонагревание / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Е.А. Головченко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2005. – Вып. 42. – С. 15 – 21.

Grekov, S.P., Zinchenko, I.N., Golovchenko, Ye.A. *Kinetika geterogennoy okisleniya sloya uglya i yego samonagrevaniye* [Kinetics of the heterogeneous oxidation of a coal layer and its spontaneous heating]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2005, issue 42, pp. 15 – 21.

9. Математическая модель газовлагодотеплообменных процессов в слое зернистого материала / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Т.Г. Салахутдинов, А.А. Всякий // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 72 – 81.

Grekov, S.P., Zinchenko, I.N., Salakhutdinov, T.G., Vsyakiy, A.A. *Matematicheskaya model' gazovlagoobmennyykh protsessov v sloye zernistogo materiala* [The mathematical model of gas- and moisture-exchange processes in the layer of a granular material]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2012, issue 49, pp. 72 – 81.

10. Греков, С.П. Комплексный критерий оценки эндогенной пожароопасности угольных пластов в зонах геологических нарушений // С.П. Греков, О.П. Пашковский, И.Н. Зинченко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2009. – Вып. 46. – С. 67 – 77.

Grekov, S.P., Pashkovskiy, O.P., Zinchenko, I.N. *Kompleksnyy kriteriy otsenki endogennoy pozharoопасnosti ugol'nykh plastov v zonakh geologicheskikh narusheniy* [The complex criterion of the estimation of the spontaneous fire hazard of

coal seams in the zones of geological disturbances]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2009, issue 46, pp. 67 – 77.

11. 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 – 68.

Grekov, S.P., Starikova, I.G., Hlushenko, K.V. *Raschytet koeffitsiyentov teplootdachi v sloye zernistogo veshchestva* [Calculation of heat-transfer coefficients in the layer of a granular substance]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekh. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 2 (54), pp. 59 – 68.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Г.П. Стариковым.  
Дата поступления рукописи 31.05.2017

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

*Viktoria Petrovna Orlikova, scientific associate; e-mail: [orlikova.69@yandex.ua](mailto:orlikova.69@yandex.ua);*

*Kristina Valeryevna Hlushenko, research associate; e-mail: [kristina.hlushenko@mail.ru](mailto:kristina.hlushenko@mail.ru);*

*Viktoria Viktorovna Volynets, technician; e-mail: [volynetsvika@mail.ua](mailto:volynetsvika@mail.ua)*

*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) 332-78-01*

## HEAT EXCHANGE CONDITIONS BY THE FIREPLACE SPONTANEOUS HEATING OF A PEAT ACCUMULATION

**Purpose.** Working-out the method of calculation of the heat emission coefficient on the basis of the mathematical model of the spontaneous heating of dispersed substances created earlier.

**Methods.** Mathematical modeling the fireplace spontaneous heating on the basis of the experimental data known.

**Results.** The criteria of heat generation and heat emission were calculated for the peat accumulation. The time change of these criteria is shown, and the velocity of the substance being investigated is determined.

**Scientific novelty.** It is proposed to determine the velocity of the spontaneous heating of the substance depending on heat generation, heat emission and size of the accumulation as the criterion of the fire hazard of the accumulation of dispersed organic substances.

**Practical value.** One can use the results obtained by prognostication of the fire hazard of the accumulation of the organic substance.

**Keywords:** *spontaneous ignition of the organic substance; peat; mathematical modeling; fire hazard; criterion of heat generation; heat emission coefficient.*

**УДК 622.822.22:001.891.52**

*Евгений Александрович Головченко, замнач. отд.; e-mail: [ennio\\_80@mail.ru](mailto:ennio_80@mail.ru)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-01*

**ТЕПЛОАКОПЛЕНИЕ В КРАЕВОЙ ЧАСТИ  
УГОЛЬНОГО МАССИВА**

**Цель.** Моделирование процессов теплонакопления с целью получения численного решения распределения температуры и концентрации кислорода в краевой части угольного массива при самонагревании угля.

**Методы.** Математическое моделирование процессов теплонакопления численным методом решения нестационарной задачи тепломассообмена.

**Результаты.** Полученная численным методом система уравнений позволяет с заданными начальными и граничными условиями шаг за шагом по времени определять распределение температуры и концентрации кислорода по направлению в глубь краевой части пласта.

**Научная новизна.** Разработана система уравнений теплообменных процессов с учетом энергии активации и ухудшения диффузии кислорода при возникновении самонагревания в краевой части угольного пласта.

**Практическая значимость.** Результаты работы позволяют прогнозировать возникновение очагов самонагревания угля в краевой части угольного пласта.

**Ключевые слова:** *теплонакопление; математическая модель; краевая часть; угольный пласт; температура и концентрация кислорода.*

**Постановка проблемы.** Обнаженная поверхность, образованная при разрушении краевой части угольного пласта, представляет собой трещиновато-пористое тело, которое заполнено кислородом за счет фильтрации и поперечной диффузии потока воздуха. В результате сорбции кислорода углем возникают окислительные процессы с выделением теплоты, которые в зависимости от соотношения между теплопритоком и потерей теплоты могут привести к самонагреванию и последующему самовозгоранию угля в краевой части угольного пласта.

**Анализ последних исследований.** В работе [1] предложена математическая модель теплонакопления при возникновении очага самонагревания (самовозгорания) в краевой части угольного пласта с учетом начальных и граничных условий. Результаты, приведенные в работе [1], отличаются от результатов работ [2, 3] начальными условиями, учитывающими отсчет времени теплонакопления.

**Материалы и результаты исследования.** Система уравнений тепломассообмена в безразмерном виде:



$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \alpha(1 - \bar{T}) + kqC_0\bar{Z}; \\ \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = D_1 \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \beta(\bar{Z} - \bar{C}); \\ \frac{\partial \bar{Z}}{\partial \tau} = \beta(\bar{C} - \bar{Z}) - k\bar{Z}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\bar{T} = T/T_0$  – безразмерная температура;

$\tau$  – время, с;

$a_1$  – коэффициент температуропроводности пористого тела по направлению в глубь угольного пласта, м<sup>2</sup>/с;

$x$  – продольная координата по направлению в глубь угольного пласта, м;

$\alpha$  – коэффициент теплообмена с породным массивом, м<sup>-1</sup>;

$k$  – константа скорости окисления угля, с<sup>-1</sup>;

$q$  – приведенная плотность тепловыделения, К·м<sup>3</sup>/моль;

$C_0$  – концентрация кислорода в порах угля краевой части угольного пласта, моль/м<sup>3</sup>;

$\bar{Z} = Z/C_0$  – безразмерная концентрация кислорода на поверхности частиц сорбента;

$\bar{C} = C/C_0$  – безразмерная концентрация кислорода в порах сорбента;

$D_1$  – коэффициент диффузии кислорода в глубине угольного пласта, м<sup>2</sup>/с;

$\beta$  – коэффициент скорости газообмена между поверхностью частиц угля и порами, с<sup>-1</sup>.

Для получения численного решения системы уравнений (1) представим их в конечных разностях:

$$\begin{cases} \bar{T}_m^{n+1} = \bar{T}_m^n + \frac{a_1 \Delta \tau}{\Delta x} (\bar{T}_{m-1}^n - 2\bar{T}_m^n + \bar{T}_{m+1}^n) + \alpha \Delta \tau (1 - \bar{T}_m^{n+1}) + \frac{1}{T_0} kqC_0 \Delta \tau \bar{Z}_m^n; \\ \bar{C}_m^{n+1} = \bar{C}_m^n + \frac{D_1 \Delta \tau}{\Delta x^2} (\bar{C}_{m-1}^n - 2\bar{C}_m^n + \bar{C}_{m+1}^n) + \beta \Delta \tau (\bar{Z}_m^n - \bar{C}_m^{n+1}); \\ \bar{Z}_m^{n+1} = \bar{Z}_m^n + \beta \Delta \tau (C_m^n - \bar{Z}_m^{n+1}) - k \Delta \tau \bar{Z}_m^{n+1}, \end{cases} \quad (2)$$

- где  $\bar{T}_m^{n+1}$  – безразмерная температура, отнесенная к определенным участкам краевой части угольного пласта (рис.1);
- $\bar{C}_m^{n+1}$  – безразмерная концентрация кислорода в порах сорбента, отнесенная к определенным участкам краевой части угольного пласта;
- $\bar{Z}_m^{n+1}$  – безразмерная концентрация кислорода на поверхности частиц сорбента, отнесенная к определенным участкам краевой части угольного пласта;
- $\Delta\tau$  – шаг по времени, с.

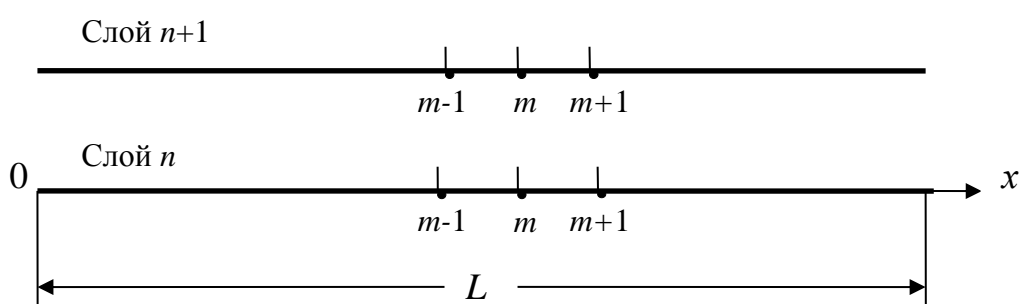


Рис. 1. Условное разбиение краевой части пласта на участки длиной  $\Delta x$  с указанием временных слоёв

Примем в соответствии с начальными условиями, указанными в работе [1], что на момент разрушения краевой части пласта температура в ней равнялась температуре окружающих пород, а кислород в образовавшихся порах и на поверхности частиц угля отсутствовал.

$$T(x,0) = T_0; \quad C(x,0) = 0; \quad Z(x,0) = 0. \quad (3)$$

В соответствии с начальными условиями (3) получим

$$\bar{T}_m^0 = 1; \quad \bar{C}_m^0 = 0; \quad \bar{Z}_m^0 = 0. \quad (4)$$

Граничные условия согласно работе [1] можно представить в виде

$$\bar{T}_0^n = 1; \quad \bar{C}_0^n = 1; \quad \bar{T}_M^n = 1; \quad \bar{C}_M^{n+1} = \bar{C}_{M-1}^{n+1}. \quad (5)$$

Учтём энергию активации и найдем искомые функции на новом временном слое, представляя систему уравнений (2) в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{T}_m^{n+1} = \frac{\bar{T}_m^n + \text{Fo}_1(\bar{T}_{m-1}^n - 2\bar{T}_m^n + \bar{T}_{m+1}^n) + \bar{\alpha} + \bar{k}\bar{q}\bar{Z}_m^n}{1 + \bar{\alpha}}; \\ \bar{C}_m^{n+1} = \frac{\bar{C}_m^n + \text{Fo}_1 \frac{D_1}{a_1}(\bar{C}_{m-1}^n - 2\bar{C}_m^n + \bar{C}_{m+1}^n) + \bar{\beta}\bar{Z}_m^n}{1 + \bar{\beta}}; \\ \bar{Z}_m^{n+1} = \frac{\bar{Z}_m^n + \bar{\beta}\bar{C}_m^n}{1 + \bar{\beta} + \bar{k}}, \end{array} \right. \quad (6)$$

где  $\text{Fo}_1 = a\Delta\tau/\Delta x^2$  – схемное число Фурье;

$\bar{\alpha} = \alpha\Delta\tau$  – безразмерный коэффициент теплообмена с окружающим массивом;

$\bar{k} = k \exp(-\bar{E}/\bar{T})\Delta\tau$  – безразмерный коэффициент скорости окисления угля;

$\bar{E} = E/RT_0$  – безразмерный коэффициент энергии активации;

$\bar{q} = qC_0/T_0$  – относительная теплота реакции окисления угля;

$\bar{\beta} = \beta\Delta\tau$  – безразмерный коэффициент сорбции кислорода на поверхности частиц угля.

Для более детального изучения процессов теплонакопления в краевой части пласта в горной выработке свяжем эти параметры с критериями моделирования. Используем применяемый при изучении нестационарной теплопередачи критерий Фурье, характеризующий соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемой системы (тела), который зависит от размеров тела и коэффициента его теплопроводности:

$$\text{Fo} = a\tau/l^2,$$

где  $l$  – размер рассматриваемой системы (тела), м.

Критерий Фурье является безразмерным комплексом и означает обобщённое время.

Введем безразмерный комплекс – критерий Предводителя [3], характеризующий интенсивность тепловыделения при процессах окисления по сравнению с теплопроводностью:

$$\text{Pd} = kl^2/a,$$

а также число Лыкова [3] как отношение между процессами диффузии и теплопроводности:

$$Lu = D_1/a .$$

Введём в рассмотрение термодиффузионный критерий – аналог числа Био, который будет указывать на интенсивность теплообменных процессов между угольным пластом и породным массивом:

$$Bi = \alpha l^2/a .$$

Число Фурье  $Fo = a\tau/l^2$  связано со схемным числом Фурье:

$$Fo = a\tau/l^2 = (a\Delta\tau/\Delta x^2)n/M^2 = Fo_1n/M^2, \quad (7)$$

где  $M$  – количество отрезков или узлов на сетке (см. рис. 1).

Безразмерный коэффициент теплообмена с окружающим массивом связан с числом Био:

$$\bar{\alpha} = \alpha\Delta\tau = \alpha\tau/n = Fo/(nBi). \quad (8)$$

Безразмерный коэффициент скорости газообмена между порами и частицами угля связан с критерием Предводителя:

$$\bar{k} = k\Delta\tau = k\tau/n = Fo/(nPd). \quad (9)$$

Получена система уравнений (6), которая позволяет с заданными начальными и граничными условиями (4) и (5) определять распределение температуры и концентрации кислорода в глубине краевой части угольного пласта (рис. 2).

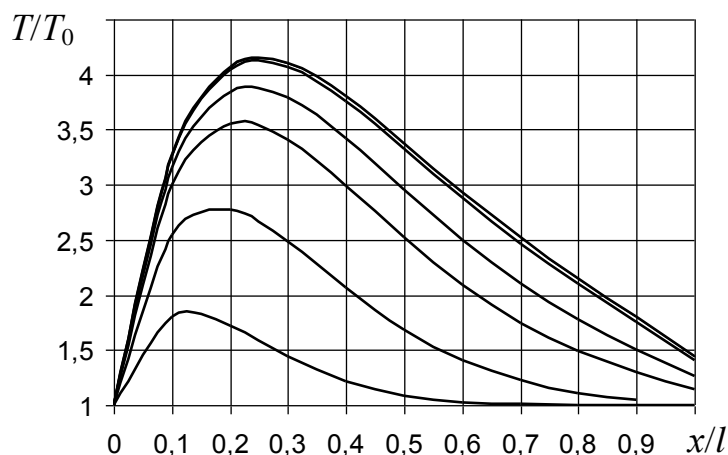


Рис. 2. Распределение безразмерной температуры в глубине краевой части пласта без учета энергии активации в различное время с момента его разгрузки при  $Fo = 0,04; 0,08; 0,14; 0,2; 0,8; 1,0$  снизу вверх

При моделировании приняты следующие исходные данные:  $k/\beta = 1$ ;  $D_1/a = 1$ ;  $qC_0/T_0 = 25$ . Как видно, на границе с нетронутым массивом температура не равна начальной температуре  $T_0$  в силу теплопроводности вне зависимости от наличия зоны разгрузки (рис. 3).

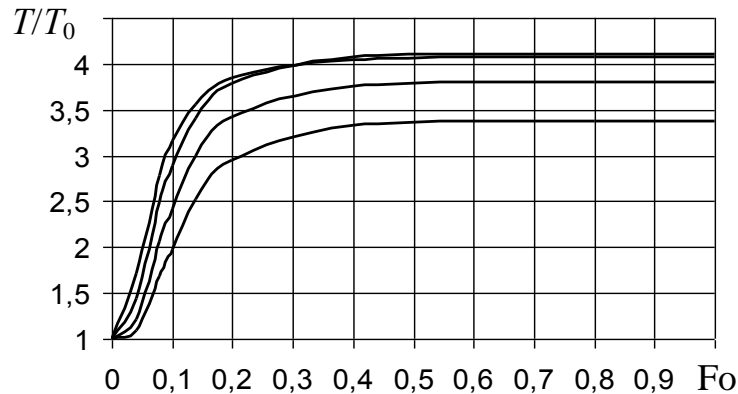


Рис. 3. Динамика относительной температуры на различных расстояниях от обнажённой поверхности пласта ( $x/l = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$  слева направо)

Сравнение полученных результатов аналитического и численного решений показывает, что и в том, и в другом случае идёт быстрое увеличение температуры по направлению в глубь пласта с выходом на максимум при числах Фурье  $Fo = 0,2 \dots 0,3$  (см. рис. 2). После этого температура медленно снижается по направлению в глубь пласта, особенно при возникновении горения.

Что касается концентрации кислорода, то она максимальна, как и следовало ожидать, в месте контакта угольного пласта с вентиляционным потоком. По направлению в глубину пласта концентрация кислорода медленно снижается, причём на частицах угля она меньше, чем в порах (рис. 4).

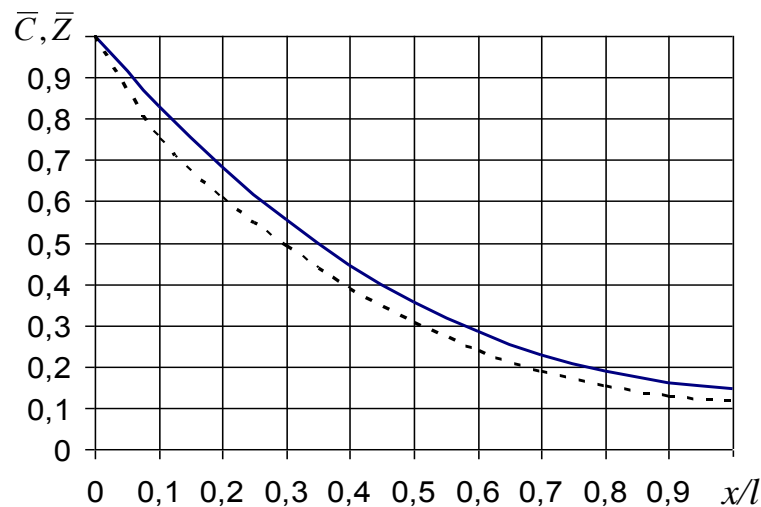


Рис. 4. Распределение установившихся относительных концентраций кислорода в порах (сплошная линия) и на поверхности частиц угля (прерывистая линия)

В отличие от известного аналитического решения аналогичной задачи, когда принималась на правой границе температура, равной температуре в глубине пород, при численном эксперименте эта температура отнесена ещё дальше, как это и должно быть в реальности. Кроме того, результаты численного эксперимента показывают, что температура начинает расти вблизи от обнажённой поверхности пласта и её максимум смещается по направлению в глубь него. В то же время аналитическое решение задачи показывает обратную картину, что вызывает сомнения.

Следует отметить, что все исследования проведены при максимальной скорости окисления угля без учёта энергии активации. Это позволяет вследствие нелинейности задачи получить ее решение только численным методом.

Как видно из анализа рис. 5, постепенное увеличение энергии активации (принято  $E/RT_0 = 2$  вместо  $E/RT_0 = 0$ ) приводит к более медленному самонагреванию и меньшему максимуму температуры. Ещё более меняется картина теплообмена, если предположить, что коэффициент диффузии зависит от размеров частиц угля и становится всё меньше. Так, принято  $D_1/a = 0,22$  вместо  $D_1/a = 1$ .

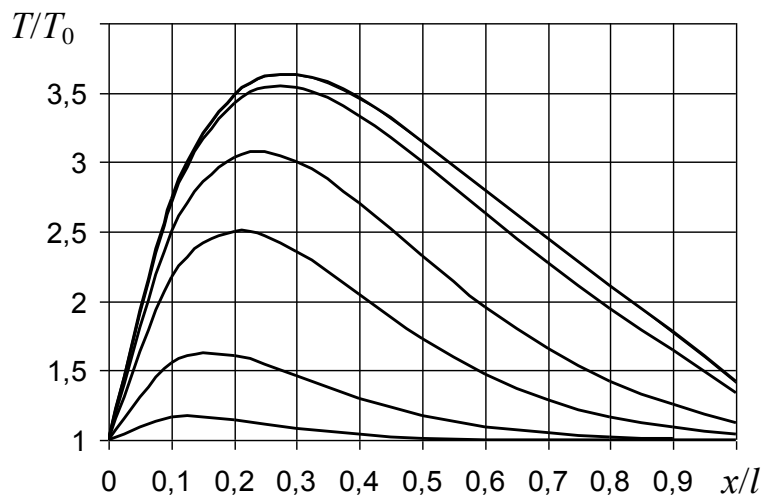


Рис. 5. Распределение безразмерной температуры с учётом энергии активации по направлению в глубь краевой части пласта в различное время с момента его разгрузки при  $Fo = 0,04; 0,08; 0,14; 0,2; 0,8; 1,0$  снизу вверх

На рис. 6 приведены результаты моделирования распределения установившихся объемных долей кислорода в порах и на поверхности частиц угля при учёте энергии активации и ухудшении диффузии кислорода в глубине угольного пласта.

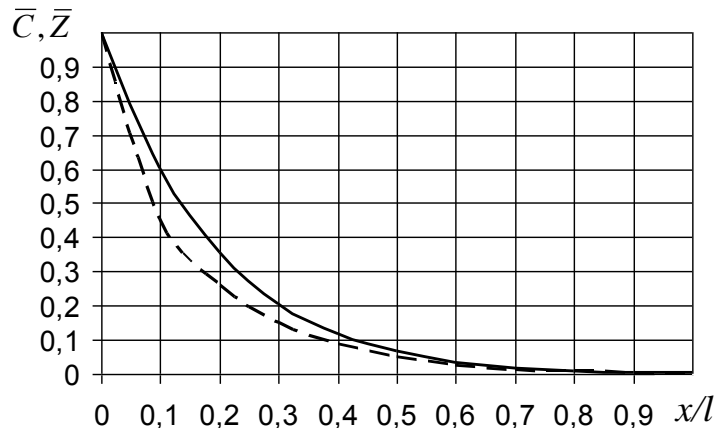


Рис. 6. Распределение установившихся объемных долей кислорода при его диффузии в порах (сплошная линия) и на поверхности частиц угля (прерывистая линия)

Сравнивая данные моделирования распределения объемных долей кислорода при разных коэффициентах диффузии (см. рис. 4 и 6), можно убедиться, что во втором случае даже посередине зоны разгрузки объемная доля кислорода менее 0,1.

Результаты моделирования показывают, что в этом случае при уменьшении диффузии кислорода в глубине угольного пласта возгорание может не возникнуть (рис. 7).

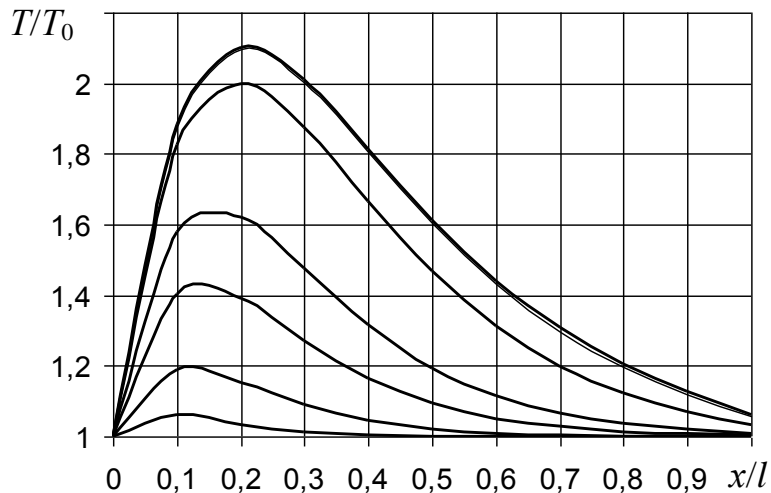


Рис. 7. Распределение безразмерной температуры при ухудшении диффузии кислорода с учётом энергии активации в глубине краевой части пласта в различное время с момента его разгрузки при  $Fo = 0,04; 0,08; 0,14; 0,2; 0,8; 1,0$  снизу вверх

В этом случае максимум температуры достигает значения  $T_m/T_0 = 2,1$ , что при начальной температуре  $T_0 = 300$  К даст  $T_m = 630$  К (357 °С). Это говорит о

том, что если температура начала горения  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то самовозгорания не произойдёт.

**Выводы.** Предложена система уравнений, которая позволяет с заданными начальными и граничными условиями определить распределение температуры и концентрации кислорода по направлению в глубину краевой части угольного пласта при его самонагревании.

Приведены результаты моделирования распределения температуры и концентрации кислорода с учетом энергии активации и ухудшения диффузии кислорода в глубине краевой части угольного пласта при возникновении процесса самонагревания.

Предложен численный метод решения задачи нагревания краевой части угольного пласта с учётом энергии активации и ухудшения диффузии кислорода в глубине пласта.

#### Список литературы / References

1. Головченко, Е.А. Разработка математической модели тепломассообменных процессов в краевых частях угольного пласта / Е.А. Головченко, С.П. Греков // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. – 2015. – Вып. 4 (4). – С. 21 – 25.

Golovchenko, Ye.A., Grekov, S.P. *Razrabotka matematicheskoy modeli teplomassoobmennykh protsessov v krayevykh chastyakh ugol'nogo plasta* [The working-out of the mathematical model of heat-mass exchange processes in boundary parts of the coal seam]. *Vestnik Instituta grazhdanskoj zashchity Donbassa* [Bulletin of the Institute of the Civil Protection of Donbas], 2015, issue 4(4), pp. 21 – 25.

2. Петров, В.В. Математическое моделирование теплофизических процессов в краевой части угольного пласта / В.В. Петров // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2002. – С. 65 – 73.

Petrov, V.V. *Matematicheskoye modelirovaniye teplofizicheskikh protsessov v krayevoy chasti ugol'nogo plasta* [The mathematical modeling of thermophysical processes in the boundary part of the coal seam]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2002, pp. 65 – 73.

3. Пашковский, П.С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля: сб. науч. тр. / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко. – Донецк: ЧП «Арпи», 2012. – С. 655 с.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P., Zinchenko, I.N. *Aktual'nyye voprosy bor'by s samovozgoraniyem uglya: sb. nauch. tr.* [Actual problems of control of the coal spontaneous ignition: collection of scientific papers]. Donetsk, Private business "Arpi" Publ., 2012, 655 p.



*Yevgeny Aleksandrovich Golovchenko, deputy head of department; e-mail: [ennio\\_80@mail.ru](mailto:ennio_80@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) 332-78-01*

## **HEAT ACCUMULATION IN THE BOUNDARY PART OF THE COAL MASSIF**

**Purpose.** Modeling the heat accumulation processes with the view of obtaining the numerical solution of distribution of temperature and oxygen concentration in the boundary part of the coal massif by the spontaneous heating of coal.

**Methods.** Mathematical modeling the heat accumulation processes by means of solving the non-stationary problem of the heat-mass exchange using the numerical method.

**Results.** The set of equations obtained by means of the numerical method allows determining the distribution of the temperature and oxygen concentration in the direction deep into the boundary part of the seam step by step on time provided that the initial and boundary conditions are given.

**Scientific novelty.** The set of equations of the heat exchange processes is worked out with due regard for the activation energy and worsening of the oxygen diffusion by origin of the spontaneous heating in the boundary part of the coal seam.

**Practical value.** The results of the work permit to forecast the formation of places of spontaneous heating in the boundary part of the coal seam.

**Keywords:** *heat accumulation; mathematical model; boundary part; coal seam; temperature and oxygen concentration.*

## II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [622.016.347:622.445]:001.891.52

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

*Николай Викторович Карнаух, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: [avrstla@mail.ru](mailto:avrstla@mail.ru);*

*Александр Викторович Мавроди, инж.; e-mail: [mavrodi-av@mail.ru](mailto:mavrodi-av@mail.ru);*

*Владимир Владимирович Захлебин, инж.; e-mail: [yleben@inbox.ru](mailto:yleben@inbox.ru)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-34*

### ВЛИЯНИЕ ГАЗОТСАСЫВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХА В ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ

**Цель.** Оценка влияния газоотсасывающей установки с различными параметрами газопровода на распределение воздуха в выработках выемочных участков при ее работе и остановке.

**Методика.** Расчеты на ЭВМ распределения воздуха выемочного участка с газоотсасывающей установкой при различных диаметрах и длине газопровода, аэродинамических сопротивлениях тупика погашения вентиляционной выработки с перемычкой.

**Результаты.** Получены значения распределения воздуха в выработках выемочного участка при работе и остановке газоотсасывающей установки.

**Научная новизна.** Создана модель работы газоотсасывающей установки при возвратноточной схеме проветривания выемочного участка с разделением утечек воздуха через выработанное пространство на два нормируемых потока в пределах его призабойного и остального пространства.

**Практическая значимость.** Результаты расчетов позволяют определить аэродинамические параметры выемочного участка, выработанного пространства и системы газоотсоса, которые можно использовать в рекомендациях по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении системы дегазации и газоотсоса.

**Ключевые слова:** модель выемочного участка; выработанное пространство; газоотсасывающая установка; остановка системы газоотсоса; газопровод; аэродинамические параметры.

**Постановка проблемы.** Одним из наиболее опасных мест образования местных скоплений, вспышек и взрывов метана являются погашаемые тупики вентиляционных выработок [1 – 6]. При выделении метана из выработанного пространства в пределах  $4 \text{ м}^3/\text{мин}$  и более, когда вентиляция и дегазация не могут обеспечить норму концентрации метана в выработках, применяют изолированный отвод его по трубопроводам с помощью газоотсасывающих вентиляторов. Работа вентилятора в вентиляционной сети выемочного участка приводит к перераспределению воздуха в исходящей струе участка, лаве, выработанном пространстве и тупике погашения вентиляционной выработки, что может существенно влиять на газовую обстановку в них. Поэтому исследование влияния газоотсасывающей установки на аэродинамические параметры выемочного участка представляет научный и практический интерес.

**Состояние вопроса.** Газоотсасывающая установка состоит из вентиляторов местного проветривания, как правило ВМЦГ-7М с газопроводом диаметром 0,6...1,2 м, длиной от 600 до 1200 м. Жесткий трубопровод заканчивается гибкой гофрированной трубой. На жесткой части трубопровода у окна лавы и вентилятора размещаются регулировочные окна и штуцера для измерения концентрации метана и ее снижения при необходимости. Перед регулировочным окном устанавливается заслонка для перекрытия газопровода при остановках газоотсасывающего вентилятора. Концентрация метана в газопроводе, согласно Правилам безопасности в угольных шахтах (ПБ), не должна превышать 3,5 %. Газоотсасывающую установку размещают в камере с обособленным проветриванием, установка состоит из двух параллельно установленных вентиляторов, работающих периодически на один трубопровод (рис. 1). Метановоздушная смесь отводится через перемычку в вентиляционной выработке, длина тупика погашения которой согласно требованиям ПБ не должна превышать 6 м. Выпускают метановоздушную смесь из газопровода в общую исходящую струю за пределами выемочного участка через смесительную камеру.

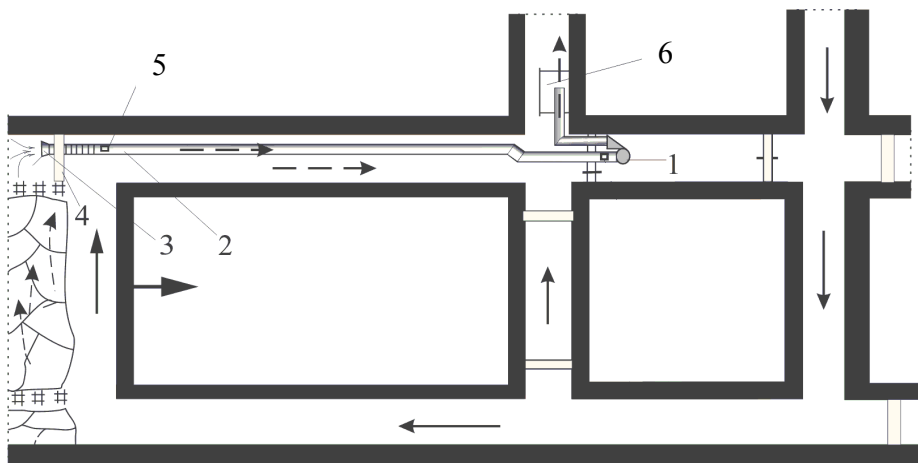


Рис. 1. Отвод метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих вентиляторов:

1 – газоотсасывающая установка; 2 – газопровод; 3 – всасывающий патрубков;  
4 – переносная перемычка; 5 – регулировочное окно; 6 – смесительная камера

**Цель исследований** – оценка влияния газоотсасывающей установки с различными параметрами газопровода на распределение воздуха в выработках выемочных участков при ее работе и остановке.

**Материалы и результаты исследований.** В связи с ограниченностью практического изменения исследуемых параметров системы газоотсоса при проведении шахтного эксперимента фактическое распределение воздуха рекомендуется определять расчетом на ЭВМ. При этом полностью учитывается влияние параметров вентиляторов главного проветривания, ВМЦГ и выработок шахтной вентиляционной сети, газопровода, утечек воздуха в призабойном пространстве и суммарных утечек воздуха. Все исходные данные могут быть получены из депрессионной съемки или расчетом в соответствии с нормативными документами.

При расчетах воздухораспределения и его изменения в выработках выемочных участков обычно используют упрощенные модели выработанного пространства в зависимости от поставленных целей исследования.

Проведение депрессионных съемок и решение общих вопросов распределения воздуха по горным выработкам шахты при ее нормальной работе, выбор режима работы вентилятора главного проветривания, проветривание объектов, движение воздуха в выработанном пространстве представляют одной ветвью, параллельной очистному забою. При решении вопросов борьбы с пожарами в выработанном пространстве, выносе метана при изоляции пожарных участков, рециркуляции пожарных газов считается необходимым выработанное пространство представлять значительно большим количеством (до 220) ветвей.

Для моделирования влияния системы газоотсоса на параметры воздухораспределения в выемочном участке предлагается упрощенная схема модели, состоящая из действующих выработок шахты, системы газоотсоса (вентилятор, газопроводы) и выработанного пространства, представленного 12 ветвями с разделением утечек воздуха на два нормируемых потока (направления) в пределах призабойного пространства и остальной части выработанного пространства, что соответствует требованиям нормативных документов.

Принципиальная схема в каждом случае привязана к конкретной схеме проветривания шахты и выемочного участка. Лаву в модели разделяют на три части: вход в лаву, средняя часть и выход из лавы. Вход в лаву и выход из нее принимают длиной по 20 м. Среднюю часть определяют как лаву соответствующей длины. Аэродинамическое сопротивление входа и выхода из лавы определяют пропорционально ее длине или по известным формулам (при проектировании). Место выброса метановоздушной смеси (смесительная камера) выбирают в выработке, позволяющей разбавить ее до предельно допустимых норм концентраций, установленных ПБ.

Аэродинамическое сопротивление газопровода определяют в соответствии с требованиями нормативных документов, а тупика погашения вентиляционной выработки – по результатам измерений.

Депрессию вентилятора ВМЦГ-7М  $h$ , даПа, определяют по формуле

$$h = 1073,5 - 5,735Q_{\text{в}}^2, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{в}}$  – подача источника тяги, м<sup>3</sup>/с.

Данная зависимость достаточно точно описывает фактическую характеристику источника тяги с погрешностью не более 1 % в рабочей зоне. Поступление утечек воздуха в газопровод задано в модели двумя ветвями в его начале и конце у регулировочных окон.

Исследования изменения аэродинамических параметров проветривания выемочного участка с использованием газоотсасывающей установки

выполнено на примере характерного выемочного участка 2-й западной лавы пласта  $h_8$  шахты «Шахтерская-Глубокая» (рис. 2).

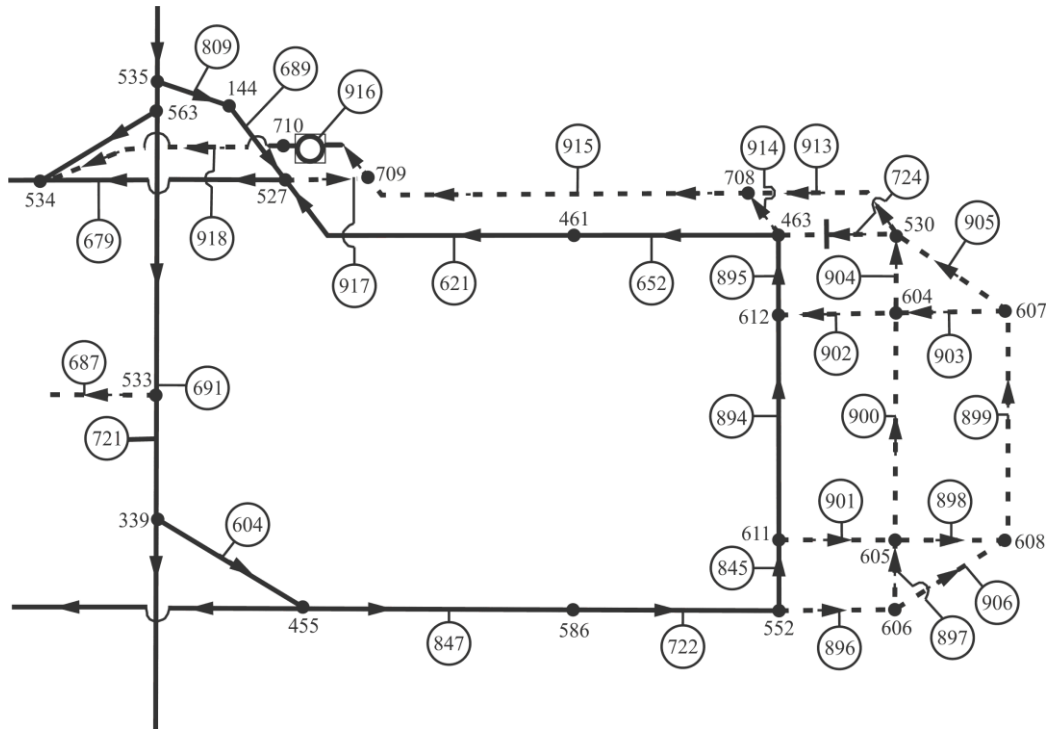


Рис. 2. Модель схемы проветривания 2-й западной лавы пласта  $h_8$  шахты «Шахтерская-Глубокая» с отводом метана из выработанного пространства вентилятором ВМЦГ-7М

Шахта «Шахтерская-Глубокая» относится к сверхкатегорийным, с абсолютным метановыделением  $26,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ , проветривается тремя мощными вентиляторами главного проветривания с суммарной подачей воздуха в шахту в количестве более  $27000 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Вторая западная лава пласта  $h_8$  проветривается по возвратноточной схеме, имеет длину  $210 \text{ м}$ , вынимаемая мощность пласта  $0,9 \text{ м}$ , а метановыделение – около  $4 \text{ м}^3/\text{мин}$ . На участок подается более  $1000 \text{ м}^3/\text{мин}$  свежего воздуха.

Аэродинамическое сопротивление утечек воздуха через выработанное пространство  $R_{\text{ут.вп}}$  определяют по формуле

$$R_{\text{ут.вп}} = h_{\text{оч}} / \left[ \left( 1 - \frac{1}{k_{\text{ут.в}}} \right) Q_{\text{уч}} \right]^2, \quad (2)$$

где  $h_{\text{оч}}$  – депрессия очистного забоя, даПа;

$Q_{\text{уч}}$  – расход воздуха на участке,  $\text{м}^3/\text{с}$ , контролируется наиболее надежно;

$k_{\text{ут.в}}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство; для возвратноточных схем проветривания определяют по формуле

$$k_{\text{ут.в}} = 1 + 0,13m_{\text{в.пр}} \exp(0,35\bar{f} - 0,25S_{\text{оч.мин}}), \quad (3)$$

где  $m_{в.пр}$  – вынимаемая мощность пласта с учетом прослоев и присечек, м;  
 $f$  – средневзвешенный коэффициент крепости пород кровли на расстоянии от кровли вынимаемого пласта, равном восьми его мощностям;  
 $S_{оч.мин}$  – минимальная площадь поперечного сечения лавы в свету, м<sup>2</sup>.

Аэродинамическое сопротивление утечек воздуха в призабойном пространстве определяется из условий параллельного соединения по формуле

$$R_{ут.оз} = h_{оч} / \left[ \left( \frac{k_{оз} - 1}{k_{ут.в}} \right) Q_{уч} \right]^2, \quad (4)$$

где  $k_{оз}$  – коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, которая непосредственно прилегает к призабойному.

Аэродинамическое сопротивление утечек воздуха для остальной части выработанного пространства определяют по формуле

$$R_{ут.ост} = h_{оч} / \left[ \left( 1 - \frac{k_{оз}}{k_{ут.в}} \right) Q_{уч} \right]^2. \quad (5)$$

Аэродинамическое сопротивление отдельных участков (ветвей) утечек воздуха в выработанном пространстве определяют по удельному аэродинамическому сопротивлению и длине участков с учетом средних значений шагов посадки непосредственной и основной кровли и общей длины лавы (ветви 896, 901, 902 и 724 приняты длиной 10 м; ветви 897, 898, 903 и 904 20 м; ветви 905 и 906 28 м; ветви 899 и 900 170 м).

Погашаемый тупик в расчетной схеме необходимо задавать отдельной ветвью, чтобы иметь данные о расходе и направлении движения в нем воздуха. Этот тупик становится диагональю при работе системы газоотсоса.

Расчеты выполнены при работе вентилятора ВМЦГ-7М с трубопроводами диаметром 600, 800, 1000 и 1200 мм и длиной 200, 400, 600 и 800 м, а также при аэродинамическом сопротивлении тупика погашения вентиляционного штрека с перемычкой 0,005; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1 и 5,0 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>. На нагнетательной части газопровода (ветвь 918) во всех вариантах принят трубопровод диаметром 800 мм, длиной 100 м и аэродинамическим сопротивлением 0,57 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>. Утечки воздуха в газопровод представлены в модели двумя ветвями 914 и 917, расположенными у окон для измерения и регулирования параметров отводимой газовойоздушной смеси.

По результатам расчета (табл. 1) расход воздуха на выемочном участке равен при длине выемочных выработок 200, 400, 600 и 800 м соответственно 1157,4; 1138,3; 1120,1 и 1103,1 м<sup>3</sup>/мин, т.е. изменялся всего на 54,3 м<sup>3</sup>/мин или на 4,9 %. Утечки воздуха через выработанное пространство равны соответственно 363,4; 357,4; 351,6 и 346,4 м<sup>3</sup>/мин и тоже изменились на 4,9 %.

Таблица 1

Воздухораспределение на выемочном участке 2-й западной лавы пласта  $h_8$  шахты «Шахтерская-Глубокая» при работе газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М с различными параметрами газопровода

Диаметр газопровода, мм	Аэродинамическое сопротивление трубопровода, $\text{даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$		Утечка воздуха через выработанное пространство, $\text{м}^3/\text{мин}$		Расход воздуха в трубопроводе, $\text{м}^3/\text{мин}$		Поступление воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$			Расход воздуха в вентиляционной выработке, $\text{м}^3/\text{мин}$			
		в середине лавы	на выходе из лавы	на участке	в исходящей	в при-забойной части	в остальной части	всего	в начале	в конце		в трубопровод	в лаву	
При длине трубопровода газоотсоса 800 м														
Без газоотсоса		756,7	862,3	1103,1	1103,1	186,6	159,8	346,4	-	-	-	105,6	240,7	
600	2,34	766,4	788,1	1122,1	843,5	191,6	164,1	355,7	264,3	339,2	14,3	60,5	21,7	69,7
800	4,58	770,8	785,0	1125,9	807,0	190,8	164,3	355,1	302,4	350,1	16,5	31,2	14,2	38,5
1000	1,3	771,6	784,1	1127,0	789,5	190,9	164,5	355,4	319,9	356,0	17,5	18,6	12,5	22,9
1200	0,439	778,7	762,2	1137,7	605,8	192,8	166,2	359,0	504,0	551,9	27,9	19,9	-16,5	-128,5
ВМЦГ-7М остановлен		756,3	850,0	1104,6	1079,6	187,8	160,5	348,3	31,8	25,6	-6,8	0,7	93,6	222,83
Заслонка закрыта		759,1	860,0	1105,1	1089,6	186,4	159,6	346,0	9,5	14,3	6,0	-1,2	109,0	235,5
При длине трубопровода газоотсоса 600 м														
Без газоотсоса		768,4	875,7	1120,1	1120,1	189,4	162,2	351,6	-	-	-	-	107,2	244,4
600	17,55	777,3	800,4	1138,8	853,3	194,1	167,4	361,5	265,2	339,8	20,4	54,2	23,0	73,3
800	3,44	778,7	794,4	1140,7	820,0	194,4	167,7	362,1	313,4	347,4	7,4	26,7	15,7	33,0
1000	0,98	782,8	794,6	1143,0	803,9	193,5	166,7	360,2	334,8	353,9	4,3	14,9	11,8	13,6
1200	0,329	787,1	762,3	1151,3	606,2	195,7	168,5	364,2	538,9	559,2	6,2	14,1	-24,8	-149,9
При длине трубопровода газоотсоса 400 м														
Без газоотсоса		780,9	889,9	1138,3	1138,3	192,5	164,9	357,4	-	-	-	-	109,0	248,4
600	11,7	790,9	810,1	1155,2	860,7	195,7	168,6	364,3	279,4	340,1	15,2	45,5	19,2	65,7
800	2,29	789,3	803,6	1155,3	822,9	196,7	169,4	366,1	330,0	354,8	2,4	22,4	14,3	21,8
1000	0,65	795,2	775,3	1163,3	629,8	197,8	170,3	368,1	528,6	552,8	4,9	19,3	-19,9	-140,6
1200	0,219	795,7	771,2	1164,1	614,3	197,9	170,4	368,3	543,5	561,5	6,2	11,7	-24,5	-150,6
При длине трубопровода газоотсоса 200 м														
Без газоотсоса		794,1	904,8	1157,4	1157,4	195,7	167,7	363,4	-	-	-	-	110,8	252,6
600	5,85	800,4	818,9	1170,6	860,7	198,9	171,3	370,2	293,9	344,1	16,0	34,2	18,6	57,7
800	1,15	799,6	815,5	1171,5	838,6	199,8	172,2	372,0	325,2	349,1	7,7	16,2	15,9	30,8
1000	0,33	806,0	784,5	1177,7	633,2	199,5,	172,1	371,6	536,3	558,9	8,2	14,4	-21,5	-143,1
1200	0,11	803,9	780,0	1177,0	621,9	200,4	172,8	373,2	548,9	563,8	6,3	8,6	-23,9	-151,8
ВМЦГ-7М остановлен		795,1	887,1	1160,1	1119,7	196,5	168,5	365,0	47,5	36,4	-7,1	-3,9	91,8	225,5
Заслонка закрыта		781,8	863,3	1150,6	1134,5	209,5	159,3	368,8	10,4	14,9	5,7	-1,2	81,5	276,9

Расход воздуха в газопроводе изменяется в 2,08 раза – от 264,3 до 548,9 м<sup>3</sup>/мин. Утечки воздуха через выработанное пространство в лаву при диаметре газопровода до 800 мм 11,8...23 м<sup>3</sup>/мин, при диаметре газопровода 1000 и 1200 мм они движутся к всасывающему газопроводу с расходом 16,5...24,8 м<sup>3</sup>/мин, т.е. в лаву не поступают.

Расход воздуха в погашаемом тупике изменяется от 252,6 до 151,8 м<sup>3</sup>/мин с противоположным направлением, т.е. струя опрокидывается при диаметре газопровода 1000...1200 мм и длине выработок 400 и 200 м. В исходящей вентиляционной струе участка расход воздуха уменьшается в пределах от 1157,4 до 605,8 м<sup>3</sup>/мин, т.е. почти в 1,9 раза.

Анализ табл. 1 показывает, что при работе вентилятора с трубопроводами различного диаметра и длины распределение воздуха в лаве, на вентиляционном штреке и в выработанном пространстве существенно изменяется, что следует учитывать при расчетах расхода воздуха для проветривания выемочных участков и газовой обстановки при работе и отключении системы газоотсоса.

Приведенные расчеты позволяют определить эффективность изолированного отвода метана из выработанного пространства  $\eta$ , %, по формуле

$$\eta = \frac{100n}{0,4 + 0,6n}, \quad (6)$$

где  $n$  – отношение изолированного отвода газовой смеси к общему значению утечек воздуха через выработанное пространство, %.

Фактическую эффективность изолированного отвода метана из выработанного пространства  $\eta_{\text{ф}}$ , %, более точно определяют по формуле

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{I_{\text{отс}}}{I_{\text{вп}}} = \frac{C_{\text{т}}(Q_{\text{п}} - Q_{\text{и}})}{I_{\text{уч}} - I_{\text{оч}}}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{отс}}$  – расход отводимого метана, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{\text{вп}}$  – расход метана, поступающего из выработанного пространства в выработки участка при отсутствии изолированного газоотсоса, м<sup>3</sup>/мин;

$C_{\text{т}}$  – объемная доля метана в отводимой газоотсосом смеси, %;

$Q_{\text{п}}$  – расход воздуха на участке и в исходящей струе, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{\text{и}}$  – расход воздуха в исходящей струе, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{\text{уч}}$  – абсолютное метановыделение на участке, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{\text{оч}}$  – метановыделение в очистной выработке, м<sup>3</sup>/мин.

Значительное влияние на вынос утечек воздуха из выработанного пространства в лаву, а вместе с ними и метана оказывает аэродинамическое сопротивление тупика погашения с установленной в нем перемычкой (табл. 2).



Таблица 2

Изменение расходов воздуха и его поступления в выработки выемочного участка в зависимости от аэродинамического сопротивления тупика погашения вентиляционной выработки с перемычкой

Длина вентиляционной выработки, м	Номер ветви	Аэродинамическое сопротивление погашаемого тупика вентиляционной выработки с перемычкой, даПа·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>						
		0,005	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0
		Расход воздуха, поступающего в выработки выемочного участка, м <sup>3</sup> /мин						
800	722	1109,2	1106,0	1103,1	1099,9	1095,8	1092,4	1086,3
	895	780,3	832,0	862,3	897,5	944,6	975,8	1027,9
	902	21,7	73,3	105,6	140,9	186,5	217,2	268,5
	724	329,0	274,0	240,7	202,4	151,2	116,6	58,4
600	722	1126,5	1122,6	1120,1	1116,8	1112,5	1108,9	1102,4
	895	792,4	844,1	875,7	911,3	959,0	990,5	1043,1
	902	22,2	76,6	107,2	143,1	189,3	220,6	272,6
	724	334,1	278,5	244,4	205,5	153,5	118,4	59,3
400	722	1145,1	1141,9	1138,3	1134,7	1129,5	1125,7	1119,5
	895	805,5	859,1	889,9	925,9	983,4	1005,3	1058,3
	902	22,4	75,4	109,0	145,4	156,2	225,8	276,7
	724	339,6	282,8	248,4	208,8	156,2	120,4	60,2
200	722	1164,8	1160,4	1157,4	1153,9	1148,2	1144,1	1136,8
	895	818,3	871,5	904,8	921,6	989,4	1021,7	1075,6
	902	22,9	79,1	110,8	147,8	158,8	229,5	283,1
	724	345,4	287,9	252,6	212,3	158,8	122,4	61,3

Выполненные расчеты при различной длине вентиляционной выработки для рассматриваемых условий показывают, что с увеличением аэродинамического сопротивления тупика погашения с перемычкой вынос утечек воздуха в лаву увеличивается при сопротивлении 0,005 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> от 21,7 до 22,9 м<sup>3</sup>/мин, а при сопротивлении 5,0 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> от 268,5 до 283,1 м<sup>3</sup>/мин.

При отключении системы газоотсоса за счет общешахтной депрессии по газопроводу диаметром 600 мм и длиной 800 м поступает 31,8 м<sup>3</sup>/мин (ветвь 913) воздуха, а при диаметре газопровода 1200 мм и длине 200 м поступает 47,5 м<sup>3</sup>/мин воздуха. С закрытой заслонкой газопровода в ветви 913 расход воздуха в нем соответственно 9,5 и 10,4 м<sup>3</sup>/мин.

**Выводы.** Предложена модель работы газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М для возвратноточной схемы проветривания выемочного участка с разделением утечек воздуха через выработанное пространство на два потока в пределах призабойного пространства и остальной его части. Модель позволяет достаточно точно (расхождение с данными депрессионной съемки не превышает 2 %) определить распределение воздуха по выработкам выемочного

участка без системы газоотсоса, при различных диаметрах и длине газопровода расход воздуха в исходящей струе выемочного участка, направление его движения в тупике погашения, а также поступление воздуха из выработанного пространства в лаву при работе и остановке газоотсасывающего вентилятора.

Предложены формулы для расчета аэродинамического сопротивления утечек воздуха через выработанное пространство и эффективности газоотсоса. Результаты анализа и расчетов позволяют дать рекомендации по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и газоотсоса.

### Список литературы / References

1. Пашковский, П.С. Проветривание выемочных участков при отключении систем дегазации / П.С. Пашковский, Н.В. Карнаух, А.В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – 2017. – № 1 (54). – С. 85 – 93.

Pashkovskiy, P.S., Karnaukh, N.V., Mavrodi, A.V. *Provetrivaniye vuyemochnykh uchastkov pri otklyuchenii sistem degazatsii* [Ventilation of blocks by cutoff of degassing systems]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 1 (54), pp. 85 – 93.

2. Брюханов, А.М. Анализ обстоятельств взрывов метана на шахтах и мероприятия по их предотвращению / А.М. Брюханов, А.Г. Мнухин, К.К. Бусыгин // Уголь Украины. – 2003. – № 4. – С. 37 – 40.

Bryukhanov, A.M., Mnukhin, A.G., Busygin, K.K. *Analiz obstoyatel'stv vzryvov metana na shakhtakh i meropriyatiya po ikh predotvrashcheniyu* [Analysis of circumstances of methane explosions at mines and measures on their prevention]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2003, no. 4, pp. 37 – 40.

3. Грядущий, В.Б. Предотвращение взрывов и вспышек метана в тупиках погашения вентиляционных выработок / В.Б. Грядущий, Е.Я. Самойленко // Уголь Украины. – 2006. – № 3. – С. 36 – 38.

Gryadushchiy, V.B., Samoilenko, Ye.Ya. *Predotvrashcheniye vzryvov i vspyshek metana v tupikakh pogasheniya ventilatsionnykh vyrabotok* [Prevention of methane explosions and outbursts in abandoning sidetracks of ventilation mine workings]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2006, no. 3, pp. 36 – 38.

4. Условия образования местных скоплений метана на сопряжениях лав с вентиляционными выработками / А.В. Агафонов, А.И. Бобров, Е.П. Захаров, И.Н. Попов // Уголь Украины. – 2004. – № 7. – С. 30 – 31.

Agafonov, A.V., Bobrov, A.I., Zakharov, Ye.P., Popov, I.N. *Usloviya obrazovaniya mestnykh skopleniy metana na sopryazheniyakh lav s ventilatsionnymi vyrabotkami* [Conditions of formation of local methane accumulations at connections of faces with ventilation mine workings]. *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2004, no. 7, pp. 30 – 31.

5. Патрушев, М.А. Повышение надежности проветривания шахт / М.А. Патрушев, Н.В. Карнаух, А.Г. Лепихов. – Киев: Техника, 1990. – 168 с.

Patrushev, M.A., Karnaukh, N.V., Lepikhov, A.G. *Povysheniye nadyezhnosti provetrivaniya shakht* [Reliability improvement of ventilation of mines]. Kiev, Tekhnika Publ., 1990, 168 p.

6. Схемы и способы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов, Н.В. Карнаух и др.: утв. Госпромгорнадзором Украины 30.06.2006 № 108. – Киев, 2006. – 79 с.

Zvyagil'skiy, Ye.L., Bokiy, B.V., Kasimov, O.I., Karnaukh, N.V. etc. *Skhemy i sposoby upravleniya gazovydeleniyem na vyemochnykh uchastkakh ugol'nykh shakht* [Schemes and methods of gas control in excavation districts of coal mines]. Approved by the Gospromgornadzor Ukrainy on 30.06.2006 no. 108. Kiev, 2006, 79 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Грековым.  
Дата поступления рукописи 20.07.2017

*Pyotr Semyonovich Pashkovskiy, Dr. Sci. (Tech.), first deputy director on science; e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);*

*Nikolay Viktorovich Karnaukh, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: [avrstla@mail.ru](mailto:avrstla@mail.ru);*

*Aleksandr Viktorovich Mavrodi, engineer; e-mail: [mavrodi-av@mail.ru](mailto:mavrodi-av@mail.ru);*

*Vladimir Vladimirovich Zakhlebin, engineer; e-mail: [vleben@inbox.ru](mailto:vleben@inbox.ru)*

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

*283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-34*

## INFLUENCE OF A GAS-SUCTION INSTALLATION ON AIR DISTRIBUTION IN EXCAVATION DISTRICTS

**Purpose.** Estimation of the influence of the gas-suction installation with various parameters of a gas pipeline on air distribution in mine workings of the excavation districts by its operation and failure.

**Methods.** Computer calculations of the air distribution in the excavation district with the gas-suction installation by various diameters and length of the gas pipeline, aerodynamic resistances of the abandoning sidetrack of the ventilation mine working with the stopping.

**Results.** The values of the air distribution in the mine workings of the excavation district were obtained by operation and failure of the gas-suction installation.

**Scientific novelty.** The model of the operation of the gas-suction installation was created in the recirculation airing circuit of the excavation district with division of air losses through the waste in two normalized flows within the limits of its face and rest space.

**Practical value.** The calculation results allow determining the aerodynamic parameters of the excavation district, waste and gas-suction system that one can use in the recommendations on choice of ventilation conditions of the excavation districts by cutoff of the degassing and gas-suction system.

**Keywords:** *model of the excavation district; waste; gas-suction installation; failure of the gas-suction system; gas pipeline; aerodynamic parameters.*

## УДК 624.131.23:624.138.4

**Сергей Павлович Высоцкий**, д-р техн. наук, завкафедрой; e-mail: [sp.vysotsky@gmail.com](mailto:sp.vysotsky@gmail.com);  
+38 050 649-84-36;

**Анастасия Валериевна Писаренко**, ассистент; e-mail: [pisarenko\\_av@mail.ru](mailto:pisarenko_av@mail.ru); +38 099-786-99-48  
Государственное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»  
286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел. (+38 0623) 22-74-71

### МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ

**Цель.** Выбор методов увеличения структурной прочности грунтов под основаниями строительных сооружений.

**Методика.** Определение напряжения сдвига ракетки в суспензии глинистых грунтов с присадкой различных составов-отвердителей на специально разработанной установке.

**Результаты.** Рассмотрены теоретические предпосылки повышения прочности оснований строительных сооружений за счет увеличения напряжения сдвига. Определены рациональные методы активации жидкого стекла. Предложены аналитические зависимости вязкости растворов жидкого стекла в зависимости от модуля раствора и его плотности.

**Научная новизна.** Разработан новый метод определения структурной прочности грунта с определением его сдвиговой деформации. Найдены аналитические зависимости вязкости растворов жидкого стекла в зависимости от плотности раствора и модуля жидкого стекла.

**Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при выборе методов повышения структурной прочности грунтов в основаниях строительных конструкций на просадочных и подрабатываемых грунтах.

**Ключевые слова:** подрабатываемые территории; подтопление; жидкое стекло; активация; сдвиг; вязкость; тиксотропный эффект.

**Постановка проблемы.** При повышении плотности застроенных территорий, реконструкции и создании современных инфраструктур в стесненных условиях возникают сложности, связанные с тем, что многие работы проходят на просадочных грунтах, распространенных в ДНР, России и Украине. Решить эти проблемы можно при использовании методов улучшения строительных свойств грунтов оснований [1, 2].

Наибольшее распространение получил метод закрепления грунтового основания с применением силикатирования. Закрепление грунтов приобрело актуальность при совершенствовании строительства, реконструкции и технической перевооруженности действующих предприятий, зданий и сооружений, а также при освоении подземного пространства в современном градостроительстве. Удовлетворяет все требования система, основанная на взаимодействии силикатов натрия с кислотой с образованием активной кремниевой кислоты ( $\text{SiO}_2$ ). В этой системе, как известно, при низких значениях pH кремнезем вначале полимеризуется до очень небольших дискретных частиц. Одним из важнейших свойств дисперсных систем является их устойчивость. Устойчивость коллоидной системы на основе  $\text{SiO}_2$  характеризуется временем ее жизни в практически неизменном состоянии.

Наибольшее теоретическое и практическое значение имеет седиментационная устойчивость, которая характеризует способность системы к равномерному распределению частиц по всему ее объёму. Коллоидные системы, особенно лиозоли, имеющие частицы малого размера, обладают достаточно высокой седиментационной устойчивостью [3].

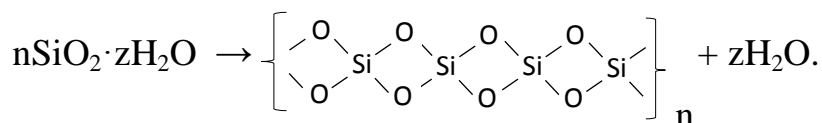
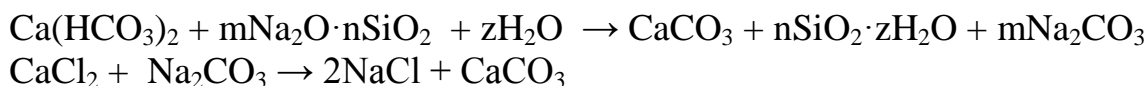
**Анализ последних исследований.** В связи с резким ростом урбанизации, заполнения территорий, малопригодных для строительства (просадочные грунты), было начато изучение, цель которого – увеличение срока эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в сложных инженерно-геологических условиях, путем увеличения несущей способности оснований химическим составом, разработанным на базе активной кремниевой кислоты с применением анионоактивного полиакриламида Ecoloc. Вследствие изменения прочностных свойств грунтов начинается разрушение оснований зданий и сооружений, которое влечет за собой потерю несущей способности конструкции.

Потеря строительных свойств грунтов в первую очередь опасна потерей несущей способности конструкций, она может происходить в результате внезапного роста прогибов и деформаций, когда внешние нагрузки достигают критических значений. Такое явление называют потерей устойчивости, оно связано обычно с возникновением новых форм равновесия конструкции при значительных отклонениях от первоначального положения. Изменение прочностных свойств грунта зачастую происходит в его массивах, которые включают в себя разновидности слабых грунтов. К таким грунтам можно отнести просадочные.

**Материалы и результаты исследований.** В настоящее время для закрепления просадочных грунтов, как правило, используют однорастворную или двухрастворную силикатизацию, в которой в качестве основного инъекционного раствора применяют водный раствор силиката натрия или жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ). Раствор подают в иньектор под давлением 1,0...1,5 МПа на глубину до 15...20 м. При этом упрочненная зона создается вокруг иньектора радиусом 0,4...1 м в зависимости от коэффициента фильтрации грунта.

При обводнении грунта, обусловленном паводком, разрушением водопроводных коммуникаций, для защиты зданий и сооружений целесообразно использовать эффект Томса. В этом случае предпочтительно применение полимерных присадок, обеспечивающих снижение вязкости жидкости и ускорение процесса обезвоживания.

Известно применение силикатирования для закрепления слабых грунтов. Однако при использовании силикатирования следует учитывать то, что это мероприятие обеспечит положительный эффект только при полимеризации кремниевой кислоты с образованием силоксановых структур. Согласно химизму процесса жидкое стекло не образует полимерных структур. Полимеризация может происходить при наличии в увлажненной почве гидрокарбонатных ионов. Процесс происходит по следующей схеме:



В свою очередь, образующийся по указанной реакции карбонат натрия взаимодействует с ионами кальция, присутствующими в грунтовых водах с осаждением в растворе карбоната кальция.

В мировой практике скорость проникновения материала в какую-либо среду определяют пенетрометром. Но данный способ не дает возможности

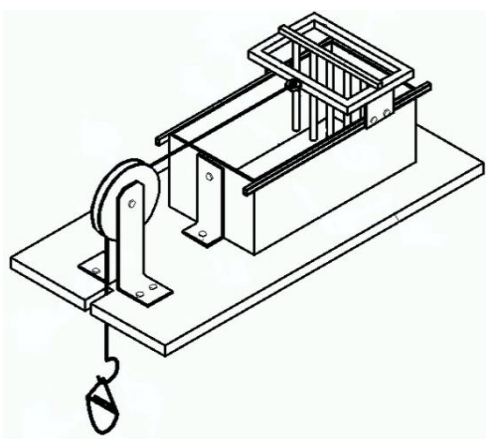


Рис. 1. Экспериментальная установка для оценки тиксотропных характеристик грунта

получить данные в динамическом режиме при движении среды. Поэтому эксперимент по закреплению грунта разработанным составом проводили на установке (рис. 1) для исследования тиксотропных характеристик грунтов [4]. Эта установка представляет собой металлический короб для грунта с закрепляющим раствором. На коробе смонтирован каркас с решеткой (металлический прут диаметром 6 мм длиной 145 мм), который под действием фиксированного груза посредством шариковых направляющих выполняет перемещение в закрепленном грунте в пределах короба, тем самым моделируя напряженно-деформируемое состояние закрепленного грунта.

Концентрированные растворы взвешенных в воде частиц часто встречаются в промышленных системах, обычно обладают тиксотропными свойствами. Для таких систем в равновесных условиях при относительно постоянной скорости сдвиговой деформации напряжения сдвиговые деформации  $\tau$ , Па, выражаются уравнением

$$\tau = \tau_0 + \mu_\infty \gamma + [c\gamma / (1 + \beta\gamma)],$$

где  $\tau_0$  – напряжение сдвиговой деформации в равновесных условиях, Па;

$\mu_\infty$  – вязкость суспензии «грунт-вода» при высоких значениях сдвиговой деформации, Па·с;

$\gamma$  – скорость сдвиговой деформации, с<sup>-1</sup>;

$\beta$  – константа, с;

$c$  – разность вязкостей равновесной жидкости и суспензии «грунт-вода»;

$$c = \mu_\infty - \mu_0;$$

$\mu_0$  – вязкость суспензии «грунт-вода» при низких значениях сдвиговой деформации, Па·с.

Из указанного уравнения следует, что увеличение вязкости суспензии обеспечивает повышение уровня сдвиговой деформации и соответственно увеличения устойчивости строительных сооружений. Основной показатель устойчивости грунта от напряжения сдвига зависит от тиксотропных характеристик. Последние зависят также от типа воздействий на грунт: знакопеременные, частотные и т.д. Тиксотропные свойства грунтов проявляются в виде ползучести конструкции, например, при наличии вибрации в элементах конструкции при дросселировании потока жидкости или газа в местах наличия арматуры, сужения или расширения потока, а также значительного изменения направления потока. Подобные явления могут иметь место на коммуникациях газа или нефтепроводах, а также на строительных сооружениях, размещенных на грунтах, подверженных тиксотропным воздействиям и расположенных вблизи потоков транспортных средств, которые создают вибрации в элементах конструкций.

Учитывая широкое применение жидкого стекла для закрепления грунтов, существенный интерес представляет определение влияния модуля жидкого стекла и степени разбавляемых (по приросту плотности над плотностью растворителя) на вязкость раствора. Значение плотности растворов жидкого стекла и их вязкости определяют традиционным методом.

Как видно из представленных на рис. 2 данных, зависимости прироста вязкости над вязкостью растворителя от разности плотности растворов жидкого стекла и плотности растворителя для разных значений модуля хорошо описываются прямыми линиями в полулогарифмических координатах.

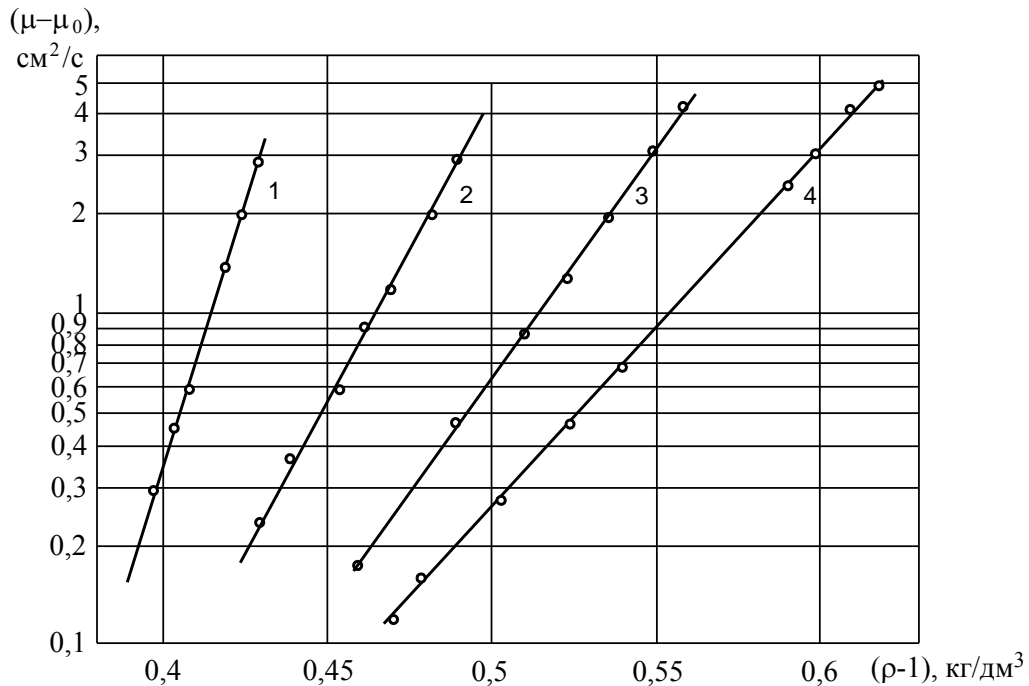


Рис. 2. Зависимость прироста вязкости растворов жидкого стекла от разности его плотности и плотности растворителя

Аналогичное решение зависимости вязкости растворов жидкого стекла от плотности при различных значениях модулей представлено и имеет вид

$$\eta - \eta_0 = A \exp[B(\rho - 1)].$$

Значение предэкспоненциального множителя и показателя степени приведены в таблице.

Зависимость вязкости растворов жидкого стекла  
от плотности кремниевой кислоты

Модуль М	Предэкспоненциальный множитель, А	Показатель степени, В
1,5	$1,26 \cdot 10^{-13}$	71,46
2,4	$2,97 \cdot 10^{-9}$	42,31
2,45	$7,71 \cdot 10^{-8}$	31,83
3,22	$1,38 \cdot 10^{-6}$	24,35

Согласно Флори характеристическая вязкость зависит от размеров макромолекулярного клубка:

$$\eta = \Phi_0 [(\hat{h}^2)^{3/2}]/M,$$

где  $\Phi_0$  – константа Флори, Па·с·г/(моль·м);

$\hat{h}^2$  – среднеквадратическое расстояние между конечными участками полимерной цепи, м;

M – молекулярная масса полимерной структуры, г/моль.

Обращает на себя внимание то, что при меньших значениях модуля жидкого стекла влияние прироста разности плотности раствора и растворителя на увеличение прироста вязкости существенно больше, чем при использовании жидкого стекла с повышенными значениями модуля. Это можно объяснить увеличением соотношения  $(\hat{h}^2)^{3/2}/M$  за счет уменьшения молярной массы полимера для малых значений модуля жидкого стекла.

На опытном образце установки проведены эксперименты по определению сдвиговой деформации при закреплении обводненного грунта растворами кремниевой кислоты, а также растворами кремниевой кислоты с добавлением анионоактивного полиакриламида Eсofloc. В результате экспериментов получены зависимости, по которым видно, что напряжение сдвига при массовой доле раствора в грунте выше 3,0 % практически не меняется и резко возрастает при уменьшении массовой доли ниже 3,0 %. При равных концентрациях растворов в грунте, чем выше массовая доля SiO<sub>2</sub>, тем больше напряжение сдвига (рис. 3).



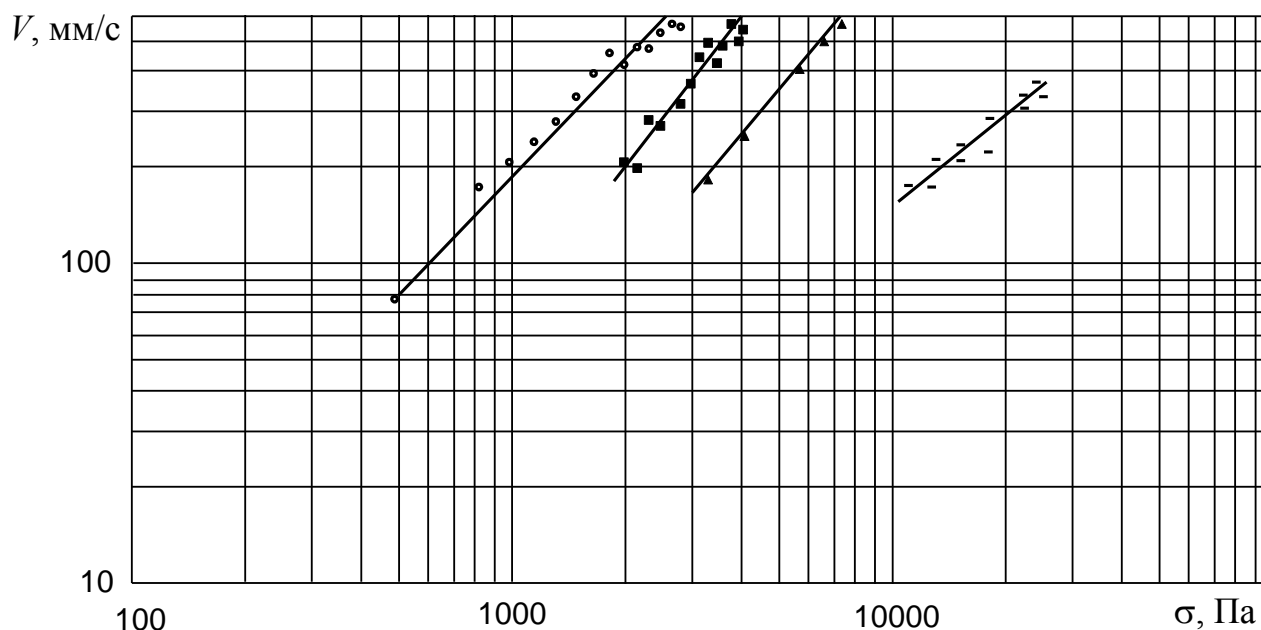


Рис. 3. График зависимости скорости от напряжения сдвига при различных закрепляющих составах в грунте при 50 %-м соотношении грунт-раствор:

— — 3 % SiO<sub>2</sub>; ▲ — 2 % SiO<sub>2</sub>; ■ — 1 % SiO<sub>2</sub>; ● — 0,5 % SiO<sub>2</sub>

Наименьшее сопротивление оказывали частицы в водонасыщенном состоянии, затем закрепленные жидким стеклом. Наиболее эффективным был грунт с массовой долей 1 и 2 % SiO<sub>2</sub>. При том, что проникающая способность раствора оказалась значительно выше, чем жидкого стекла, за счет применения полиакриламида, а большая скорость при составе с 1 % SiO<sub>2</sub> обусловлена большей концентрацией полиакриламида, что дает основание предполагать присутствие эффекта Томса на грани сред в опыте, а значит и на грани сред закрепленного и незакрепленного грунта в натуральных условиях. В 40-е годы XX в. было замечено, что некоторые полимеры (полиэтиленоксид, полиакриламид, полиакриловая кислота и др.) в водных растворах проявляют необычные свойства, в частности, способность к комплексообразованию со многими неорганическими и органическими веществами; осаждение из водных растворов твердых примесей (флуктуация); снижение гидравлического сопротивления прокачиваемой жидкости; снижение турбулентности течения жидкости в трубах; усиление потока течения воды в трубах и пожарных шлангах и др.

Существует множество теоретических представлений, объясняющих особенности поведения полимеров в воде:

- ориентация молекул воды вокруг макромолекул полиэтиленоксида с возникновением структур, которые уменьшают трение внутри потока и гасят турбулентные завихрения;
- псевдопластичность неньютоновской жидкости, эффективная вязкость которой заметно снижается при увеличении скорости потока, но жидкость,

содержащая микроколичество полимера (0,003...0,004 %), не проявляет взаимодействия макромолекул;

- набухание в воде ассоциатов 2...10 мкм макромолекул 10...100 нм полимера определенного размера (2...10 мкм), так называемых «пачек» (размер вытянутых макромолекул 10...100 нм, а размер порошкообразных частиц 100...2000 нм).

### Выводы

1. Раствор активной кремниевой кислоты с полиакриламидом наиболее эффективен с массовой долей 2 % SiO<sub>2</sub> и может применяться для повышения несущей способности оснований зданий и сооружений, которые эксплуатируют на слабых (просадочных) грунтах.

2. При увеличении в растворе массовой доли полиакриламида в грунте эффект Томса на грани сред будет способствовать отводу грунтовых вод от закрепленного массива, что обеспечивает дополнительное усиление просадочного грунта. Этот эффект требует дополнительного изучения.

### Список литературы / References

1. Shvets, V.B., Shapoval, V.G., Candzuba, S.P., Popovichenko, S.O. Prognosis of foundations under the load increasing in time and cyclic. Theoretical foundations in civil engineering. 1994, Warsaw, pp. 221 – 225.

2. Massarsch, K. R. Deformation properties of fine-grained soils from seismic tests. Keynote lecture. International Conference on Site Characterization, ISC'2, 19 – 22 Sept. 2004, Porto, 14 p.

3. Урьев, Н.Б. Структурированные дисперсные системы / Н.Б. Урьев // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 6. – С. 42 – 47.

Ur'yev, N.B. *Strukturirovannyye dispersnyye sistemy* [Structured dispersed systems]. *Sorosovkiy obrazovatel'nyy zhurnal – The Soros educational journal*, 1998, no. 6, pp. 42 – 47.

4. Установка для дослідження тиксотропних характеристик ґрунтів: пат. 114230 Україна: МПК G 01 N 3/24 (2006.01) / С.П. Высоцкий, А.В. Писаренко; Заявитель и патентообладатель С.П. Высоцкий, А.В. Писаренко. – Заявл. 04.05.2016 (24); Опубл. 10.03.2017, Бюл.№ 5.

Vysotskiy, S.P., Pisarenko, A.V. *Ustanovka dlia doslidzhennia tiksotropnykh kharakteristik gruntiv* [Installation for investigation of thixotropic characteristics of soils]. Patent Ukrainy, no. 114230, 2017.

*Sergey Pavlovich Vysotskiy*, Dr. Sci. (Tech.), head of subdepartment; e-mail: [sp.vysotsky@gmail.com](mailto:sp.vysotsky@gmail.com);  
+38 050-649-84-36;

*Anastasia Valeriyevna Pisarenko*, assistant lecturer; e-mail: [pisarenko\\_av@mail.ru](mailto:pisarenko_av@mail.ru); +38 099-786-99-48  
The State Educational Institution of Higher Occupational Education “The Donbas National Academy  
of Civil Engineering and Architecture”  
286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone (+38 0623) 22-74-71

## METHODS OF INCREASE OF THE STRUCTURAL SOLIDITY OF SOILS

**Purpose.** Choice of the methods of increase of the structural solidity of the soils under foundations of building constructions.

**Methods.** Determination of the shear stress of the racket in a suspension of clay soils with an additive of various compositions-hardeners in an installation specially worked out.

**Results.** The theoretical preconditions of increase of solidity of the foundations of the building constructions at the expense of growth of the shear stress were considered. The rational methods of activation of liquid glass were determined. The analytical dependences of viscosity of the liquid glass solutions depending on the solution modulus and its density were proposed.

**Scientific novelty.** The new method of determination of the structural solidity of the soil with identification of its shear deformation was worked out. The analytical dependences of viscosity of the liquid glass solutions depending on density of the solution and liquid glass modulus were found.

**Practical value.** The results obtained may be used by choice of the methods of increase of the structural solidity of the soils in the foundations of the building constructions on the subsidence soils and soils being worked up.

**Keywords:** *territories being worked up; impoundment; liquid glass; activation; displacement; viscosity; thixotropic effect.*

**УДК 622.411.33:622.831.325.3**

*Павел Сергеевич Воронов, канд. техн. наук, нач. отд.; e-mail: voronovpavel06@gmail.com;*

*Николай Викторович Карнаух, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: avrstla@mail.ru;*

*Александр Викторович Мавроди, инж.; e-mail: mavrodi-av@mail.ru*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-34*

## **ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ**

**Цель.** Определение изменения параметров метановыделения на выемочных участках для разработки рекомендаций по выбору режимов их проветривания при отключении системы дегазации.

**Методика.** Анализ результатов нарастания метановыделения на выемочных участках после отключения системы дегазации.

**Результаты.** Получены параметры, определяющие изменения метановыделения на выемочных участках после отключения систем дегазации.

**Научная новизна.** Определены зависимости интенсивности метановыделения от длины лавы, мощности разрабатываемого пласта и пластов-спутников, их расположения и зоны максимальной разгрузки, влияние дегазации на увеличение расхода каптируемого метана.

**Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы при оценке газовой обстановки на выемочных участках и выборе режимов их проветривания при отключении системы дегазации.

**Ключевые слова:** *выемочные участки; отключение системы дегазации; методы расчета; изменение метановыделения; шахты.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время дегазация – один из главных технологических процессов, обеспечивающих безопасность горных работ наравне с вентиляцией [1, 2]. С помощью дегазации из пластов-спутников и выработанного пространства отводится до 60 % метана, а при комплексной дегазации до 90 % метана из выработанного пространства выемочных участков.

Дегазация, как любой другой технологический процесс, может быть остановлена или выйти из строя. При этом метановыделение в выработки выемочных участков с исходящей вентиляционной струей увеличится в 1,3...3 раза, а концентрация метана достигнет 2...5 % и более [1].

**Анализ последних исследований.** Интенсивность изменения (нарастания) метановыделения на выемочных участках после отключения дегазации имеет научное и важное практическое значение для безопасного выполнения различных технологических операций (слив воды из газопроводов и их наращивание, подключение скважин, профилактические и ремонтные работы и т.п.) и в аварийных ситуациях (разведка, аварийно-спасательные работы и т.п.).

Практически во всех исследованиях [1-5] приведены примеры нелинейного изменения газовыделения на выемочных участках после отключения системы дегазации (рис. 1) и его стабилизации через 2 ч и более.

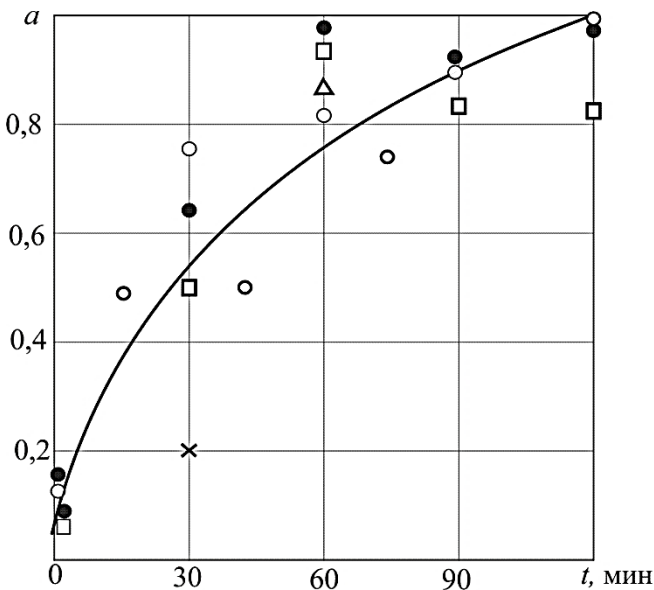


Рис. 1. Интенсивность нарастания метановыделения на выемочных участках после отключения дегазации (обобщенная кривая по пяти выемочным участкам):

- – шахта № 17–17-бис, 2-я зап. лава;
- – то же, 21-я вост. лава;
- × – шахта им. Артема, пл. Мазурка-Восток;
- △ – тот же пласт Мазурка-Запад;
- – шахтоуправление № 11, 12-я зап. лава

дегазации и необходимой подачи, дополнительного количества воздуха для обеспечения безопасности ведения ремонтных и аварийно-спасательных работ.

Для определения увеличения метановыделения на выемочном участке после отключения дегазации  $\Delta I$ , м<sup>3</sup>/с, предложена формула

$$\Delta I = I_d / k_{пр}, \quad (1)$$

где  $I_d$  – объем метана, извлекаемого дегазацией на участке (определяют по данным Книги учета работы дегазационных скважин), м<sup>3</sup>/с;

$k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий прирост метановыделения из пластов-спутников при их дегазации; определяют по формуле

$$k_{пр} = (1,06 - k_d) / (1 - k_d); \quad (2)$$

где  $k_d$  – максимально возможная эффективность дегазации для схемы, применяющейся на выемочном участке, принимается по данным нормативных документов.

Однако процесс нарастания метановыделения авторы аппроксимировали прямыми линиями. Как правило, рассматривался малый период (до 120 мин) после отключения дегазации, а процесс стабилизации вообще не рассматривался. Это дает большие погрешности и не отражает фактический нелинейный процесс перехода к стабилизации метановыделения на новом уровне.

Основные результаты исследований [1-5] сводятся к определению увеличения метановыделения на выемочном участке при отключении системы дегазации, определению коэффициента  $k_{пр}$ , учитывающего прирост метановыделения из смежных пластов-спутников при их дегазации, а также определение газовой обстановки в исходящей струе участка в период отключения

Для определения средней по сечению вентиляционной выработки расчетной (ожидаемой) объемной доли метана в исходящей струе участка  $C_{cp}$ , %, предложена формула

$$C_{cp} = C_0 + 100(I_n + \Delta I) / Q_{уч}; \quad (3)$$

где  $C_0$  – объемная доля метана в поступающем на участок воздухе, %;

$I_n$  – метановыделение в исходящую вентиляционную струю участка при работающей дегазации, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{уч}$  – расход воздуха в исходящей вентиляционной струе участка при работающей дегазации, м<sup>3</sup>/с.

Следует отметить, что значение  $C_{cp}$  завышено из-за повторного учета объемной доли метана  $C_0$ , поступающего на участок, так как эту объемную долю фактически измеряют в исходящей струе участка  $I_n$ . При допустимом значении  $C_0 = 0,5$  % это влияние может быть существенным.

На основании результатов проведенных исследований на 14 выемочных участках констатируют нелинейный характер изменения метановыделения, длительность стабилизации метановыделения на новом уровне после отключения дегазации в пределах до 6 ч и предлагают формулу для определения дополнительного метановыделения в выработки выемочного участка  $I_{отк}$ , м<sup>3</sup>/мин, в виде

$$I_{отк} = I'_{уч} - \left( I_{н.уч} + \frac{I_d}{k_b} e^{-k_n t} \right), \quad (4)$$

где  $I'_{уч}$  – метановыделение в выработки выемочного участка при отсутствии дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{н.уч}$  – метановыделение в выработки выемочного участка при нормальной работе дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$k_b$  – коэффициент увеличения метановыделения при дегазации сближенных пластов;

$k_n$  – коэффициент, характеризующий интенсивность метановыделения из сближенных пластов.

Значение коэффициента интенсивности метановыделения предлагают определять по формуле

$$k_n = \frac{I_{вп}}{I_{уч}} \left[ \frac{m_p \sum m_i}{\sum m_i \left( 1 - \frac{H_i}{H_p} \right)} \right], \quad (5)$$

где  $I_{\text{вп}}$  – метановыделение из выработанного пространства на выемочном участке при отсутствии дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$m_p$  – мощность разрабатываемого пласта, м;

$m_i$  – мощность дегазируемого сближенного пласта, м;

$H_i$  – расстояние по нормали от сближенного до разрабатываемого пласта, м;

$H_p$  – предельное расстояние до сближенного пласта, метановыделение из которого равно нулю, м.

Относительная ошибка формулы (4) по сравнению с фактическими данными не превышает  $\pm 26\%$ .

В случае отсутствия каких-либо данных для определения дополнительного метановыделения при отключении дегазации предлагают упрощенную формулу

$$I_{\text{отк}} = \frac{I_{\text{дег}}}{k_g} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{t}{t_{\text{стаб}}} \right)^{1,5} \right], \quad (6)$$

где  $t_{\text{стаб}}$  – среднее время стабилизации метановыделения на новом уровне при отключении дегазации;  $t_{\text{стаб}} = 4$  ч.

При определении коэффициента интенсивности метановыделения  $k_{\text{и}}$  учитывают только мощность разрабатываемого пласта (без прослоев и присечек боковых пород, так как средняя зольность угля на шахтах Донецкой Народной Республики находится в пределах 36,6...38 %, а на отдельных шахтах – до 52,7 % и в этих цифрах существенную долю составляют присечки пород в очистных забоях). При расчетах по формулам (5) и (6) не ясно, как поступать при наличии нескольких спутников, не учтено расстояние до зоны разгрузки спутников и направления бурения дегазационных скважин. Значение коэффициента увеличения газовыделения (от 1 до 2) явно завышено.

**Цель исследований** – определение параметров изменения метановыделения на выемочных участках для разработки рекомендаций по выбору режимов их проветривания при отключении систем дегазации.

**Материалы и результаты исследований.** Анализ методик оценки газодинамических параметров выемочных участков при отключении систем дегазации показывает необходимость их совершенствования и недостаточную подготовленность к практическому использованию работниками действующих шахт. Необходимость фактических измерений метановыделения при остановленной дегазации и отсутствие методики их проведения затрудняют возможность их использования на практике, особенно на стадии проектирования.

В связи с неравномерностью метановыделения на выемочных участках (коэффициент неравномерности метановыделения ( $k_n = 1,28 \dots 1,66$  для выемочных участков, применяющих дегазацию), разовые измерения концентрации метана, используемые в методиках, могут давать значительную погрешность.

Поставленная цель решается уточнением методики расчета метановыделения на выемочном участке при учете основных параметров: мощности разрабатываемого пласта с учетом прослоев и присечек боковых пород, мощности пластов-спутников и их расстояния от разрабатываемого пласта, длины лавы, расстояния до зоны максимальной разгрузки, куда практически бурятся дегазационные скважины, доли газовыделения из выработанного пространства, периодичности и порядка определения и др.

В отличие от предлагаемых методик в качестве основного критерия для расчетов принято метановыделение при нормально работающей дегазации. На всех выемочных участках осуществляется постоянный контроль концентрации метана и расхода воздуха. К расчетам принимаются усредненные параметры за время не менее 3 мес. стабильной работы лавы. Таким же образом определяется количество метана, отводимое дегазационной системой. На стадии разработки проектов подготовки и отработки выемочных участков рекомендуется использовать фактические данные лав-аналогов, что позволяет наиболее достоверно определить абсолютное метановыделение на участке и фактическую эффективность дегазации.

Значение метановыделения на выемочном участке при отключении системы дегазации  $I_{\text{уч.отк}}$ , м<sup>3</sup>/мин, предложено определять по формуле

$$I_{\text{уч.отк}} = I_{\text{уч.н}} + k_{\text{вл}} I_{\text{д}} (1 - e^{-at}), \quad (7)$$

где  $I_{\text{уч.н}}$  – усредненное значение газовыделения за период не менее 3 мес. стабильной работы лавы при нормальной работе системы дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$k_{\text{вл}}$  – коэффициент, учитывающий влияние дегазации на увеличение расхода каптируемого метана;

$I_{\text{д}}$  – расход метана, отводимого дегазацией, м<sup>3</sup>/мин;

$a$  – коэффициент, характеризующий интенсивность увеличения метановыделения на выемочном участке при отключении системы дегазации;

$t$  – время, прошедшее с момента отключения системы дегазации, ч.

Значения параметров метановыделения  $I_{\text{уч.н}}$ ,  $k_{\text{вл}}$ ,  $I_{\text{д}}$  при расчете расхода воздуха и дегазации в период составления проекта отработки и подготовки



выемочного участка должны определяться как средние за период не менее 3 мес. стабильной работы лавы при нормальной работе системы дегазации.

Эти параметры считаются наиболее достоверными, контролируются аппаратурой газового контроля и работниками участка вентиляции и техники безопасности с записью на лентах и в нарядах-путевках, предусмотренных нормативными документами.

Значения параметров метановыделения практически используются всеми шахтами при расчетах расхода воздуха для проветривания выемочных участков и расчетов параметров дегазации при разработке проектов подготовки и отработки выемочных участков и дегазации.

Коэффициент, учитывающий влияние дегазации на увеличение расхода капируемого метана, можно определять двумя способами:

по лаве-аналогу

$$k_{\text{вл}} = \frac{I'_{\text{уч}} - I_{\text{уч.н}}}{I_{\text{д}}}, \quad (8)$$

где  $I'_{\text{уч}}$  – абсолютное метановыделение на выемочном участке лавы-аналога при неработающей дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

с учетом эффективности дегазации

$$k_{\text{вл}} = \frac{1,0 - k_{\text{д}}}{1,06 - k_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{д}}$  – фактический достигнутый или нормативный (при отсутствии лавы-аналога) коэффициент эффективности дегазации.

Основной искомой величиной при решении задачи определения интенсивности прироста метановыделения на выемочном участке является коэффициент, характеризующий интенсивность прироста метановыделения при отключении системы дегазации  $a$ . Коэффициент зависит в первую очередь от длины пути движения метановоздушной смеси от места ее забора до действующих выработок участка, расстояния до зоны максимальной разгрузки пластов-спутников и их мощности, мощности разрабатываемого пласта, длины лавы и других параметров. Спутники, находящиеся в зоне посадки непосредственной кровли, не влияют на эффективность дегазации.

Значение коэффициента интенсивности увеличения метановыделения определяют по формуле

$$a = \frac{I_{\text{вл}} \cdot x_{\text{max}} \cdot m_{\text{в}} \cdot \sum m_i}{I_{\text{уч}} \cdot H_{\text{ср}} \cdot \sum m_i \cdot (1 - H_i / H_{\text{р}})}, \quad (10)$$

где  $x_{\max}$  – расстояние до зоны максимальной разгрузки пластов-спутников, м.  
 Значение  $x_{\max}$  определяют по формуле

$$x_{\max} = 8,34 + 0,87 H_{\text{cp}}, \quad (11)$$

где  $H_{\text{cp}}$  – среднее расстояние по нормали от кровли вынимаемого пласта до спутников или зоны бурения дегазационных скважин, м;

$m_{\text{в}}$  – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта, с учетом пропластков и присечек боковых пород, м.

Значение  $H_{\text{р}}$ , м, определяют с учетом длины лавы, вынимаемой мощности пласта и угла его падения.

По предлагаемой методике расчетов определения метановыделения разработана программа расчетов для ЭВМ и выполнены расчеты изменения метановыделения с использованием фактических данных экспериментов [1-5] на выемочных участках, применяющих дегазацию.

Методика доступна для практических расчетов, базируется на параметрах, хорошо известных работникам участка вентиляции и техники безопасности.

На рис. 2, 3 представлены результаты расчетов и фактические данные изменения метановыделения на выемочных участках шахт Донбасса при отключении дегазации.

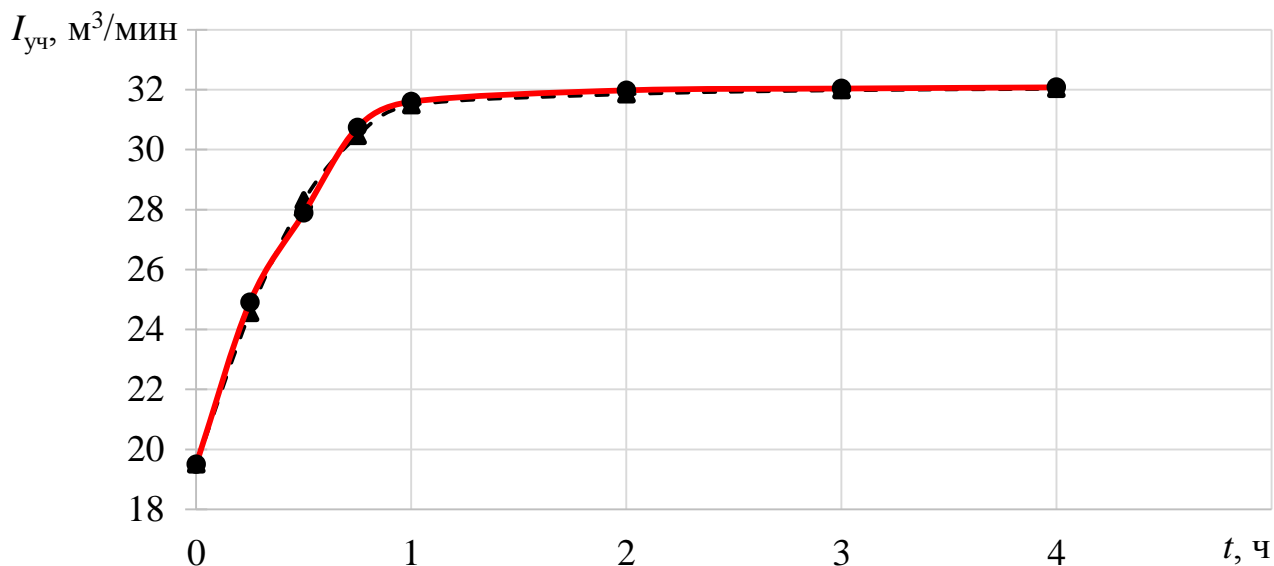


Рис. 2. Изменение метановыделения на выемочном участке 4-й восточной лавы шахты «Донбасс»:

--▲-- – расчетное; ●— – фактическое

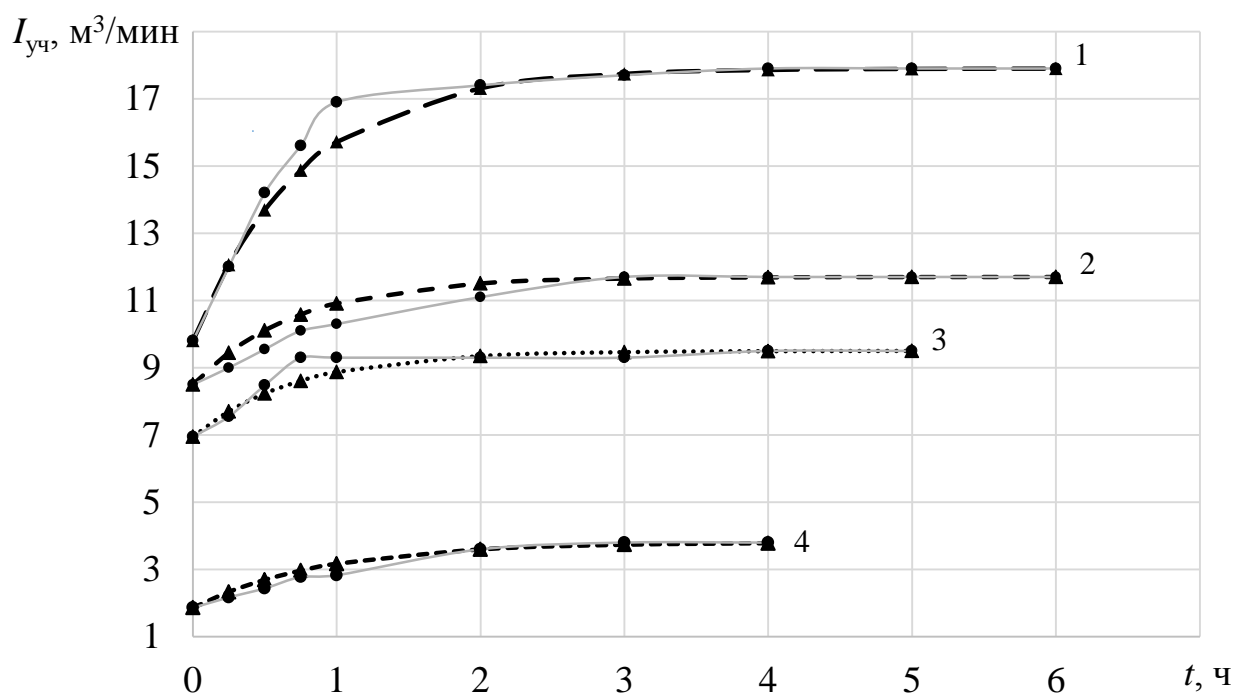


Рис. 3. Расчетные и фактические данные изменения метановыделения на выемочных участках шахт:

- 1 – шахта «Чайкино», коренная северная лавы; 2 – шахта им. К.И. Поченкова, 5-я восточная лавы; 3 – шахта им. К.И. Поченкова, панельная лавы 7-го восточного столба; 4 – шахта «Глубокая», 3-я западная лавы восточной панели;  
 - -▲- - расчетное; ●- - фактическое

Как видно из рис. 2 и 3, результаты выполненных расчетов на выемочных участках при отключении системы дегазации с метановыделением в широком диапазоне от 3,8 до 32 м<sup>3</sup>/мин и различной интенсивностью его нарастания согласуются с экспериментальными данными и дают возможность оценить интенсивность нарастания метановыделения во времени с достаточной для практики точностью (максимальное отклонение расчетных параметров от фактических по рассмотренным участкам в отдельных точках не превышает 7 %).

**Выводы.** Предложена методика оценки изменения метановыделения на выемочных участках после отключения системы дегазации – формулы (7), (10) и (11), – учитывающая вынимаемую мощность разрабатываемого пласта, прослоев и присечек боковых пород, длину лавы, расстояние до зоны максимальной разгрузки спутников, их мощность, метановыделение из выработанного пространства и другие факторы, оказывающие влияние на метановыделение.

Выполненные расчеты на пяти выемочных участках с метановыделением в широком диапазоне от 3,8 до 32 м<sup>3</sup>/мин и различной интенсивностью его нарастания показали достаточную для практики точность предлагаемой методики.

По полученным графикам для каждого выемочного участка можно определить ожидаемое метановыделение после отключения дегазации, безопасное время отключения дегазации для выполнения технологических операций и аварийно-спасательных работ при существующем проветривании, концентрацию метана в исходящей струе (в любое время после отключения дегазации), необходимый расход воздуха для нормализации газовой обстановки и определения режимов работы и проветривания выемочных участков.

Разработана программа расчетов для определения изменения метановыделения на выемочных участках с помощью ЭВМ, что позволяет оперативно выполнить необходимые расчеты в случае возникновения аварий и аварийных ситуации.

### Список литературы / References

1. Пашковский, П.С. Проветривание выемочных участков при отключении систем дегазации / П.С. Пашковский, Н.В. Карнаух, А.В. Мавроди // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 1(54). – С. 85 – 93.

Pashkovskiy, P.S., Karnaukh, N.V., Mavrodi, A.V. *Provetrivaniye vuyemochnykh uchastkov pri otklyuchenii sistem degazatsii* [Ventilation of excavation districts by cutout of degassing systems]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. – Donetsk, 2017, no. 1 (54), pp. 85–93.

2. Пашковский, П.С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П.С. Пашковский, В.И. Лебедев. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с.

Pashkovskiy, P.S., Lebedev, V.I. *Provetrivaniye shakht pri podzemnykh pozharakh* [Ventilation of mines by underground fires]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 448 p.

3. Пашковский, П.С. Управление дегазацией на выемочных участках угольной шахты в нормальных и аварийных условиях / П.С. Пашковский, А.Л. Иванников // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2013. – Вып. 50. – С. 16 – 25.

Pashkovskiy, P.S., Ivannikov, A.L. *Upravleniye degazatsiyey na vuyemochnykh uchastkakh ugol'noy shakhty v normal'nykh i avariynykh usloviyakh* [Degassing control at excavation districts of a coal mine under normal and emergency conditions]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2013, issue 50, pp. 16–25.

4. Ликвидация аварий в угольных шахтах. Теория и практика / В.В. Радченко, С.Н. Смоланов, Г.М. Алейникова и др. – Киев: Техника, 1999. – 320 с.

Radchenko, V.V., Smolanov, S.N., Aleynikova, G.M. etc. *Likvidatsiya avariy v ugol'nykh shakhtakh. Teoriya i praktika* [Accident elimination in coal mines. Theory and practice]. Kiev, Tekhnika Publ., 1999, 320 p.

5. Лебедев, В.И. Экспериментальный метод оценки газовой обстановки на выемочном участке / В.И. Лебедев, Ю.В. Лебедева // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2015. – № 52. – С. 182 – 185.

Lebedev, V.I., Lebedeva, Yu.V. *Eksperimental'nyy metod otsenki gazovoy obstanovki na vuyemochnom uchastke* [The experimental method of estimation of gas conditions in a mining district]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekh. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. – Donetsk, 2015, no. 52, pp. 182 – 185.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Г.П. Стариковым.  
Дата поступления рукописи 16.05.2017

*Pavel Sergeevich Voronov, Cand. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: [voronovpavel06@gmail.com](mailto:voronovpavel06@gmail.com);*  
*Nikolay Viktorovich Karnaukh, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: [avrstla@mail.ru](mailto:avrstla@mail.ru);*  
*Aleksandr Viktorovich Mavrodi, engineer; e-mail: [mavrodi-av@mail.ru](mailto:mavrodi-av@mail.ru)*  
*The "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the MChS DPR*  
*283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-34*

## INTENSITY OF CHANGE OF METHANE EMISSION AT EXCAVATION DISTRICTS BY CUTOUT OF THE DEGASSING SYSTEM

**Purpose.** Determination of the change of methane emission parameters at the excavation districts to work out the recommendations on the choice of their ventilation conditions when cutout of the degassing system.

**Methods.** Analysis of the results of increase of methane emission at the excavation districts after cutout of the degassing system.

**Results.** The parameters determining the changes of methane emission at the excavation districts after cutout of the degassing systems are obtained.

**Scientific novelty.** The dependences of intensity of methane emission on face length, thickness of the seam being mined and that one of guiding beds, their location and zone of maximum unloading, as well as the influence of degassing on increase of the flow rate of methane captured are determined.

**Practical value.** The results of the investigations may be used by the estimation of the gas situation at the excavation districts and choice of conditions of their ventilation when cutout of the degassing system.

**Keywords:** *excavation districts; cutout of the degassing system; methods of calculation; change of methane emission; mines.*

УДК 622.864.42:[691.54+691.22+691.3]

*Георгий Иванович Пештибай, нач. отд.; e-mail: [niigd.osmas-1@mail.ru](mailto:niigd.osmas-1@mail.ru);*

*Николай Александрович Галухин, инж. I кат.; e-mail: [niigd.osmas-7@mail.ru](mailto:niigd.osmas-7@mail.ru)*

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

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

*Евгений Васильевич Курбацкий, канд. техн. наук, доц.; e-mail: [ota@mine.donntu.org](mailto:ota@mine.donntu.org)*

*Донецкий национальный технический университет*

*283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38 062) 301-03-09*

## БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ ЗОЛЬНО-ЦЕМЕНТНЫЕ И ШЛАКОЦЕМЕНТНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

**Цель.** Создание быстротвердеющих смесей на основе цементного вяжущего и отходов местного производства для сооружения взрывоустойчивых перемычек.

**Методы.** Информационно-аналитические исследования и экспериментальные работы по определению прочностных свойств смесей в период раннего твердения.

**Результаты.** Разработаны составы малокомпонентных быстротвердеющих материалов с цементным вяжущим и активными заполнителями – промышленными отходами местного производства.

**Научная новизна.** Получены экспериментальные зависимости прочностных характеристик раннего твердения смесей портландцемента со шлаковыми и зольными добавками от концентрации углекислого натрия (сода).

**Практическая значимость.** Полученные смеси позволяют возводить водо- и взрывоустойчивые перемычки.

**Ключевые слова:** *быстротвердеющие смеси; раннее твердение; взрывоустойчивая перемычка; цементное вяжущее; прочность.*

**Постановка проблемы.** В практике возведения изолирующих вентиляционных и взрывоустойчивых перемычек широкое распространение получили растворы на основе гипсового вяжущего. Изолирующие качества материала, его несгораемость и технологичность строительства сооружений методом литья позволили широко и эффективно использовать это вяжущее для локализации подземных пожаров. Многолетний опыт применения гипсового вяжущего показал и ряд недостатков, снижающих технологические возможности его применения:

- быстрое схватывание раствора ограничивает дальность транспортирования гидромеханическим способом и затрудняет эксплуатацию оборудования;

- недостаточная водостойкость материала снижает надежность работы конструкции и исключает возможность его применения в обводненных выработках и при затоплении сооружения.

Для обеспечения прокачиваемости идут по пути увеличения водогипсового отношения, что приводит к снижению прочности взрывоустойчивого сооружения.

Перспективой совершенствования быстротвердеющих растворов является использование цементного вяжущего с ускорителями твердения. Наиболее полно предъявляемые требования удовлетворяют цементы с добавками шлака или шлакоцементы как наиболее стойкие при воздействии шахтных вод. С целью снижения стоимости основным направлением совершенствования является использование в качестве заменителя цемента побочных продуктов и отходов местного производства, например золы-уноса тепловых электростанций и доменного шлака металлургического производства, что к тому же будет способствовать охране окружающей среды.

Поэтому актуальна проблема создания малокомпонентных быстротвердеющих смесей на основе цементного вяжущего и активных заполнителей из отходов местного производства. Не менее важно создание сухих, полностью готовых к употреблению быстротвердеющих смесей без жидкого ускорителя твердения, что позволит упростить оборудование, исключив насос-дозатор жидкого стекла, и повысить оперативность возведения взрывоустойчивых сооружений.

**Анализ последних исследований.** Разработан и промышленно освоен ряд новых быстротвердеющих смесей, получивших широкое распространение на угольных предприятиях России, Украины, Польши и других стран. Наиболее известен материал «Текбленд» («Эльбленд»), производимый фирмой «Минова» [1]. Он представляет собой смесь полуводного гипса, доменного шлака или топливного шлака, природного ангидрита. По данным работы [2], заявленные прочностные характеристики «Текбленда» не соответствуют реальным. В шахтных условиях «Текбленд» имеет повышенную влажность и водопоглощение, в результате чего может находиться в пластическом состоянии. Сухую цементную смесь «Распор» [3] применяют для заполнения пространства между двойными изолирующими перемычками и она не предназначена для использования при возведении взрывоустойчивых сооружений ввиду низкой прочности на сжатие. В 2002 г. создан состав и технология применения быстротвердеющей минерально-цементной смеси для возведения литых околострековых полос на шахте «Красноармейская-Западная» №1. Сухая минерально-цементная смесь «БИкрепь» разработана институтом ДонпромстройНИИпроект [4]. Смесь содержит портландцемент, кварцевый песок, аморфный кремнезем, ускоритель твердения в виде обезвоженных солей. Для увеличения времени пребывания затворенного раствора в вязко-жидком состоянии в него добавляют сахарозу (свекловичный сахар).

Минерально-цементная смесь «БИкрепь» разработана специально для создания охранных геоконструкций – околострековых полос для поддержания горных выработок за завалами для повторного использования. Примеров

применения материалов «БИкрепь» для возведения изолирующих или взрывоустойчивых перемычек не обнаружено.

**Цель исследования** – разработка быстротвердеющих смесей на основе цементного вяжущего и отходов местного производства для сооружения взрывоустойчивых перемычек.

**Материалы и результаты исследований.** Минеральные цементные вяжущие обладают высокой водостойкостью при низкой скорости набора прочности. Цементы общепромышленного применения со шлаковыми добавками или шлакопортландцементы – более водостойки при воздействии минерализованных сульфатных вод, чем портландцементы. В условиях горных выработок применяют цементы марки не ниже 400 [5]. Поэтому в качестве исходных цементных вяжущих для проведения экспериментальных работ применены портландцементы ПЦ II/Б-Ш-400 и ПЦ II/А-Ш-400Р.

Таким образом, все вышеперечисленные цементы по вещественному составу включают основную добавку – гранулированный доменный шлак, поэтому точное название выбранных цементов – портландцемент со шлаком. Портландцемент со шлаком ПЦ II/Б-Ш-400 содержит портландцементный клинкер в пределах от 65 до 79 %, гранулированный доменный шлак – от 21 до 35 % и дополнительные компоненты – от 0 до 5 %. Портландцемент со шлаком ПЦ II/А-Ш-400Р содержит портландцементный клинкер в пределах от 80 до 94 %, гранулированный доменный шлак – от 6 до 20 %, дополнительные компоненты – от 0 до 5 % и является цементом с высокой ранней прочностью (быстротвердеющим).

Для приготовления рабочих растворов золу-уноса применяли без предварительной подготовки. Отвальный доменный шлак Донецкого металлургического завода дважды просеивали через сита с размером ячейки 6 мм, а затем 2 мм для получения мелкозернистой структуры бетона, пригодной для перекачивания насосными агрегатами при транспортировании по растворопроводу.

На основе опыта применения смесей проводили исследования прочностных свойств следующих составов: 70 % портландцемента ПЦ II/Б-Ш-400 и ПЦ II/А-Ш-400Р и 30 % золы-уноса с различными добавками кристаллического ускорителя твердения; 70 % портландцемента ПЦ II/Б-Ш-400 и ПЦ II/А-Ш-400Р и 30 % просеянного доменного шлака с различными добавками кристаллического ускорителя твердения. В качестве ускорителя твердения принят натрий углекислый ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – сода – белый кристаллический порошок, доступное и дешевое вещество. Из работы [6] известно, что сода чрезвычайно активно и резко ускоряет процессы схватывания цементов. Однако ускорение твердения цементных растворов при добавках соды происходит за счет окончательной прочности, так что по истечении определенного времени прочность цементного раствора без добавки соды оказывается выше прочности раствора с добавками. Однако для конкретного применения при сооружении взрывоустойчивой перемычки свойство ускорения



твердения является определяющим, поскольку конечная прочность материала перемычки всегда избыточна.

Испытуемые растворы тщательно перемешивали и уплотняли в специальных формах для изготовления образцов-балочек. Специальные быстроразъемные формы позволяют получить образцы-балочки размером 40×40×160 мм, которые после хранения в закрытой емкости с влажностью не менее 90 % подвергали испытаниям.

При определении предела прочности на одноосное сжатие применяли гидравлический пресс ПСУ-10. Точность измеряемой нагрузки составляет  $\pm 2\%$ , а скорость движения поршня рабочего цилиндра регулируется в пределах от 0 до 20 мм/мин.

Для получения статистически значимых результатов изготовлено и испытано 298 образцов балочек на основе зольно-цементных и шлакоцементных составов примерно в равных долях. Поскольку цель работы – создание быстротвердеющих составов с высокой ранней прочностью, основной объем прочностных испытаний составили образцы-балочки с односуточным сроком твердения. Критерием оптимальности состава зольно-цементной и шлакоцементной смесей является достижение прочности на одноосное сжатие образцов-балочек с односуточным сроком твердения на уровне не менее 3 МПа. Это объясняется тем, что максимальная нагрузка от воздушной ударной волны, действующей на перемычку, равна 2,8 МПа [7].

На рис. 1 показаны зависимости суточной прочности сжатия зольно-цементной смеси от массовой доли соды при водотвердом отношении  $V/T=0,4$  на различных цементах при отличающихся (примерно на 10 °С) температурных условиях. Обе смеси без введения ускорителя твердения не набирают требуемой (3 МПа) суточной прочности бетона. Введение в состав смеси соды сначала повышает прочность первой смеси (кривая 1), а затем ее снижает. Максимальное значение прочности испытуемой смеси с цементом ПЦ II/Б-Ш-400 – примерно 4,5 МПа при 2,0...2,5 % массовой доли соды по отношению к массе цемента. При 6 % массовой доли соды раствор становится вязким, неудобно укладываемым и не пригодным для транспортирования по трубопроводу. Прочность такого раствора снижается до значений, близких к базовому (без ускорителя схватывания). Поэтому оптимальная массовая доля ускорителя схватывания составляет примерно 2,0...2,5 % от массы цемента. При снижении температуры на 10...12 °С смесь, соответствующая кривой 2, резко снижает суточную прочность. Её максимум приходится на 4 % массовой доли соды и равен чуть менее 3 МПа. Из рассмотренных экспериментальных данных вытекает, что набор прочности на сжатие зависит от температурных условий твердения и мало зависит от типа портландцемента.

Быстротвердеющий портландцемент при снижении температуры твердения до 15...17 °С не обеспечивает набора суточной проектной прочности, необходимой для возведения взрывостойчивой перемычки. Если пересчитать, используя правило Ван-Гоффа, прочности испытуемых образцов

по кривой 2 и привести их к температурному диапазону образцов по кривой 1, то быстротвердеющий цемент (цемент ПЦ II/A-Ш-400P) имеет явные преимущества по скорости набора прочности. В этом случае максимальная прочность сжатия образцов по кривой 2 равна примерно 7...8 МПа, что существенно превосходит соответствующую прочность образцов по кривой 1.

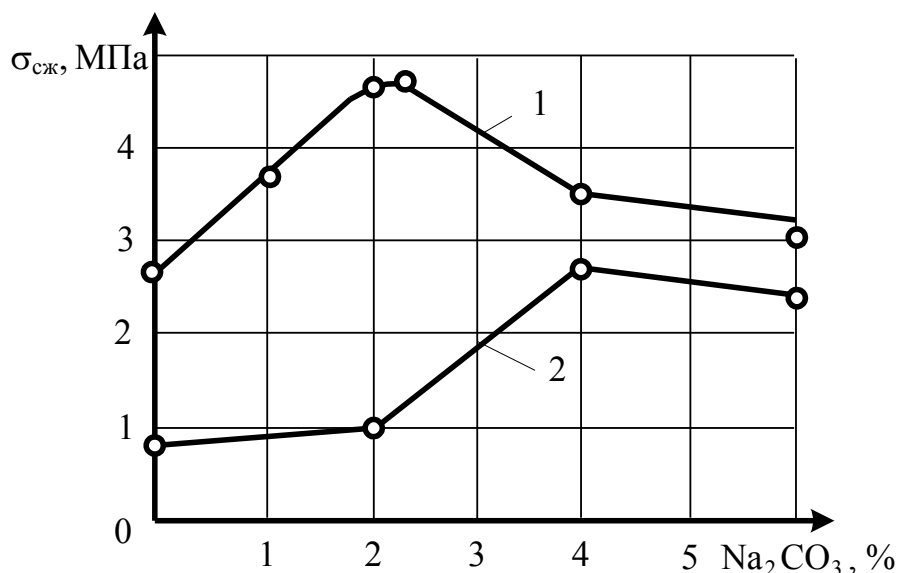


Рис. 1. Зависимость суточной прочности сжатия зольно-цементной смеси от массовой доли соды с соотношением компонентов 3:7:

- 1 – В/Т=0,4;  $t = 26...28$  °С; цемент ПЦ II/Б-Ш-400;  
 2 – В/Т=0,4;  $t = 15...17$  °С; цемент ПЦ II/А-Ш-400P

На рис. 2 и 3 показаны зависимости суточной прочности шлакоцементных смесей при водотвердых отношениях В/Т = 0,4 и В/Т = 0,3 соответственно. В ходе экспериментальных работ первоначально принятое В/Т = 0,4 пришлось скорректировать в сторону уменьшения до В/Т = 0,3. Это объясняется тем, что шлаковый наполнитель меньше впитывает воду по сравнению с золой-уноса, а поэтому образцы, залитые в форму, теряли воду и цементное молоко даже через незначительные зазоры между перегородками разборных форм, что приводило к растеканию раствора. Для устранения этого явления было принято решение уменьшить В/Т до 0,3, что способствовало нормальному сохранению сформированного объема раствора между перегородками быстроразъемных форм. Из анализа рис. 2 следует, что при В/Т = 0,4 шлакоцементный состав не набирает требуемой суточной прочности даже при введении ускорителя твердения. При В/Т = 0,3 (см. рис. 3) шлакоцементный состав набирает прочность  $\sigma_{сж} = 3$  МПа при добавках ускорителя схватывания, начиная с 2 %-й массовой доли соды по отношению к массе цемента. Кривая не имеет явно выраженного экстремума (в пределах исследуемого диапазона изменения массовой доли соды от 1 до 6 %).

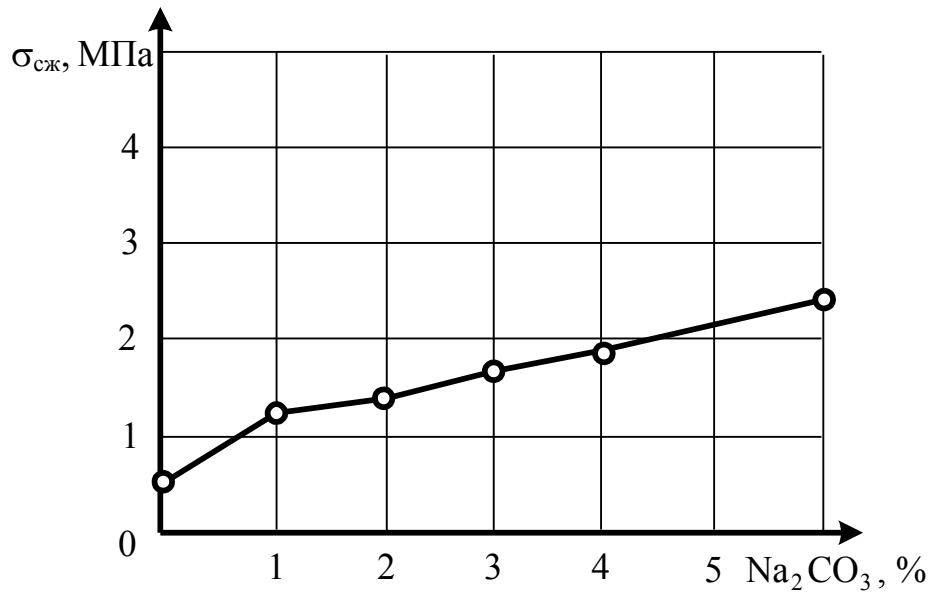


Рис. 2. Зависимость суточной прочности шлакоцементной смеси с соотношением компонентов 3:7 от массовой доли соды ( $\text{B}/\text{T} = 0,4$ ;  $t = 27 \dots 29$  °C; цемент ПЦ II/Б-III-400)

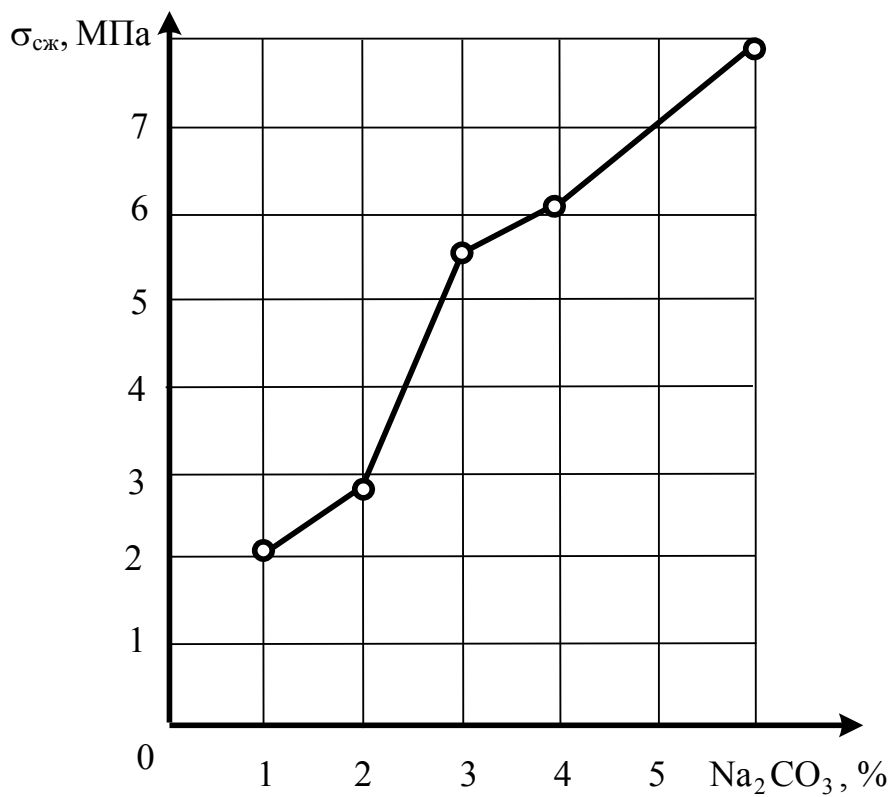


Рис. 3. Зависимость суточной прочности шлакоцементной смеси от массовой доли соды ( $\text{B}/\text{T} = 0,3$ ;  $t = 25 \dots 27$  °C; цемент ПЦ II/Б-III-400)

Однако смеси с массовой долей соды, равной 6 %, быстро увеличивают вязкость, становятся трудноукладываемыми в формы, плохо уплотняются и, следовательно, являются не пригодными для гидромеханического возведения перемычек. Поэтому оптимальной массовой долей соды в шлакоцементной смеси следует считать 2...4 % по отношению к массе цемента.

Результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик на одноосное сжатие образцов-балочек, изготовленных из шлакоцементной смеси при использовании цемента ПЦ II/A-III-400P, представлены на рис. 4.

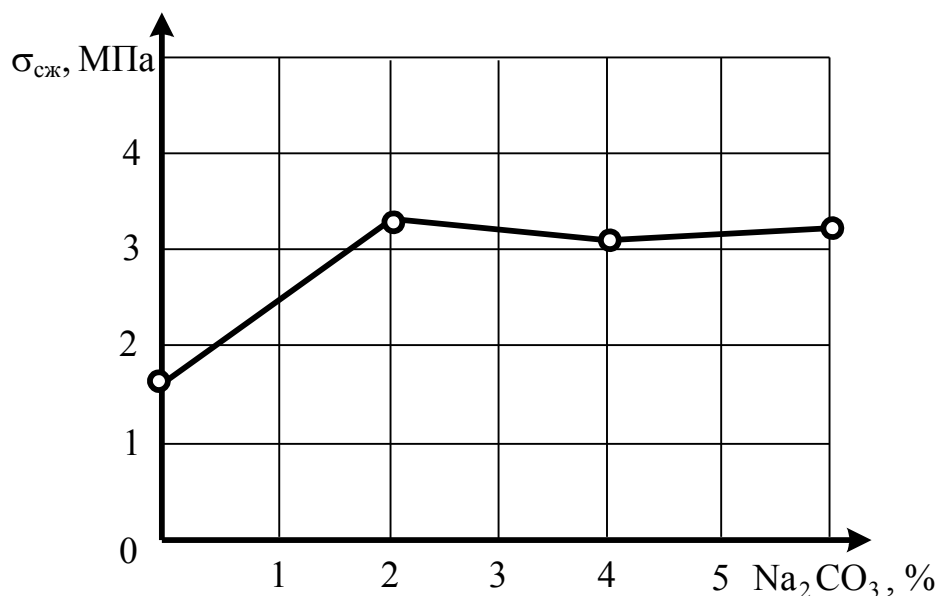


Рис. 4. Зависимость суточной прочности шлакоцементной смеси от массовой доли соды ( $V/T = 0,3$ ;  $t = 16...18$  °C; цемент ПЦ II/A-III-400P)

Как видно из анализа рис. 4, наибольшее значение прочности достигнуто при массовой доле соды, равной примерно 2 %. При увеличении ее до 4...6 % прочность несколько снижается, однако остается приемлемой в части требований к односуточной прочности сжатия смесей для взрывобезопасных перемычек ( $\sigma_{сж} \geq 3$  МПа). Наибольшая прочность достигается при 2...4 %-й массовой доле соды в интервале температур от 16 до 18 °C с цементом ПЦ II/B-III-400 и равна 3,2 МПа.

На заключительной стадии экспериментальных работ были отобраны наиболее перспективные составы смесей и проведен полный комплекс экспериментальных измерений прочностных свойств на одноосное сжатие на протяжении всего цикла твердения, то есть через время  $t$  1, 3, 7 и 28 сут.

Для полного цикла испытаний выбраны:

- шлакоцементный состав с 2 %-й массовой долей соды;
- зольно-цементный состав с 4 % соды.

В качестве базы сравнения взяты те же составы (шлакоцементный и зольно-цементный) с нулевой массовой долей ускорителя схватывания. Твердение всех четырех составов осуществлялось в одинаковых температурных условиях, соответствующих нормальным:  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Как видно из рис. 5, суточная прочность состава с ускорителем твердения (7,55 МПа) несколько выше соответствующей прочности состава без ускорителя твердения (6,4 МПа). Однако темп набора прочности у состава без ускорителя твердения выше, чем с ускорителем твердения, и примерно через 1,5 сут твердения прочности составов становятся равными.

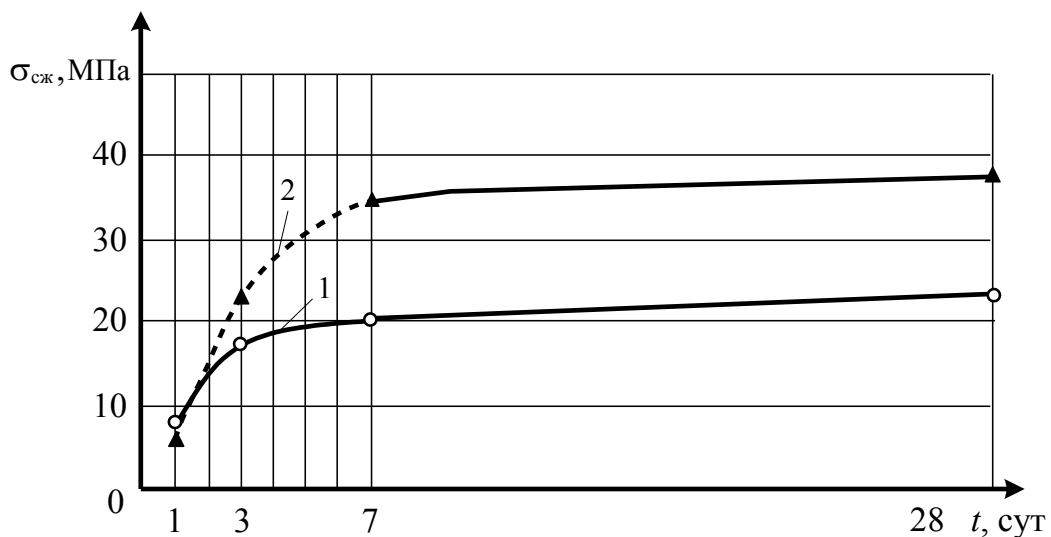


Рис. 5. График набора прочности 28-суточного твердения шлакоцементного состава с ускорителем твердения (кривая 1) и без ускорителя твердения (кривая 2)

Далее прочность состава без ускорителя твердения превышает прочность состава с ускорителем твердения. Во всем временном диапазоне измерений оба состава демонстрируют высокую прочность на сжатие, существенно превышающую минимально требуемый уровень 3 МПа. Конечная (28-суточная) прочность шлакоцементных смесей равна 23 и 37 МПа (кривые 1 и 2 соответственно).

На рис. 6 представлен график набора прочности 28-суточного твердения зольно-цементного состава с ускорителем твердения (кривая 1) и без ускорителя твердения (кривая 2). Прочность на сжатие при односуточном твердении зольно-цементного состава согласно кривой 1 (с ускорителем твердения) равна 4,65 МПа, что приемлемо. Зольно-цементный состав без ускорителя твердения имеет суточную прочность, равную всего

0,4 МПа, а следовательно, не может быть рекомендован для дальнейших исследований.

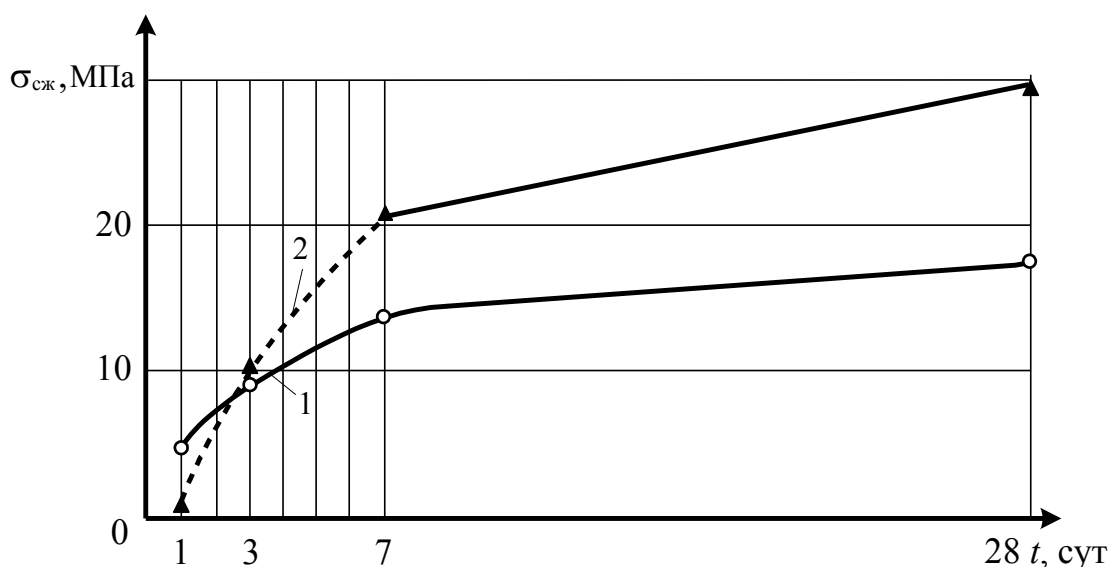


Рис. 6. График набора прочности 28-суточного твердения зольно-цементного состава с ускорителем твердения (кривая 1) и без ускорителя твердения (кривая 2)

Конечная (28-суточная) прочность зольно-цементных смесей равна 18 и 30 МПа (кривые 1 и 2 соответственно). Однако рекомендовать для практического применения разработанные составы на данном этапе исследований рано, поскольку неисследованным остается временной интервал сверхраннего твердения – от 0 до 24 ч. Преимуществом должен обладать состав с наименьшим временем набора прочности на сжатие, равной не менее 3 МПа. Разработанные составы могут быть взяты за основу для более детальных исследований сверхраннего твердения шлакоцементного состава.

Сравнивая между собой разработанные шлакоцементный и зольно-цементный составы можно отметить следующее. Прочность на сжатие испытуемых образцов, изготовленных из шлакоцементных смесей, существенно выше прочности зольно-цементных образцов во всем временном интервале твердения. В суточном возрасте твердения прочность шлакоцементной смеси превосходит прочность зольно-цементной смеси примерно на 62 %. Поэтому шлакоцементные составы быстрее набирают прочность, равную 3 МПа, чем зольно-цементные составы. Другим фактором сравнения, относящимся к области экономики, является расход наиболее дорогого и дефицитного компонента всех смесей – цементного вяжущего. Во всех выполненных опытах соотношение между массой цемента и массой наполнителей является постоянным и составляет 7:3. Насыпная плотность доменного шлака равна примерно 1300...1500 кг/м<sup>3</sup>, а насыпная плотность

зола-уноса 760 кг/м<sup>3</sup>. Из этого следует, что для заполнения одного и того же объема (например, объема взрывоустойчивой перемычки) расход цемента при использовании зольно-цементной смеси будет намного меньше, чем при применении шлакоцементной смеси. Экспериментальные данные, полученные при заполнении стандартных форм для получения образцов-балочек, позволяют сделать вывод о том, что расход цемента при применении в качестве заполнителя золы составляет примерно 51 % от расхода цемента по сравнению со шлаковым заполнителем.

**Выводы.** Разработаны составы малокомпонентных быстротвердеющих материалов на основе цементного вяжущего и активных заполнителей – промышленных отходов местного производства – доменного металлургического шлака и золы-уноса, позволяющие получить суточную прочность на одноосное сжатие 7,55 и 4,65 МПа соответственно.

Предлагаемые массовые доли, %, составляющих для возведения взрывоустойчивых сооружений приведены ниже.

#### Шлакоцементный состав

Цемент ПЦШ/А-Ш-400Р .....	69
Шлак доменный просеянный, фракция до 2 мм .....	29,6
Сода Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	1,4
Водотвердое отношение равно 0,3.	

#### Зольно-цементный состав

Цемент ПЦШ/А-Ш-400Р .....	68
Зола-унос .....	29,2
Сода Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	2,8
Водотвердое отношение равно 0,4.	

#### Список литературы/ References

1. Мальцева, М. «Минова ТПС»: основы безопасности / Марина Мальцева [Электронный ресурс]. – 3 с. URL: <http://delkuz.ru/content/view/6823/179> (дата обращения: 22.01.2010).

Mal'tseva, M. "Minova TPS": osnovy bezopasnosti ["Minova TPS": safety grounds] (Electronic resource). 3 p. Available at: <http://delkuz.ru/content/view/6823/179> (accessed 22.01.2010).

2. Булат, А.Ф. К выбору строительных смесей для горных технологий // А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, Л.В. Левченко // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 61. – С. 27 – 41.

Bulat, A.F., Usachenko, B.M., Levchenko, L.V. *K vyboru stroitel'nykh smesey dlya gornykh tekhnologiy* [To the choice of building mixtures for mining technologies]. *Geotekhnicheskaya mekhanika: mezhved. sb. nauch. tr.* [Geotechnical mechanics: interdepartmental collection of scientific papers]. Dnepropetrovsk, N.S. Polyakov IGTM, 2005, issue 61, pp. 27 – 41.

3. Цементная сухая смесь «Распор» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kps-t.ru/index.php?id=41> (дата обращения: 02.02.2017).

*Tsementnaya sukhaya smes' "Распор"* [The "Распор" cement dry mixture] (Electronic resource). Available at: <http://www.kps-t.ru/index.php?id=41> (accessed 02.02.2017).

4. Цементно-мінеральна суха суміш для спорудження приштрекових смуг: пат. 53569А Україна, МПК Е 21 В 33/138/ Л.В. Байсаров, В.Ф. Грицай, Т.В. Михалко та ін. – Заявл. 01.08.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.

Baisarov, L.V., Gritsai, V.F., Mikhalko, T.V. etc. *Tsementno-mineral'na sukha sumish dlia sporudzhennia pryshtrekovykh smug* [The cement-mineral dry mixture for construction of rib-side packs]. Patent of the Ukraine, no. 53569A, 2003.

5. Смоланов, С.Н. Изоляционные, вентиляционные и взрывоустойчивые перемычки / С.Н. Смоланов, В.И. Голинько, М.С. Мартиненко. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 260 с.

Smolanov, S.N., Golin'ko, V.I., Martinenko, M.S. *Izolatsionnyye, ventilatsionnyye i vzryvoustoychivyye peremychki* [Insulation, ventilation and explosion-stable stoppings]. Dnepropetrovsk, Nauka i obrazovaniye Publ., 2002, 260 p.

6. Ружинский, С.И. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов / С.И. Ружинский [Электронный ресурс]. URL: <http://www.masterbetonov.ru/content/View/596/231> (дата обращения: 02.02.2017).

Ruzhinskiy, S.I. *Uskoriteli skhvatyvaniya i tverdeniya v tekhnologii betonov* [Setting and hardening accelerators in the technology of concretes] (Electronic resource). Available at: <http://www.masterbetonov.ru/content/View/596/231> (accessed 02.02.2017).

7. Агеев, В.Г. Взрывозащита при изоляции пожаров в угольных шахтах / В.Г. Агеев. – Донецк: Арпи, 2014. – 337 с.

Ageyev, V.G. *Vzryvozashchita pri izolyatsii pozharov v ugol'nykh shachtakh* [Explosion protection by isolation of fires in coal mines]. Donetsk, Arpi Publ., 2014, 337 p.



**Georgy Ivanovich Peftibay**, head of department; e-mail: [niigd.osmas-1@mail.ru](mailto:niigd.osmas-1@mail.ru);

**Nikolay Aleksandrovich Galukhin**, engineer of the 1<sup>st</sup> category; e-mail: [niigd.osmas-7@mail.ru](mailto:niigd.osmas-7@mail.ru)

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

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

**Yevgeny Vasilyevich Kurbatskiy**, Cand. Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: [ota@mine.donntu.org](mailto:ota@mine.donntu.org)

The Donetsk State Technical University

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

## **RAPID-HARDENING ASH-CEMENT AND SLAG-CEMENT MIXTURES FOR ERECTION OF EXPLOSION-STABLE STOPPINGS**

**Purpose.** Creation of the rapid-hardening mixtures on the basis of cement matrix and local production waste to erect the explosion-stable stoppings.

**Methods.** Information and analytical investigations and experimental works on determination of mechanical properties of the mixtures in the early hardening period.

**Results.** The compositions of the low-component rapid-hardening materials with the cement matrix and active fillers, i.e. industrial local production waste, were worked out.

**Scientific novelty.** The experimental dependences of the strength characteristics of the early hardening of mixtures of Portland cement with slag and ash additives on sodium carbonate (soda) concentration were obtained.

**Practical value.** The mixtures obtained permit to erect the water- and explosion-stable stoppings.

**Keywords:** *rapid-hardening mixtures; early hardening; explosion-stable stopping; cement matrix; strength.*

### III. Охрана труда

УДК 614.84 – 051:331.46

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

*e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);*

*Екатерина Николаевна Розанова, инж.; e-mail: [katya.rozanova@mail.ru](mailto:katya.rozanova@mail.ru);*

*Игорь Феликсович Дикенштейн, науч. сотр.; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@mail.ru)*

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР  
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-40*

## РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В УРОВНЕ ТРАВМАТИЗМА ПОЖАРНЫХ

**Цель.** Определение влияния человеческого фактора на уровень травматизма пожарных.

**Методы.** Информационно-аналитические исследования профессионального риска травматизма пожарных.

**Результаты.** Классифицированы основные причины травмирования пожарных при ведении аварийно-спасательных работ и ликвидации пожаров.

**Научная новизна.** Дан системный анализ понятия «человеческий фактор в безопасности производственной деятельности пожарных».

**Практическая значимость.** Определена существенная роль человеческого фактора в травматизме и гибели пожарных.

**Ключевые слова:** *человеческий фактор; пожарный; травма; аварийно-спасательные работы; безопасность; условия работы; психологические и физиологические особенности.*

**Постановка проблемы.** Анализ крупных аварий техногенного характера показывает, что в 22 % случаев их непосредственные причины вызваны человеческим фактором [1-3]. По данным экспертов 75 % экстремальных ситуаций на АЭС обусловлены человеческими ошибками (включая Чернобыльскую катастрофу). Таким образом, учет человеческого фактора является неотъемлемой частью проектирования, создания и эксплуатации машин и технических систем, необходимым условием повышения производительности труда и качества продукции, повышения безопасности персонала, населения и окружающей среды.

**Анализ последних публикаций.** Существует значительное количество работ, посвящённых роли человеческого фактора в проблеме безопасности [1-8]. Однако конкретных исследований влияния человеческого фактора на безопасность труда пожарных, на уровень их травматизма крайне мало и они имеют общий характер [9, 10].

**Цель исследования** – выявление роли человеческого фактора в обеспечении безопасности труда пожарных, влияния на уровень травматизма работников пожарно-спасательных подразделений.

**Результаты исследований.** Понятие «человеческий фактор» ввёл в обиход английский экономист Бенджамин Сибом, опубликовавший в 1921 г. книгу под названием «Человеческий фактор в предпринимательстве». До этого в научно-экономических кругах имел хождение похожий термин «человеческий элемент», но его использовали при анализе зависимости результата процесса от действия индивидуума.

В настоящее время существуют два понятия «человеческий фактор», а все остальные являются вытекающими из них производными.

1. Человеческий фактор – это набор человеческих качеств, параметров, способностей и возможностей, которые формируются и проявляются в определённых условиях. Если человеку комфортно в некой системе, он органично вписывается в неё, то можно говорить о движении вперёд. Если же какие-то характеристики были проигнорированы, в результате чего человек ощущает психологический дискомфорт и нежелание сливаться с процессом/обстановкой/коллективом, то человеческий фактор оказывает тормозящее действие.

2. Человеческий фактор подразумевает ошибочность принятых человеком решений, что впоследствии проявляется в поступках, противоречащих логике и здравому смыслу.

О человеческом факторе говорят в том случае, когда происходит рассогласованность в действиях человека и техники, объединённых общей целью. Ошибочность шагов, предпринимаемых человеком, в этом случае нельзя считать преднамеренной – напротив, он абсолютно уверен, что поступает правильно. Причины принятия ошибочных решений кроются в ограниченности возможностей человека, что особенно ярко проявляется на фоне социальных, психологических и физиологических проблем. По этой причине в английском языке понятие «человеческий фактор» и «надёжность человека» считают идентичными.

Термин «человеческий фактор» в обеспечении безопасности производственных процессов был введён после аварии на АЭС Three Mile Island accident, происшедшей 28 марта 1979 г. в Пенсильвании (США). Тогда же были созданы лаборатории, исследующие вероятные ошибки человека – оператора при работе АЭС [3, 4]. Трагедия повторилась в 1986 г. в Чернобыле. Обе эти катастрофы привели к тяжёлым последствиям и многочисленным жертвам и в обоих случаях причиной были ошибочные действия операторов, принявших неверное решение в критической ситуации.

Проблемы человеческого фактора наиболее актуальны в сферах высоких технологий, где возникающие чрезвычайные ситуации и аварии имеют тяжёлые последствия. Крупнейшая по количеству жертв авиакатастрофа, которая унесла жизни около 600 людей, произошла в 1977 г. на Канарских островах. Тогда пилотом была неправильно понята команда диспетчера. Массовое заражение 75 детей ВИЧ в Элисте в 1988 г. стало причиной халатности медицинского персонала. Позже аналогичные случаи произошли в детских больницах

Ростова-на-Дону, Ставрополя и Волгограда. В результате утечки смертельного газа на химзаводе в Бхопале в 1984 г. погибло столько людей, что катастрофу назвали химической Хиросимой. К аварии привело грубейшее нарушение техники безопасности и саботирование работы. Бхопальская трагедия признана самой масштабной в современной истории по числу жертв и площади заражения.

За последние 25 лет почти все чрезвычайные ситуации на атомных электростанциях, как указывает Роберт Эбель [3], были следствием действия человеческого фактора.

Самыми главными источниками принятия человеком ошибочного решения можно назвать:

- недостаточность объективной информации;
- недостаточность знаний и практического опыта;
- отсутствие внешнего контакта и поддержки, невозможность консультаций;
- неадекватное физическое и психоэмоциональное состояние.

Чрезвычайно опасна переоценка своих возможностей и вера в собственную непогрешимость (правильность принятого решения и логичность последующих действий) человеком, вовлечённым в чрезвычайную ситуацию, но не обладающим ни соответствующими знаниями, ни практическим опытом.

Психологическая разбалансировка и нестабильность, которым не подвержены технические устройства, часто становятся причиной фатальных ошибок, допускаемых человеком:

- перевозбуждение и всплеск эмоций обусловлены переживанием сложившейся ситуации и ожиданием результата предпринятых действий, а индивидуальные особенности человека, его импульсивность, личные обстоятельства лишь повышают ошибочность действия;

- заторможенность и скованность могут быть вызваны служебными конфликтами, общей физической усталостью или состоянием здоровья, нерешительностью, излишней старательностью и услужливостью, слабой выносливостью;

- рассеянность внимания возникает при монотонной работе без эксцессов и форс-мажоров, что ведёт к расслаблению и потере бдительности;

- психическое напряжение, вызываемое рядом обстоятельств, выливается в поспешность или замедленность реакции, что недопустимо при отказе приборов или мгновенно меняющихся обстоятельствах.

Отсутствие непосредственного контакта и невозможность согласовать последовательность действий зачастую усиливают волнение, что нередко блокирует собственные знания и толкает на алогичные поступки.

В ряде работ [4-6] вопросы, связанные с проявлениями человеческого фактора, рассматривают как анализ человеческой надежности, который включает определение потенциальных источников человеческих ошибок. Эти ошибки можно разделить на оплошности и проявления злого умысла. В числе

факторов, от которых зависит вероятность совершения ошибок в работе, что, в свою очередь, определяет надежность работника, называют:

- медицинские и психофизиологические характеристики личности, состояние здоровья, тип темперамента, скорость реакции и устойчивость к негативным воздействиям, характер человека и его способности;
- наличие местных возбудителей;
- уровень образования и развития, культурный уровень личности;
- квалификация специалиста в области выполняемых им работ;
- морально-волевые качества человека;
- комфортность условий работы;
- качество нормативно-технических и организационно-распорядительных документов (четкость изложения, однозначность их понимания).

Вместе с тем человеческий фактор – чрезвычайно многогранное и сложное явление, редко поддающееся достаточно глубокому анализу. Проблема влияния индивидуальных качеств человека на безопасность деятельности представлена двумя концепциями:

1. Ошибочные действия в большинстве случаев вызваны индивидуальными несовершенствами (концепция К. Марбе, 1926). Согласно этой концепции существуют так называемые «аварийники» – люди, с которыми чаще, чем с другими, происходят аварии, вследствие того, что им присущи определенные психофизиологические качества. Эта концепция пытается обосновать выбор людей, склонных к аварии, с помощью диагностики качества «склонность к аварии». Типу «аварийников» в этой концепции противопоставит тип «надежного» человека.

2. Ошибки объясняются объективными причинами (проблемы в образовании, ослабление приобретенных механизмов поведения, нестабильность функций, отсутствие умения рефлексивной оценки ситуации и собственного состояния, недостатки самодисциплины, снижение мотивации и др.). Для предупреждения ошибочных действий внимание должно уделяться организации внешних условий труда и уровню квалификации. Авторы этой концепции – английский врач В. Андерсен и немецкий психолог О. Зельц.

В подтверждение концепции К. Марбе в 1984 г. сотрудники Института аэрокосмической медицины военно-воздушных сил Аргентины провели её экспериментальную проверку и подтвердили, что у отдельных пилотов есть склонность к авиационным чрезвычайным происшествиям. Эксперты фирмы Boeing в 1988 г. выявили закономерность: 12 % пилотов дают 92 % происшествий.

Впервые к вопросу о необходимости исследования опасных качеств личности пришли американские ученые, сотрудники авиационного университета Embry-Riddle Aviation University (ERAU), штат Огайо, которые занимаются проблемами профессиональной подготовки пилотов-курсантов. Был разработан учебник ERAU, в котором идентифицировались психологические типы мышления, влияющие на принятие решения человеком

(см. таблицу), а также предложены ситуационные (психолого-педагогические, корректирующие) упражнения, которые помогают обнаружить и изменить эти недостатки. По оценкам экспертов, внедрение учебника в практику профессиональной подготовки должно уменьшить количество чрезвычайных ситуаций и инцидентов, возникающих вследствие человеческого фактора, не менее чем на 5...20 % [8].

#### Характеристика небезопасных стратегий поведения, оперативного мышления и принятия решения

Качество	Признаки качества
Игнорирование (недоверие, нетерпеливость к авторитету): «Никто мне не указ! Не командуйте!»	Эти качества выявляются у людей, которые не терпят, чтоб им кто-то указывал, что делать. Человек, который так думает, бывает обижен тем, что им кто-то командует или подсказывает, каких правил или норм он должен придерживаться
Импульсивность: «Делай же что-нибудь быстрее!»	Такая последовательность мыслей наблюдается у людей, которые часто чувствуют необходимость немедленно что-то сделать. Они не останавливаются, чтобы проанализировать основания собственных действий, не выбирают лучший вариант, а делают первое, что приходит им в голову
Неуязвимость: «Со мной ничего не может случиться!»	Многие из людей думают, что все беды случаются с другими, а с ними ничего подобного случиться не может. На уровне знаний они понимают, что это может случиться с каждым, но какая-то внутренняя уверенность не позволяет им отнести это к себе. Человек, который так считает, с большой вероятностью может попасть в рискованную ситуацию
Самоуверенность (лихачество, склонность к риску): «Это я могу!»	Речь идет о людях, которые всегда пытаются доказать себе и другим, что они способнее, чем о них думают или могут подумать. Они доказывают это, рискуя и пытаясь произвести нужное впечатление. Существуют также люди, которые самоутверждаются в ситуации риска
Смирность (покорность): «Какая польза? Зачем?»	Люди, которые так думают, считают, когда всё хорошо: «Повезло!». Когда плохо, приписывают это невезению. Они склонны предоставлять возможность действовать другим, часто могут сделать что-то «за компанию» или подчиниться даже бессмысленным требованиям

Структуру надежности человека в экстремальной ситуации составляют: устойчивость психомоторной деятельности, психоэмоциональная устойчивость, устойчивость мышления, подготовленность, саморегуляция, стабильность. Эти компоненты надежности в чрезвычайной ситуации особенно необходимы также для пожарных.

*Надежность* пожарных может быть определена как их способность выполнять в полном объеме возложенные функции при определенных условиях

работы. Надежность характеризуется такими критериями, как готовность, безошибочность, восстанавливаемость, своевременность, точность [7].

Коэффициент готовности  $K$  определяют по формуле

$$K = 1 - (T_6/T), \quad (1)$$

где  $T_6$  – время, в течение которого человек не может принять информацию, с;  
 $T$  – общее время работы, с.

Ошибка пожарных определяется как невыполнение поставленной задачи, которое может явиться причиной его травмирования или гибели, повреждения оборудования или имущества, нарушения нормального хода запланированных операций.

*Безошибочность* оценивается вероятностью точной работы на уровне отдельных действий или в полном объеме.

*Восстанавливаемость* пожарного оценивается вероятностью исправления им допущенной ошибки.

*Своевременность* действий пожарного оценивается вероятностью выполнения задачи в течение заданного времени.

*Точность* – это степень отклонения определяемого пожарным количественного параметра спасательной операции от его истинного, заданного или номинального значения. Количественно точность оценивается погрешностью  $A$ :

$$A = A_n - A_\phi, \quad (2)$$

где  $A_n$  – истинное, номинальное значение параметра;

$A_\phi$  – фактическое измеряемое или регулируемое пожарным значение параметра.

Точность действий пожарных зависит от сложности задачи, условий и темпа работы, функционального состояния нервной системы, его квалификации, утомляемости и других факторов.

Важным критерием деятельности пожарного является *быстродействие* – время решения задачи, или время от момента реагирования на поступивший сигнал до момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время прямо пропорционально количеству преобразуемой человеком информации:

$$T = a + b H = a + (H/v_{on}), \quad (3)$$

где  $a$  – скрытое время реакции;  $a = 0,2...0,6$  с;

$b$  – время переработки единицы информации;  $b = 0,15...0,35$  с;

$H$  – количество перерабатываемой информации, ед. инф.;

$v_{on}$  – средняя скорость переработки информации в секунду;  $v_{on} = 2...4$  ед. инф.

Следует отметить, что внимание, которое уделяют специалисты всего мира влиянию человеческого фактора на безопасность не случайно, и определяется статистикой аварий. Оценка роли человеческого фактора особенно важна при анализе деятельности сотрудников пожарной охраны по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ.

Государственная пожарная служба, силами которой ликвидируются более 96 % пожаров в Донецкой Народной Республике, является самой массовой и значимой службой, входящей в структуру МЧС ДНР. Это обуславливает необходимость всестороннего изучения травматизма и анализа профессиональной деятельности пожарных.

Условия труда пожарных при непосредственной ликвидации пожаров отличаются большой сложностью, носят ситуационный и вероятностный характер, сопровождаются воздействием самых разнообразных опасных и вредных производственных факторов, большими физическими и нервно-психологическими нагрузками.

В США во время исполнения служебных обязанностей травмы получают более 100 тыс. пожарных (около 10 % от общей численности пожарных в стране, включая добровольцев). Во Франции из 54 тыс. пожарных ежегодно травмируется около 2,5 тыс. (5 %). В Российской Федерации ежегодно в среднем при исполнении служебных обязанностей погибают 24 и выходят на пенсию по инвалидности 200 пожарных, фиксируется 700 травм различной степени тяжести и примерно 60 тыс. случаев заболеваемости [9].

Согласно статистическим данным наибольшее количество травм обусловлено двумя причинами: недостатками в обучении безопасным приёмам труда и неудовлетворительной организацией проведения аварийно-спасательных работ. По этим причинам совершается около 66,6 % травм в оперативных подразделениях и 63,2 % в других подразделениях Государственной пожарной службы [9].

Количество погибших на пожарах сотрудников также обусловлено недостатками в обучении безопасным приёмам труда (44 %) и неудовлетворительной организацией проведения аварийно-спасательных работ (23 %).

Обе эти причины, а также нарушение трудовой и производственной дисциплины (3,3 %), игнорирование при тушении средств индивидуальной защиты (при их наличии) (5,6 %) могут быть отнесены к человеческому фактору.

Таким образом, можно выделить три основные причины получения травм пожарными при проведении аварийно-спасательных работ и ликвидации пожара: личностные, технические и организационные.

Личностные причины связаны с индивидуальными психофизиологическими особенностями каждого человека. Однако определённые черты личности могут проявляться только в экстремальных ситуациях, когда возникает реальная угроза жизни и здоровью спасателя. Также



важен фактор стрессоустойчивости, так как профессия пожарного связана с огромным моральным напряжением.

Технические причины травматизма сопряжены в основном с техническими неполадками в оборудовании, инструментах, технике и приборах, используемых при ведении аварийно-спасательных работ, вследствие чего пожарный может получить травму.

Организационные причины характеризуются нарушениями в процессе организации аварийно-спасательных работ, в тактике проведения операций, в координации и согласованности действий всех участников ликвидации пожара.

При анализе основных рисков во время проведения аварийно-спасательных работ и возникающих травм в работе [10] выявлено, что основными причинами травматизма пожарных являются личностные, то есть человеческий фактор.

**Вывод.** Необходимо комплексное обоснование роли человеческого фактора как одной из основных причин травматизма и гибели пожарных при проведении аварийно-спасательных работ и ликвидации пожара, а также разработка мероприятий по снижению этого негативного влияния.

Следует организовать целенаправленные научно-поисковые работы по проблеме человеческого фактора в обеспечении боеготовности и снижении травматизма среди личного состава пожарной службы. На первом этапе необходимо выявление характеристик человеческого организма, которые способны отражать его возможности в реализации конкретных боевых задач, и разработка соответствующих методик обследования личного состава пожарно-спасательных подразделений, позволяющих объективно оценивать психофизиологические особенности, выявлять «аварийников», оценивать надежность пожарных. На втором этапе необходимо разработать программы ситуационных упражнений, позволяющих уменьшить количество связанных с человеческим фактором чрезвычайных ситуаций и инцидентов при проведении аварийно-спасательных работ.

#### Список литературы / References

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

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

Makhutov, N.A., Akhmetkhanov, R.S., Petrov, V.P., Reznikov, D.O. etc. *Bezopasnost' Rossii. Chelovecheskiy faktor v problemakh bezopasnosti* [Safety of Russia. Human factor in safety problems]. Moscow, Znaniye Publ., 2008, 687 p.

3. Сычев, Я.В. Опасности техногенных катастроф современности // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – №1(41). URL:

<http://ipb.mos.ru/ttb>, <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/05-01-12.tt6.pdf> (дата обращения: 06.07.2017).

Sychyov, Ya.V. *Opasnosti tekhnogennykh katastrof sovremennosti* [Dangers of anthropogenic disasters of modern times]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti – Technologies of the technosphere safety*, 2012, no. 1(41). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb>, <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/05-01-12.tt6.pdf> (accessed 06.07.2017).

4. Либерман, А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А.Н. Либерман. – СПб.: ВИС, 2006. – 103 с. URL: [http://www.liberman.de/books/arkadi\\_n\\_liberman\\_technological\\_safety.pdf](http://www.liberman.de/books/arkadi_n_liberman_technological_safety.pdf) (дата обращения: 06.07.2017).

Liberman, A.N. *Tekhnogennaya bezopasnost': chelovecheskiy faktor* [Anthropogenic safety: human factor]. Saint Petersburg, VIS Publ., 2006, 103 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb>, <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/05-01-12.tt6.pdf> (accessed 06.07.2017).

5. Роль психических состояний и свойств человека в проблеме безопасности. URL: <http://www.bgsha.com/ru/education/library/fulltext/bgd/R4-1htm> (дата обращения: 06.07.2017).

*Rol' psikhicheskikh sostoyaniy i svoystv cheloveka v probleme bezopasnosti* [The role of psychic states and human properties in the safety problem]. Available at: <http://www.bgsha.com/ru/education/library/fulltext/bgd/R4-1htm> (accessed 06.07.2017).

6. Доброборский, Б.С. Безопасность машин и человеческий фактор / Б.С. Доброборский; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.А. Волкова; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 111 с. URL: <http://interlibrary.narod.ru/GenCat/GenCat.Tech.Dep/VM/220000010/220000010.pdf> (дата обращения: 06.07.2017).

Dobroborskiy, B.S. *Bezopasnost' mashin i chelovecheskiy faktor; pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. S.A. Volkova* [Safety of machines and human factor; dr. sci. (Tech.), prof. S.A. Volkov, ed.]. Saint Petersburg, SPbGASU Publ., 2011, 111 p. Available at: <http://interlibrary.narod.ru/GenCat/GenCat.Tech.Dep/VM/220000010/220000010.pdf> (accessed 06.07.2017).

7. Влияние человеческого фактора на безопасность технических систем / Н.А. Махутов, Р.С. Ахмаханов, Е.Ф. Дубинин, В.И. Куксова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: науч. информ. сб. – 2014. – № 3. – С. 80 – 98.

Makhutov, N.A., Akhmakhanov, R.S., Dubinin, Ye.F., Kuksova, V.I. *Vliyaniye chelovecheskogo faktora na bezopasnost' tekhnicheskikh sistem* [Influence of the human factor on the safety of technical systems]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy: nauch. inform. sb.* [Problems of the safety and emergencies: scientific information collection]. 2014, no. 3, pp. 80 – 98.

8. Рева, О.М. Індивідуальні якості особистості та безпека професійної діяльності / О.М. Рева, О.В. Михайлов, Г.М. Селезньов // Надзвичайна ситуація. – 2005. – № 6. – С. 40 – 42.

Reva, O.M., Mikhailov, O.V., Selezniyov, G.M. *Indyvidual'ni iakosti osobystosti ta bezpeka profesiinoi diial'nosti* [Individual properties of the personality

and safety of the professional activity]. *Nadzvychna situatsiia – Extraordinary situation*, 2005, no. 6, pp. 40 – 42.

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

Matyushin, A.V., Poroshin, A.A., Bobrov, Ye.V. *Otsenka professional'nogo riska zabolevayemosti i gibeli pozharnykh* [Estimation of the occupational risk of the morbidity and death of firemen]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire safety*, 2005, no. 6, pp. 68 – 74.

10. Моисеев, Ю.Н. О работе спасателей с гидравлическими аварийно-спасательными инструментами / Ю.Н. Моисеев, А.Д. Семёнов // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – Вып. 5. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 06.07.2017).

Moiseyev, Yu.N., Semyenov, A.D. *O rabote spasateley s gidravlichesкими avariynno-spasatel'nymi instrumentami* [About the operation of the rescuers with hydraulic search-and-rescue instruments]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti – Technologies of the technosphere safety*, 2011, issue 5. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb> (accessed 06.07.2017).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Сынковым.  
Дата поступления рукописи 06.07.2017

**Valery Vladimirovich Mamayev**, Dr. Sci. (Tech.), deputy director on Science;  
e-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru);

**Yekaterina Nikolayevna Rozanova**, engineer; e-mail: [katya.rozanova@mail.ru](mailto:katya.rozanova@mail.ru);

**Igor Felixovich Dikenshteyn**, scientific associate; e-mail: [opbush@mail.ru](mailto:opbush@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) 332-78-40

## THE ROLE OF THE HUMAN FACTOR IN THE INJURY RATE OF FIREMEN

**Purpose.** Determination of the influence of the human factor on the injury rate of the firemen.

**Methods.** Information and analytical investigations of the occupational risk of the traumatism of the firemen.

**Results.** The principal causes of traumatization of the firemen when carrying-out the search-and-rescue operations and fighting the fires were classified.

**Scientific novelty.** The system analysis of the idea “human factor in the safety of production activities of the firemen” was given.

**Practical value.** The essential role of the human factor in the traumatism and death of the firemen was determined.

**Keywords:** human factor; fireman; injury, search-and-rescue operations; safety; labor conditions; psychological and physiological peculiarities.

**УДК 331.344.2-037:622-051**

*Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: [dolzhenkov\\_52@mail.ru](mailto: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;*

*Сергей Леонидович Тарасенко, завотделом; e-mail: [tarasenko74@mail.ru](mailto: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*

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ ШАХТЕРОВ**

**Цель.** Исследование параметров износостойкости ткани «Горизонт», предназначенной для спецодежды шахтеров при эксплуатации в условиях интенсивных зональных механических нагрузок.

**Методика.** Анализ, обобщение и статистическая обработка результатов экспериментальных исследований параметров износостойкости ткани.

**Результаты.** Получены статистические модели влияния показателей износостойкости ткани на ее эксплуатационные и гигиенические свойства.

**Научная новизна.** Найдены зависимости между потерей массы ткани, выражающейся в изменении показателей поверхностной плотности, и ее воздухо-, пылепроницаемостью.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволят увеличить сроки эксплуатации спецодежды в условиях больших механических нагрузок на ткань при работах на маломощных пластах угольных шахт.

**Ключевые слова:** *ткань; износостойкость; степень износа; поверхностная плотность; воздухо- и пылепроницаемость; циклы стирающих воздействий; коэффициент детерминации; уравнения регрессии.*

**Постановка задачи.** При анализе локализации пиодермитов по анатомо-топографическим зонам тела горнорабочих установлено, что чаще поражаются участки кожных покровов в местах наибольшего износа спецодежды. Это в основном латеральные области нижних (голень, бедро) и верхних конечностей (предплечье, локоть), составляющих соответственно более 50 % и около 25 % [1]. Различные условия эксплуатации спецодежды приводят к неодинаковой степени ее износа. Наиболее интенсивно спецодежда изнашивается при работах на маломощных пластах, менее интенсивно – на пластах большой мощности. Степенью износа спецодежды по результатам эксплуатации определяют сроки ее носки, поскольку меняются эксплуатационные, гигиенические и эргономические свойства ткани [2]. Поэтому такой показатель, как износостойкость ткани, характеризует эксплуатационные свойства спецодежды.

Степень износа определяют снижением поверхностной плотности ткани за счет ее истончения в местах интенсивного трения и измеряют в граммах на квадратный метр. Поверхностная плотность (масса 1 м<sup>2</sup>) ткани зависит от линейной плотности нити основы и утка и влияет на такие показатели, как

износостойкость, проруб нити иглой швейной машины, раздвижка ткани возле шва, осыпание [3].

**Анализ последних исследований.** Проведенный анализ литературных источников по данной проблеме показал, что принятая в отрасли система оценки надежности защиты шахтеров спецодеждой от влияния комплекса опасных и вредных производственных факторов малоэффективна [4]. В первую очередь это объясняется отсутствием научно обоснованных подходов, позволяющих определять эффективность защитных и эксплуатационных характеристик и разрабатывать перспективные направления в их создании и совершенствовании [5, 6].

**Цель исследования.** Установление зависимости между изменением базовой переменной (поверхностной плотностью тканей) и зависимыми от нее переменными – цель настоящей работы. В качестве зависимых переменных могут рассматриваться такие показатели тканей, как ее пылепроницаемость, воздухопроницаемость, прочностные показатели и др.

**Результаты исследования.** В лабораторных условиях проведены исследования истончения ткани в зависимости от степени ее истираемости абразивными материалами. В качестве такого материала использовали серошинельное сукно. При определении поверхностной плотности ткани измеряли длину и ширину пробы с последующим взвешиваем.

Критерии стойкости к истиранию – количество циклов истирающих воздействий до разрушения материала (образования потертостей, дыр, обрывов образца и т.п.). Чем более жесткий абразив, тем быстрее истирается полотно. Наибольшей стойкостью к истиранию обладают такие ткани, как лавсан, капрон, состоящие из волокон, имеющих высокую стойкость к многократным деформациям и истиранию. Менее стойки к износу шерсть, лен, хлопок и, наконец, малостойкие – ткани из штапельных, вискозных или ацетатных волокон.

Для испытаний тканей на стойкость к истиранию на плоскости создан прибор для истирания тканей, при помощи которого проводили испытания на износостойкость, а также разработана методика испытаний, распространяющаяся на технические ткани и устанавливающая метод определения стойкости к истиранию по плоскости.

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). Для испытания выбрана хлопкополиэфирная ткань «Горизонт», предназначенная для пошива спецодежды шахтеров.

Исследование степени износостойкости тканей проводили через каждые 1000 циклов (табл. 1) с последующим расчетом процента износа ткани. При проведении очередного испытания брали новый образец ткани из того же куска. В зависимости от количества циклов истираний рассчитывали остаточную поверхностную плотность ткани «Горизонт».

Таблица 1

Показатели зависимости износа от количества циклов стираний

Циклы	Износ, %
–	0
1000	8
2000	17
3000	27
4000	38
5000	51
6000	66
7000	82
8000	100

Как видно из данных, представленных на рис. 1 и приведенных в табл. 1, после каждой 1000 стираний истончение тканей интенсифицируется. Так, после первой 1000 стираний потеря плотности составила 8 %, в то время как потеря плотности тканей после 7000 циклов составила 82 %. Нарастание процента износа объясняется, помимо износа самой структуры ткани, снижением массовой доли пропитки (влагостойкой, противогнилостной и т.д.).

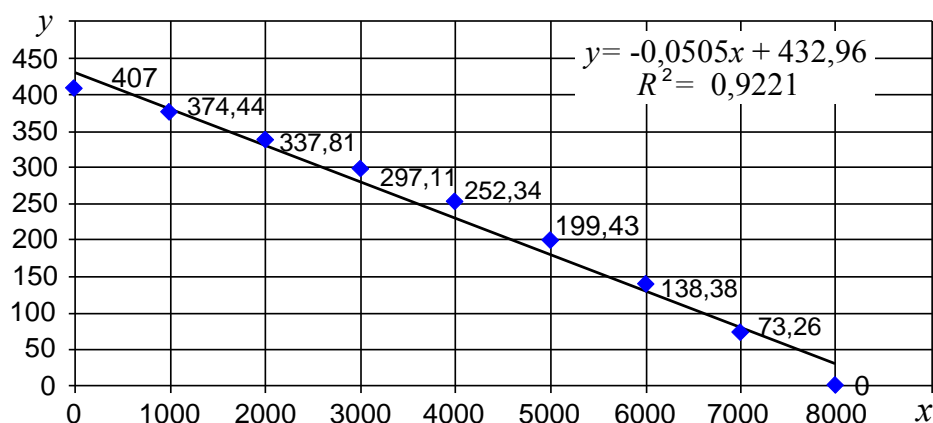


Рис. 1. Зависимость снижения показателей поверхностной плотности  $y$ , г/м<sup>2</sup>, ткани «Горизонт» от количества циклов ее стирания  $x$

Получено уравнение регрессии, описывающее зависимость снижения поверхностной плотности  $y$ , г/м<sup>2</sup>, ткани «Горизонт» от степени ее стираемости  $x$ :

$$y = -0,505x + 432,96. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации, принимающий значения от 0 до 1 и равный квадрату множественного коэффициента корреляции между базовой

переменной и зависимыми от нее переменными,  $R^2 = 0,9221$ . При оценке степени связи двух переменных принимаем во внимание следующее условие: чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее зависимость. При оценке регрессионных моделей это интерпретируют как соответствие модели анализируемым данным. Для приемлемых моделей предполагается, что коэффициент детерминации должен быть не меньше 50 % (в этом случае коэффициент множественной корреляции превышает по модулю 70 %). Модели с коэффициентом детерминации выше 80 % можно признать достаточно хорошими (коэффициент корреляции превышает 90 %) [7], что имеет место в описываемом случае.

Получено соответствующее уравнение регрессии, описывающее зависимость потери массы ткани «Горизонт» от количества циклов ее истирания (рис. 2):

$$y = 0,0131x - 10,25. \quad (2)$$

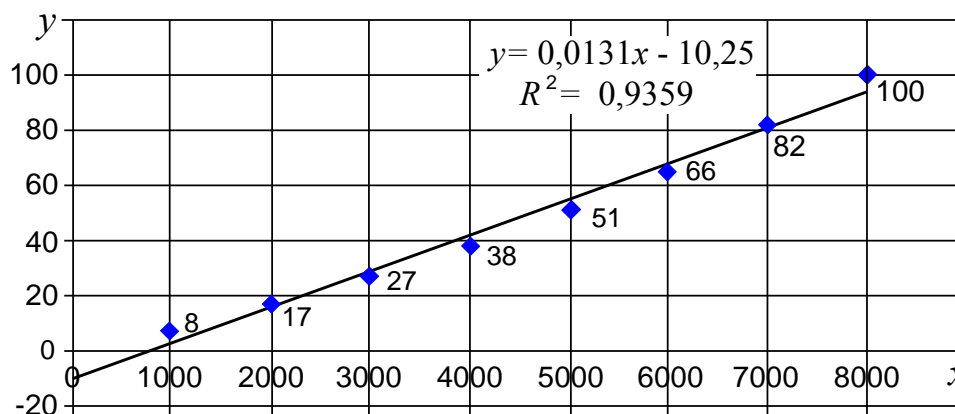


Рис. 2. Зависимость потери массы ткани «Горизонт»  $y$ , %, от количества циклов ее истирания  $x$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9359$ , что свидетельствует о наличии сильной положительной связи между потерей массы ткани и количеством циклов ее истирания (коэффициент корреляции превышает 80 %).

Для того чтобы определить, каким образом снижение показателей поверхностной плотности ткани «Горизонт» влияет на изменение защитных, гигиенических, эргономических и других показателей ткани, характеризующих ее соответствие установленным нормам, исследованы степени зависимости пылепроницаемости ткани от степени ее истираемости, выраженной показателями поверхностной плотности ткани (табл. 2).

Получено уравнение регрессии, описывающее зависимость изменения уровней запыленности ткани «Горизонт» от степени ее истираемости (рис. 3):

$$y = -0,0438x + 44,722. \quad (3)$$

Таблица 2

Зависимость изменения уровня пылепроницаемости ткани «Горизонт» от количества циклов стираний (в показателях плотности ткани)

Циклы	Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	Изменение пылепроницаемости, %	Пылепроницаемость, мг/м <sup>2</sup>
0	408,58	0	28,83
1000	375,89	4	29,98
2000	339,12	10	31,71
3000	298,26	18	34,02
4000	253,32	30	37,48
5000	200,2	44	41,52
6000	138,92	60	46,13
7000	73,54	78	51,32
8000	0	100	57,66

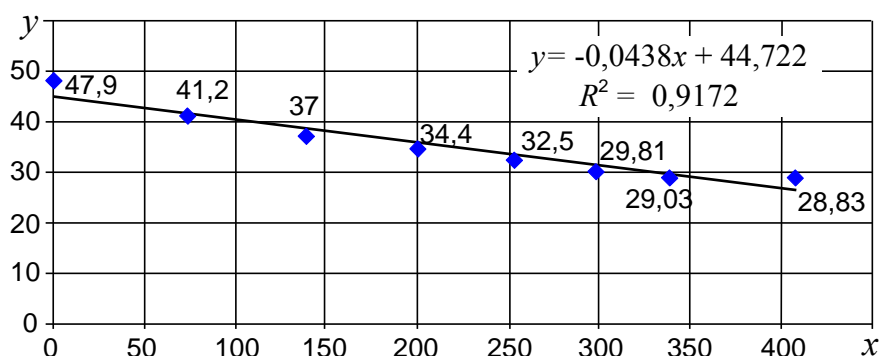


Рис. 3. Зависимость пылепроницаемости ткани «Горизонт»  $y$ , мг/м<sup>2</sup>, от ее поверхностной плотности  $x$ , г/м<sup>2</sup>

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9172$ , что свидетельствует о наличии сильной связи между пылепроницаемостью, потерей массы ткани и количеством циклов ее стирания, выраженной в показателях плотности (коэффициент корреляции превышает 80 %).

Следуя логике, понимаем, что процесс стирания ткани, приводящий к снижению ее поверхностной плотности, неизбежно должен привести к увеличению воздухопроницаемости. Для подтверждения или опровержения этого допущения исследованы зависимости воздухопроницаемости ткани от степени ее стираемости, выраженной показателями поверхностной плотности ткани. Данные, приведенные в табл. 3, подтверждают это предположение.

Установлена зависимость изменения уровня воздухопроницаемости ткани «Горизонт» от степени ее стираемости (рис. 4) и получено уравнение регрессии, описывающее эту зависимость:

$$y = -0,3224x + 181,01. \quad (4)$$



Таблица 3

Зависимость изменения уровня воздухопроницаемости ткани «Горизонт» от количества циклов истирания (в показателях плотности ткани)

Циклы	Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	Износ, %	Воздухопроницаемость ткани, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	Изменение воздухопроницаемости, %
0	407	0	61	0
1000	366,3	10	68,32	12
2000	321,53	21	76,25	25
3000	272,69	33	84,79	39
4000	219,78	46	96,38	58
5000	158,73	61	108,58	78
6000	89,54	78	180,02	100
7000	0	100	–	–
8000	–	–	–	–

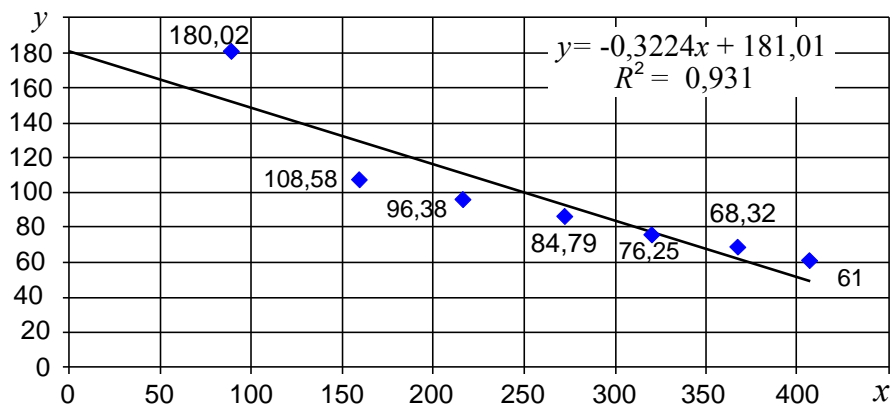


Рис. 4. Зависимость воздухопроницаемости спецодежды шахтеров из ткани «Горизонт»  $y$ , дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с), от поверхностной плотности  $x$ , г/м<sup>2</sup>, при работе на маломощных пластах

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,931$  свидетельствует о наличии сильной связи между воздухопроницаемостью и потерей массы ткани, пропорциональной количеству циклов ее истирания. Затем были исследованы зависимости пылепроницаемости ткани «Горизонт» от изменения показателей воздухопроницаемости (табл. 4).

Получено уравнение регрессии, описывающее зависимость изменения уровня пылепроницаемости ткани «Горизонт» от ее воздухопроницаемости и степени истираемости ткани (рис. 5):

$$y = 0,1488x + 21,312 . \quad (5)$$

Таблица 4

Зависимость изменения уровня пылепроницаемости ткани «Горизонт» от ее воздухопроницаемости

Циклы	Изменение воздухопроницаемости, %	Пылепроницаемость, мг/м <sup>2</sup>	Изменение пылепроницаемости, %
0	0	28,83	0
1000	12	29,98	4
2000	25	31,71	10
3000	39	34,02	18
4000	58	37,48	30
5000	78	41,52	44
6000	100	46,13	60
7000	–	51,32	78
8000	–	57,66	100

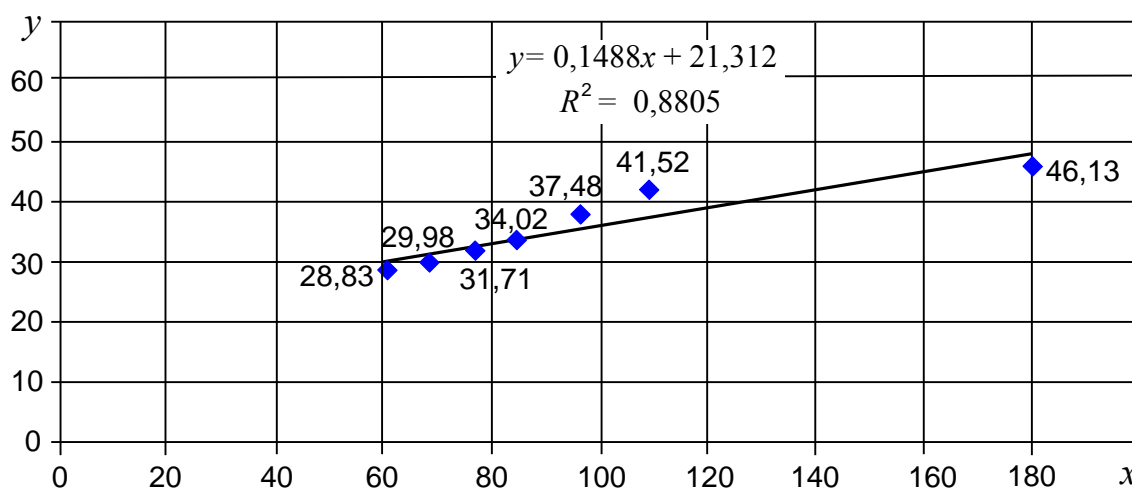


Рис. 5. Зависимость изменения уровня пылепроницаемости  $y$ , мг/м<sup>2</sup>, ткани «Горизонт» от ее воздухопроницаемости  $x$ , дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с)

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,8805$  свидетельствует о наличии сильной связи между воздухопроницаемостью и пылепроницаемостью ткани, пропорциональной количеству циклов ее истирания.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** В результате проведенных исследований установлена зависимость между показателями поверхностной плотности ткани «Горизонт» и ее воздухо-, пылепроницаемостью, что свидетельствует об ухудшении гигиенических показателей спецодежды шахтеров, изготовленной из ткани «Горизонт», в связи с потерей ее массы вследствие истирания. Следовательно, при изготовлении спецодежды для работы шахтеров в условиях интенсивных механических воздействий необходимо учитывать прочность ткани.

## Список литературы / References

1. Долженков, А.Ф. Оценка износостойкости спецодежды по изменению показателей гнойничковой заболеваемости и микротравматизации кожи горнорабочих / А.Ф. Долженков, С.Л. Тарасенко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка, 2013. – Вып. 2 (32). – С. 198 – 205

Dolzhenkov, A.F., Tarasenko, S.L. *Otsenka iznosostoykosti spetsodezhdy po izmeneniyu pokazateley gnoynichkovoy zabolevayemosti i mikrotravmatizatsii kozhi gornorabochikh* [Estimation of wear resistance of working clothes on change of indices of impetiginous morbidity and microtraumatization of the skin of mine workers]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: sb. nauch. trudov* [Methods and means of creation of the safe and healthy labor conditions in coal mines: collection of scientific papers]. Makeyevka, MakNII, 2013, issue 2(32), pp. 198 – 205.

2. Долженков, А.Ф. Критерии оценки износостойкости спецодежды при работах на маломощных пластах / А.Ф. Долженков // Вісник національного технічного університету України «КПІ»: зб. наук. праць. Серія «Гірництво». – 2015. – Вип. 29. – С. 43 – 49.

Dolzhenkov, A.F. *Kriterii otsenki iznosostoykosti spetsodezhdy pri robotakh na malomoshchnykh plastakh* [Criteria of estimation of wear resistance of working clothes by the works at thin beds]. *Visnyk natsional'nogo tekhnichnogo universytetu Ukrainy "KPI": zb. nauk. prats'. Seriya "Girnystvo"* [Bulletin of the "KPI" national technical university of the Ukraine: collection of scientific papers. Series "Mining industry"]. 2015, issue 29, pp. 43 – 49.

3. Савостицкий, Н.А. Материаловедение швейного производства / Н.А. Савостицкий. – М.: Академия, 2004. – 67 с.

Savostitskiy, N.A. *Materialovedeniye shveyного производства* [Materials technology of the clothing manufacture]. Moscow, Akademiya Publ., 2004, 67 p.

4. 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: тез. докл. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 180 – 183.

Dolzhenkov, A.F. *O perspektivakh ratsionalizatsii sredstv individual'noy zashchity, primenyayemykh v ugol'noy promyshlennosti* [About prospects of rationalization of individual protection means being used in the coal industry]. *Puti povysheniya bezopasnosti gornykh robot 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.

5. Долженков, А.Ф. Разработка и исследование качества спецодежды для работающих на маломощных угольных пластах / А.Ф. Долженков // Вісник національного науково-дослідного інституту охорони праці. Серія «Гірництво». – Київ, 2004. – Вип. 11. – С. 96 – 102.

Dolzhenkov, A.F. *Razrabotka i issledovaniye kachestva spetsodezhdy dlya rabotayushchikh na malomoshchnykh ugol'nykh plastakh* [Working-out and investigation of quality of the protecting clothes for persons working at thin coal

beds]. *Visnyk natsional'nogo naukovo-doslidnogo instytutu okhorony pratsi. Seriya "Girnyystvo"* [Bulletin of the national scientific-research institute of labor protection. Series "Mining industry"]. Kyiv, 2004, issue 11, pp. 96 – 102.

6. Долженков, А.Ф. Анализ комплекса физико-механических показателей при оценке материалов для спецодежды шахтёрской / А.Ф. Долженков, Н.А. Мартынова, Р.А. Садымака // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – Ч. 2. – С. 174 – 182.

Dolzhenkov, A.F., Martynova, N.A., Sadyrnaka, R.A. *Analiz kompleksa fiziko-mekhanicheskikh pokazateley pri otsenke materialov dlya spetsodezhdy shakhtyerskoy* [Analysis of the complex of physical and mechanical indices by estimation of materials for mine working clothes]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: sb. nauch. trudov* [Methods and means of creation of the safe and healthy labor conditions in coal mines: collection of scientific papers]. Makeyevka, MakNII, 2004, part 2, pp. 174 – 182.

7. Доннелли-мл., Роберт А. Статистика / Роберт А. Доннелли-мл.; [пер. с англ. Н.А. Ворониной]. – М.: Астрель, 2007. – 367 с.

Donnelli–Jr., Robert A. *Statistika [per. s angl. N.A. Voroninoy]* [The complete idiot's guide to statistics] [translation from English of N.A. Voronina]. Moscow, AST, Astrel' Publ., 2007, 367 p. ISBN 5-17- 040811-0. – ISBN 5-271-15808-X.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук П.С. Пашковским.  
Дата поступления рукописи 17.07.2017

*Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: [dolzhenkov\\_52@mail.ru](mailto: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;

*Sergey Leonidovich Tarasenko, head of department; e-mail: [tarasenko74@mail.ru](mailto:tarasenko74@mail.ru)*

*The State Institution "Makeyevka of Safety in Mines Research Institute" (MakNII)*

286132, Makeyevka, 60, ulitsa Likhachyova. Phone: (+38 0623) 22-22-18

## OPERATING ABILITY OF A FABRIC FOR THE WORKING CLOTHES OF MINE WORKERS

**Purpose.** Investigation of parameters of wear resistance of the "Горизонт" fabric intended for the working clothes of the mine workers by the operation under conditions of intensive zonal mechanical loads.

**Methods.** Analysis, generalization and statistical treatment of results of experimental investigations of the parameters of the fabric wear resistance.

**Results.** The statistical models of the influence of the indices of the fabric wear resistance on its operating ability and hygienic properties were obtained.

**Scientific novelty.** The dependences between the mass loss of the fabric expressed in the change of the surface density indices and its air, dust permeability were obtained.

**Practical value.** The results obtained allow increasing the service life of the working clothes under conditions of high mechanical loads influencing on the fabric by the operations at the thin beds of the coal mines.

**Keywords:** *fabric; wear resistance; wear rate; surface density; air, dust permeability; cycles of wearing influences; coefficient of determination; regression equations.*

**УДК 629.3.027.5:628.475.4**

*Валентин Алексеевич Пенчук, д-р техн. наук, проф.; e-mail: [penshyk@rambler.ru](mailto:penshyk@rambler.ru);*

*Юрий Александрович Новичков, ст. преподаватель; e-mail: [novichkov\\_yura@mail.ru](mailto:novichkov_yura@mail.ru)*

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования*

*«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»*

*286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел. +38-050- 62-62-537*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦИКЛИНГА ШИН ПНЕВМОКОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ИХ УТИЛИЗАЦИИ**

**Цель.** Научное обоснование и разработка экологически безопасного технологического комплекса для утилизации отработанных автотракторных шин с перспективой получения качественных и конкурентоспособных вторичных продуктов.

**Методика.** Физико-химические, реологические и органолептические методы, а также планирование эксперимента и математическое моделирование.

**Результаты.** Получены исходные данные, используемые при составлении задания на проектирование установки для утилизации отработанных автомобильных шин методом пиролиза производительностью 2000 т в год сырья.

**Научная новизна.** Разработана комплексная технология утилизации изношенных автомобильных шин с использованием метода низкотемпературного пиролиза, которая обеспечивает получение качественных вторичных продуктов и способствует охране окружающей природной среды.

**Практическая значимость.** Дана оценка экономической и экологической эффективности предложенного технологического комплекса по утилизации изношенных автотракторных шин методом низкотемпературного пиролиза.

**Ключевые слова:** *рециклинг; изношенные автомобильные шины; вторичные продукты; технологический комплекс; экологическая безопасность; материальный баланс; эколого-экономический эффект.*

**Постановка задачи.** Рост количества и интенсивности эксплуатации транспорта на пневмоходу личного пользования и в промышленности привел к появлению большого количества отработанных шин [1]. Данные отходы специфичны: не подвергаются гниению и саморазрушению; для их хранения нужны значительные земельные площади; это источник загрязнения населенных пунктов, водоемов и лесонасаждений; при их сжигании выделяется значительное количество вредных веществ.

В то же время изношенные шины сохраняют достаточный уровень технологических свойств и могут служить вторичным сырьем для получения ценного углеводородного топлива, лома легированной стали и текстильного материала в виде натуральных и синтетических волокон [2]. Поэтому проблема утилизации изношенных шин актуальна с экологической и экономической точек зрения.

**Анализ последних исследований.** При большом многообразии технических решений по переработке промышленных и бытовых отходов приоритетными должны стать те технологии, которые обеспечивают: высокую

экологическую безопасность предложенного технологического процесса; утилизацию отходов непосредственно на месте их скопления; максимально низкую энергоемкость самого процесса утилизации; безотходный технологический процесс; получение продуктов, имеющих коммерческую ценность. Именно за счет использования пиролитической переработки отработанных шин возможно получение ряда полезных полупродуктов и энергоносителей. Процесс пиролиза органического вещества весьма сложен, кроме того, от условий его проведения зависит количественный выход продуктов и их качественный и химический состав. Варьируя условия протекания процесса пиролиза, можно получать тот или иной набор продуктов, среди которых основными являются газовая смесь, горючая жидкость и твердый углеродистый остаток. Все три компонента являются ценным вторичным сырьем, которое можно использовать в качестве альтернативного топлива [3]. Производители пиролизных реакторов обещают достаточно быстрое получение экономического эффекта путем сбыта продуктов пиролиза. Однако реальная картина, которую получают после запуска в работу реактора, несколько другая. Причиной этому является несовершенная технология низкотемпературного пиролиза, которая приводит к получению некачественных вторичных продуктов, при этом их характеристики очень далеки от стандартных показателей, традиционных аналогов и, к тому же, обладают резким неприятным запахом. Такой продукт нельзя считать товарным, прежде всего по экологическим соображениям, и как следствие вложенные в проект материальные ресурсы утрачены.

**Материалы и результаты исследований.** Многолетние исследования процессов пиролиза [4], и не только самого процесса деструкции сырья без доступа кислорода, но и технологий очистки получаемых вторичных продуктов и доведения их до товарного вида [5] позволяют утверждать, что создание эффективного пиролизного реактора представляется возможным. Примером сказанному может быть разработанный технологический комплекс для переработки изношенных автомобильных шин, резинотехнических изделий и отработанных технических масел. Данный комплекс позволяет получить качественное печное топливо – аналог традиционному печному бытовому топливу (ТУ 38.101656-87, ГОСТ 10585-99), технический углерод – аналог стандартному углероду марки П-803, растворитель для лакокрасочных изделий и металлолом. Утилизироваться может не только техническая резина, но и отработанные моторные и трансформаторные масла. Полученное печное топливо позволяет значительно экономить дефицитные энергоносители и снизить его себестоимость по сравнению с существующими стандартными видами печного топлива. Технический углерод имеет широкий спектр применения – начиная с металлургических процессов, применения в качестве сорбентов и завершая применением в виде пигмента в лакокрасочных изделиях, так же, как и получаемый растворитель.

В табл. 1 приведены расчеты материального баланса для наиболее распространенного пиролизного реактора периодического действия производительностью 1 т изношенных автомобильных шин в сутки.

Таблица 1

Основные показатели материального баланса технологического комплекса по переработке изношенных автомобильных шин

Параметр	Показатель, т/сут
Производительность пиролизного реактора	1
Объем утилизируемого технического масла	1,04
Объем получаемого пиролизного углерода	0,25
Объем получаемого растворителя	0,101
Объем получаемого печного топлива	1,3
Объем получаемого металлолома	0,08

Экологическими исследованиями установлено соответствие способа переработки изношенных автомобильных шин требованиям экологического законодательства, санитарным и строительным нормам и правилам, работа комплекса гарантирует безопасную для жизни и здоровья людей воздушную среду. Предлагаемое производство не является резонансным и может бесконфликтно сосуществовать с окружающей средой [6]. Необходимо отметить, что для оценки впервые был использован комплексный подход с применением различных методик, используемых в Украине, Российской Федерации и ряде европейских стран. Учитывались такие показатели, как: группы суммации веществ, усиливающие опасность поражения; порог участия каждого отдельного вещества и коэффициент потенцирования.

Проведен расчет комплексного показателя загрязнения по формуле

$$P_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_{i3кл}^2}, \quad (1)$$

где  $C_{i3кл}$  – концентрации, нормированные по ПДКс.с., которые приведены к концентрации веществ 3-го класса опасности;

$i$  – номер вещества.

Для улучшения качества расчетов предложено принять во внимание такие показатели, как порог участия каждого отдельного вещества и коэффициент потенцирования  $\gamma$ , который учитывали следующим образом:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{м.р}i}} \right)^\gamma \leq 1, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

Для оценивания соответствия нормам экологической безопасности предложено использовать показатель экологичности

$$\text{П}_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^i K_{i3\text{кл}}^2}, \quad (3)$$

где  $K_{i3\text{кл}}$  – концентрации, которые нормированы по ПДК и приведены к концентрациям веществ 3-го класса опасности.

Для оценки характера производства рассчитывали коэффициент безотходности

$$K_B = f(K_\Sigma, K_P), \quad (4)$$

где  $K_\Sigma$  – коэффициент экологичности производства;

$K_P$  – коэффициент использования ресурсов.

Категорию опасности производства рассчитывали по формуле

$$K_{\text{ОП}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{с.с}i}} \right)^{a_i}, \quad (5)$$

где  $M_i$  – масса выброса  $i$ -го вещества в год, т;

$\text{ПДК}_{\text{с.с}i}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества, мг/м<sup>3</sup>;

$n$  – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием;

$a_i$  – безразмерная константа, которая позволяет соотнести степень вредности  $i$ -го вещества с вредностью сернистого газа (определяют в зависимости от класса опасности вещества).

Показатель экологичности свидетельствовал об удовлетворительном экологическом состоянии предложенного технологического комплекса, коэффициент экологичности производства и коэффициент использования ресурсов – о соответствии безотходному производству. Категория опасности производства отвечает 4-й категории опасности. Результаты расчетов комплексной оценки экономической и экологической эффективности



предложенного технологического комплекса по утилизации изношенных автотракторных шин методом низкотемпературного пиролиза [7] представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экономическая и экологическая эффективность предложенного технологического комплекса по утилизации изношенных автотракторных шин

Параметр	Сумма, тыс. руб. в год
Ожидаемый экономический эффект от реализации вторичных продуктов при условии работы пиролизного реактора производительностью 1т/сут сырья	2 667,5
Условный эколого-экономический убыток от загрязнения атмосферного воздуха при работе предложенного технологического комплекса	Минус 0,4
Ущерб от загрязнения земельных ресурсов отработанными шинами автотранспорта, которого можно избежать благодаря работе предложенного технологического комплекса	145,9
Общий условный эколого-экономический эффект	2 813,1

Рассчитанный общий условный эколого-экономический эффект 2 813,1 тыс. руб. в год – идеальный, так как он определен при условии бесперебойной работы комплекса и полной реализации полученной продукции. Привлекательность и прибыльность предложенного технологического комплекса безусловна, даже несмотря на отсутствие государственной программы поддержки такого рода проектов, которая могла бы существенно прибавить интерес к получению «зеленых» технологий с принятием ряда законодательных актов.

Кроме рассчитанного условного эколого-экономического эффекта, следует признавать социальный эффект, возможность создания новых рабочих мест благодаря реализации данного проекта. Важным моментом является тот факт, что на настоящий момент накоплено большое количество некондиционного вторичного сырья – пиролизного углерода и жидкости, которые в связи с их низким качеством не могут считаться товарным продуктом и представляют серьезную опасность экологии и здоровью людей. Неудачные попытки предпринимателей получить сверхприбыль привели к переходу изношенных шин из IV группы опасности отходов в I группу, к которой относятся некондиционные вторичные продукты пиролиза. Это реальная экологическая угроза, оценить которую в настоящее время крайне сложно. Предложенный технологический комплекс способен поступательно

решить эту проблему, превратив отходы I группы опасности в качественное вторичное сырье, имеющее спрос.

**Выводы.** Созданный технологический комплекс по переработке изношенных автомобильных шин, резинотехнических изделий и отработанных технических масел следует считать экологически безопасным и эффективным с экономической точки зрения. При низкотемпературном пиролизе производятся высококачественные вторичные энергоресурсы с низкой себестоимостью, а также решается проблема утилизации промышленных отходов. Результаты работы рекомендованы к практическому применению для защиты населения от негативных воздействий и загрязнений городской среды и создания условий надежной безопасности жизни и деятельности человека.

### Список литературы / References

1. Национальный доклад о состоянии окружающей природной среды Украины в 1999 году. – Киев: Изд-во Раевского, 2000. – 184 с.

*Natsional'nyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy Ukrainy v 1999 godu* [The National report about the state of the natural environment of the Ukraine in the year 1999]. Kiev, Izd-vo Rayevskogo Publ., 2000, 184 p.

2. Некрасов, В.Г. Изношенные автомобильные шины как вторичный энергоресурс / В.Г. Некрасов // Промышленная энергетика. – 1992. – № 7. – С.42 – 45.

Nekrasov, V.G. *Iznoshennyye avtomobil'nyye shyny kak vtorichnyy energoresurs* [The deteriorated automobile tires as the secondary energy resource]. *Promyshlennaya energetika – Industrial energetics*, 1992, no. 7, pp. 42 – 45.

3. Петренко, Т.В. Пиролиз изношенных резиновых шин – джерело альтернативних видів палива / Т.В. Петренко, Ю.О. Новічков // Перспективи фінансування ЕКО-будівництва та енергозбереження із зарубіжних фондів: інформаційні матеріали Міжнародної науково-практичної конференції за проектом «ЕКО-Будівництво» енергозберігаюче та екологічне будівництво в умовах трансформації економіки (Львів, 7 – 8 грудня 2006 р.) / упорядник І.І. Кульчицький. – Львів: ЛВЦНТЕІ, 2006. – С. 56 – 60.

Petrenko, T.V., Novichkov, Yu.O. *Piroliz znoshenykh gumovykh shyn – dzhereło al'ternatyvnykh vydiv palyva* [Pyrolysis of the deteriorated rubber tires – a source of alternative fuels]. *Perspektyvy finansuvannia EKO-budivnytstva ta energozberzhennia iz zarubizhnykh fondiv: informatsiini materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii za proektom “EKO-budivnytstvo” energozberigaiuche ta ekologichne budivnytstvo v umovakh transformatsii ekonomiky (Lviv, 7 – 8 grudnia 2006 r.) / uporiadnyk I.I. Kul'chyts'kyi* [Prospects of financing the ECO-building and energy-saving from foreign funds: information materials of the International academic and research conference according to the project “Energy-saving “ECO-building” and ecological building under conditions of

transformation of economics” (Lviv, December 7-8, 2006) / draftsman I.I. Kul'chyts'kyi]. Lviv, LvTsNTEI, 2006, pp. 56 – 60.

4. Утилизация отработанных автомобильных шин / [Т.В. Петренко, Ю.А. Новичков, Е.И. Позднякова, В.В. Хазипова]. – Донецк, 2007. – 110 с.

Petrenko, T.V., Novichkov, Yu.A., Pozdnyakova, Ye.I., Khazipova, V.V. *Utilizatsiya otrabotannykh avtomobil'nykh shin* [Utilization of automobile tires used]. Donetsk, 2007, 110 p.

5. Перспективы использования продуктов пиролиза отработанных резиновых шин / Т.В. Петренко, В.В. Хазипова, Ю.А. Новичков, Е.И. Позднякова // Пятый международный конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям «ВейстТек-2007» (29 мая – 1 июня 2007 г.): сб. докл. – М., 2007. – С. 153 – 155.

Petrenko, T.V., Khazipova, V.V., Novichkov, Yu.A., Pozdnyakova, Ye.I. *Perspektivy ispol'zovaniya produktov piroliza otrabotannykh rezinovykh shin* [Prospects of the use of pyrolysis products of the rubber tires deteriorated]. *Pyatyy mezhdunarodnyy congress po upravleniyu otkhodami i prirodookhrannym tekhnologiyam “VeystTek-2007” (29 maya – 1 iyunya 2007 g. ): sb. dokl.* [The 5<sup>th</sup> International Congress on control the waste products and on environmental protection technologies “WasteTec-2007” (29<sup>th</sup> May – 1<sup>st</sup> June, 2007): collection of reports]. Moscow, 2007, pp. 153 – 155.

6. Экологическая оценка выбросов при комплексной утилизации автомобильных шин методом пиролиза / А.А. Сердюк, С.И. Падалко, В.В. Хазипова, Ю.А. Новичков // Экология и промышленность: науч.-произв. журн. – Харьков, 2009. – № 2. – С. 71 – 75.

Serdyuk, A.A., Padalko, S.I., Khazipova, V.V., Novichkov, Yu.A. *Ekologicheskaya otsenka vybrosov pri kompleksnoy utilizatsii avtomobil'nykh shin metodom piroliza* [Ecological estimation of emissions by the complex utilization of automobile tires by the method of pyrolysis]. *Ekologiya i promyshlennost': nauch.-proizv. zhurn. – Ecology and industry: science and production journal.* Kharkov, 2009, no. 2, pp. 71 – 75.

7. Містобудування, територіальне і стратегічне планування: організаційно-економічні, правові, суспільні та еколого-технологічні аспекти: монографія / під загальною редакцією д.е.н, професора С.В. Богачова. – Донецьк: Ноулідж (Донецьке відділення), 2014. – 533 с.

*Mistobuduvannia, teritorial'ne i strategichne planuvannia: organizatsiino-ekonomichni, pravovi, suspil'ni ta ekologo-tekhnologichni aspekty: monografiia / pid zagal'noiu redaktsiieiu d.e.n. profesora S.V. Bogachova* [Town building, territorial and strategical planning: economic-organizing, legal, social and ecological and technological aspects: monograph / dr. sci. (Econ). professor S.V. Bogachev, ed.]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2014, 533 p.

*Valentin Alekseyevich Penchuk, Dr. Sci. (Tech.), prof.; e-mail: [penshyk@rambler.ru](mailto:penshyk@rambler.ru);*

*Yuri Aleksandrovich Novichkov, senior lecturer; e-mail: [novichkov\\_yura@mail.ru](mailto:novichkov_yura@mail.ru)*

*The State Educational Institution of Higher Occupational Education "The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture"*

*286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone +38-050-62-62-537*

## **OPTIMIZATION OF RECYCLING THE TIRES OF THE RUBBER-MOUNTED EQUIPMENT FOR THEIR SAFE UTILIZATION**

**Purpose.** Scientific substantiation and working-out the ecologically safe technological complex for utilization of automobile and tractor tires deteriorated with the prospect of obtaining the qualitative and competitive secondary products.

**Methods.** Physical and chemical, rheological and organoleptic methods, as well as experiment planning and mathematical modeling.

**Results.** The basic data being used by drawing-up the task for projecting the installation for utilization of the deteriorated automobile tires using the method of pyrolysis with the productivity of 2000 t of raw material per year were obtained.

**Scientific novelty.** The complex technology of utilization of the deteriorated automobile tires with the use of the low-temperature pyrolysis method that guarantees obtaining the secondary products of high quality and contributes to the natural environment protection was worked out.

**Practical value.** The estimation of the economic and ecological efficiency of the offered technological complex for utilization of the deteriorated automobile and tractor tires using the method of low-temperature pyrolysis was given.

**Keywords:** *recycling; deteriorated automobile tires; secondary products; technological complex; ecological safety; material balance; ecological and economic effect.*

**УДК 622.411.3:546.296**

**Олег Григорьевич Кременев**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: [maknii.niot@mail.ru](mailto:maknii.niot@mail.ru)

ГУ «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности» (МакНИИ)

286132, Макеевка, ул. Лихачева, 60. Тел. +38 095-847-61-35;

**Вадим Леонидович Овчаренко**, канд. техн. наук, доц.; e-mail: [ovcharenko.vad@yandex.ru](mailto:ovcharenko.vad@yandex.ru)

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (ДонНТУ)

283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. +38 095-525-06-16

## **КОЭФФИЦИЕНТ РАВНОВЕСИЯ РАДОНА С ДОЧЕРНИМИ ПРОДУКТАМИ ЕГО РАСПАДА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

**Цель.** Определение количественных значений коэффициента равновесия  $F$  радона с дочерними продуктами его распада в шахтной среде для определения допустимой дозы облучения работников угольной шахты.

**Методика.** Аналитические исследования объёмной активности радона по литературным источникам с использованием экспериментальных измерений в шахте радиометром РГА09МШ объёмной активности радона, дочерних продуктов его распада и эквивалентной равновесной объёмной активности радона.

**Результаты.** Получены количественные значения коэффициента  $F$  в горных выработках и производственных помещениях технологического комплекса поверхности угольной шахты.

**Научная новизна.** Разработана методика определения коэффициента равновесия  $F$  в воздухоподающих и вентиляционных выработках шахты с учетом концентрации и дисперсного состава пыли в шахтных выработках.

**Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при определении дозы облучения работников угольной шахты.

**Ключевые слова:** угольная шахта; горные выработки; радон; дочерние продукты распада радона; эквивалентная равновесная объёмная активность; коэффициент равновесия.

**Постановка проблемы.** Установление и контроль дозы облучения работников угольной шахты природными источниками ионизирующего излучения – актуальная и малоизученная проблема охраны труда в горной промышленности. Оценку радиационного воздействия на человека регламентируют нормы радиационной безопасности [1]. Компонентами дозы облучения горняков являются радон и дочерние продукты его распада. Для оценки радиационного воздействия на человека вводят понятия «скрытой энергии», коэффициента равновесия  $F$  между радоном и дочерними продуктами его распада, эквивалентной равновесной объёмной активности радона.

**Анализ последних исследований.** Установлено, что скрытая энергия радиационного воздействия на человека пропорциональна мощности дозы, создаваемой продуктами распада радона в организме человека [2, 3]. Эквивалентную равновесную объёмную активность радона определяют как объёмную активность радона, находящегося в равновесии со своими продуктами

распада, дающими такую же скрытую энергию, что и исследуемая неравновесная смесь продуктов распада. Коэффициент равновесия  $F$  определяют как отношение эквивалентной равновесной объемной активности к реальной измеренной объемной активности радона [2, 3]. Практические измерения в помещениях показывают, что диапазон изменения коэффициента  $F$  радона-222 находится в пределах от 0,1 до 0,9.  $F$  зависит от кратности воздухообмена в помещении и вероятности присоединения продуктов распада радона к аэрозолям воздушной среды [3]. Знание объемной активности позволяет оценить эквивалентную равновесную объемную активность радона с учетом среднего значения коэффициента  $F$ , характерного для данных условий [3]. Для горных выработок угольных шахт данных о количественных значениях коэффициента  $F$  практически нет.

**Цель исследования.** Определение количественных значений коэффициента равновесия  $F$  радона с дочерними продуктами его распада в шахтной среде для определения допустимой дозы облучения работников угольной шахты.

**Результаты исследований.** Анализ исследований радиационной обстановки показал, что в земной коре и гидросфере находятся в небольших количествах естественные радионуклиды. Они делятся на радионуклиды уранорадиевого и ториевого семейств и долгоживущие радионуклиды калий-40, кальций-48, рубидий-87 и др. [4]. Облучение человека естественными радионуклидами составляет 72...83 %, радоном 54 % [3, 4]. Радиационная обстановка в горных выработках определяется наличием естественных радионуклидов в горном массиве [2, 3, 5]. При ведении горных работ в угольных шахтах радиационная обстановка формируется за счет поступления в атмосферу горных выработок изотопов радона и продуктов их распада, а также долгоживущих естественных радионуклидов уранового и ториевого рядов, присутствующих в витающей шахтной пыли. Основными источниками выделения радона в среду угольной шахты являются [3]: горный массив, содержащий угольные пласты и вмещающие породы; разрыхленная горная масса (отбитый уголь и порода, закладочный материал, порода и остатки угля в обрушенном пространстве); шахтные воды. Процесс выделения радона в шахтную среду представляется тремя этапами. На первом происходит эманирование радона из кристаллической решетки минералов в поры горных пород. Как правило, выделяется не весь радон, а только его часть. Долю высвободившегося радона характеризует коэффициент эманирования. На втором этапе радон диффундирует в порах и микротрещинах горного массива. За время диффузии часть радона распадается. Поэтому в трещины массива попадает только часть свободного радона. Доля радона, выделяющегося в трещины, зависит от коэффициента диффузии радона в частях массива и от их размеров. На третьем этапе происходит фильтрационно-диффузионное распространение радона по макротрещинам горного массива, где продолжается распад радона. Доля радона, выносимого из трещин в горные выработки,

зависит главным образом от скорости фильтрации воздуха по трещинам, которая определяется проницаемостью массива и перепадами давления воздуха между горными выработками. Сложность процесса радоновыделения, а также изменчивость горно-геологических условий не позволяют теоретически рассчитать дебит радона шахты и ее отдельных выработок, поэтому для его оценки обычно используют метод аналогий и эмпирические зависимости, установленные в процессе предварительного радиационного обследования шахт [2, 3, 6].

Основные факторы, определяющие радиационную обстановку в горных выработках и подземных сооружениях, включают следующие компоненты [2, 3, 6]: внешнее облучение гамма-излучением, создаваемое естественными радионуклидами уранового и ториевого рядов и калием-40, содержащимися в угле и горных породах выработки и в материалах крепи; внутреннее облучение за счет вдыхания радона-222, радона-220 и продуктов их распада в воздухе; внутреннее облучение долгоживущими естественными радионуклидами уранового и ториевого рядов, поступающими в организм в составе шахтной пыли. Таким образом, внешнее облучение гамма-излучением обусловлено присутствием в горных породах естественных радионуклидов урана-238, тория-232 и продуктов их распада, а также нуклида калий-40. В зонах с повышенной урановой или ториевой минерализацией мощность дозы внешнего гамма-излучения может достигать сотен микрозиверт в час. Внутреннее облучение за счет поступления долгоживущих естественных радионуклидов, содержащихся в шахтной пыли, вносит существенную долю в общую дозу облучения, если удельная активность естественных радионуклидов в пылеобразующих породах близка к значениям, соответствующим активности урановых и ториевых руд, или когда концентрация пыли – более десятков миллиграммов на кубический метр (что свойственно угольным шахтам) [3, 6]. Весомое внутреннее облучение горняков угольных шахт происходит за счет поступления радона-222, радона-220 и продуктов их распада. Изотопы радона-222 образуются при распаде радия-226, который входит в состав уранового радиоактивного семейства и присутствует практически во всех горных породах. Период полураспада и химическая инертность делают возможной миграцию атомов радона на расстояния в несколько метров в массиве горных пород. В случае образования атомов радона вблизи горных выработок и других подземных полостей становится возможным попадание радона в них. По мере распада радона происходит накопление продуктов его распада в среде, где изначально содержался чистый радон. Находясь в воздухе, продукты распада радона существуют в течение нескольких секунд в виде свободных атомов, затем оседают на ближайшей поверхности или присоединяются к аэрозольным частицам. Механизм поступления торона в выработки отличается от механизма поступления радона-222, так как период полураспада радона-220 (торона) очень мал (56 с). Поэтому поступление торона в выработки определяется его выделением из стен выработок [3].

В угольной шахте оценка концентрации радона и продуктов его распада осуществляется с помощью эквивалентной равновесной объемной активности радона, объемной активности радона и коэффициента  $F$  между радоном и продуктами его распада. При этом коэффициент  $F$  определяется как отношение эквивалентной равновесной объемной активности радона к реальной измеренной объемной активности его [3].

Измерение в угольных шахтах объемной активности радона позволяет оценить значения эквивалентной равновесной объемной активности его с учетом коэффициента  $F$ , характерного для данных условий. В источнике [1] при определении дозы облучения подземных работников нормируемым показателем является эквивалентная равновесная объемная активность радона, поэтому именно этот показатель необходимо контролировать в практической деятельности. Однако измерять корректно эквивалентную равновесную объемную активность радона практически весьма сложно. Во-первых, методы измерения продуктов распада по методу Маркова или Кузнецова оперируют рядом констант и конечный результат существенно зависит от их конкретного значения [3]. Во-вторых, для измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона в шахтных условиях необходимы приборы во взрывозащищенном исполнении, а существующие серийно выпускаемые радиометры изготавливают в общепромышленном исполнении. В условиях подземных горных выработок с целью снижения погрешности измерений целесообразно измерять объемную активность радона и переходить к эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона с использованием коэффициента  $F$ . Однако фактических данных о значениях коэффициента  $F$  на различных рабочих местах в условиях угольных шахт практически нет. Для шахт, опасных по газу, установлено наличие радиометра эквивалентной равновесной объемной активности радона во взрывозащищенном исполнении РГА-09МШ [7]. Прямое назначение радиометра – измерение эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и объемной активности продуктов его распада в воздухе. Программное обеспечение радиометра позволяет получить коэффициент равновесия между радоном и продуктами его распада  $F$ , кратность воздухообмена  $\lambda$ , а также эквивалентную равновесную объемную активность торона в воздухе. Выбор методики измерения эквивалентной равновесной объемной активности и объемной активности радона, коэффициента равновесия  $F$  в угольной шахте определяется возможностями радиометра РГА-09МШ во взрывозащищенном исполнении. Измерения эквивалентной равновесной объемной активности и объемной активности радона, а также коэффициента  $F$  были проведены в условиях шахты «Холодная Балка». При измерениях горные выработки были разделены на две группы. Горные выработки первой группы выбирали по пути движения воздуха, поступающего в шахту: от рабочего места рукоятчика на воздухоподающем стволе и далее по сети воздухоподающих выработок общешахтных и участковых до очистного забоя (4-й западной разгрузочной лавы пласта  $h_{10}^6$  горизонта 750 м). Во вторую группу входили



вентиляционные выработки, начиная от выработки с исходящей струёй воздуха из лавы, и далее по сети вентиляционных выработок участковых и общешахтных до вентиляционного (скипового) ствола шахты. Результаты измерений коэффициента  $F$  в воздухоподающих и вентиляционных выработках, а также производственных помещениях технологического комплекса поверхности шахты «Холодная Балка» при различных концентрациях пыли в шахтной среде приведены в табл. 1 – 3. В таблицах использованы аббревиатуры: ОА – объемная активность; ЭРОА – эквивалентная равновесная объемная активность.

Таблица 1

Результаты измерений коэффициента  $F$  в воздухоподающих выработках

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{ОА_{Rn}}{ОА_{Rn}(Tn)}$ * (с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	$\frac{ЭРОА_{Rn}}{ЭРОА_{Rn}(Tn)}$ * (с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	$\frac{-}{ЭРОА_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
Воздухоподающие выработки					
220, посадочная площадка клетового ствола	12,9	$\frac{8,987}{9,202}$	$\frac{4,591}{3,750}$	$\frac{-}{1,526}$	$\frac{0,511}{0,408}$
218, конв. ходок 4-й зап. лавы пл. $h_{10}^e$ , пересып № 6	48,7	$\frac{35,94}{37,04}$	$\frac{7,461}{5,907}$	$\frac{-}{2,820}$	$\frac{0,208}{0,159}$
203, верхняя приемно-отправительная площадка вспомогат. наклонного квершлага на пл. $h_{10}^e$ ,	9,0	$\frac{1,284}{1,390}$	$\frac{0,574}{0,510}$	$\frac{-}{0,091}$	$\frac{0,447}{0,440}$
205, центральный квершлаг с пл. $k_4^{2H}$ на пл. $k_2^2$ , пересып в бункер загрузки	16,1	$\frac{103,9}{111,5}$	$\frac{6,026}{5,539}$	$\frac{-}{0,884}$	$\frac{0,458}{0,450}$
213, конвейерный накл. квершлаг на пл. $h_{10}^e$ , гор.750 м (3 м от бункера)	59,0	$\frac{41,08}{43,29}$	$\frac{16,64}{14,73}$	$\frac{-}{3,467}$	$\frac{0,405}{0,340}$
212, нижняя приемно-отправительная площадка вспом. наклон. квершл. на пл. $h_{10}^e$	10,6	$\frac{17,97}{17,50}$	$\frac{4,591}{3,048}$	$\frac{-}{2,001}$	$\frac{0,255}{0,174}$
214, 6-й западный ходок 4-й западной разгрузочной лавы пласта $h_{10}^e$	13,6	$\frac{19,25}{27,16}$	$\frac{4,017}{1,870}$	$\frac{-}{3,337}$	$\frac{0,290}{0,069}$
219, конвейерный ходок 4-й западной разгрузочной лавы пл. $h_{10}^e$ , пересып № 4	39,1	$\frac{30,81}{27,16}$	$\frac{3,730}{1,870}$	$\frac{-}{3,337}$	$\frac{0,121}{0,069}$
217, конвейерный ходок 4-й западной разгрузочной лавы пл. $h_{10}^e$ , пересып № 5	44,8	$\frac{24,39}{25,29}$	$\frac{6,312}{5,169}$	$\frac{-}{2,076}$	$\frac{0,259}{0,204}$
207, подходная выработ. к гезенкам скипового ствола, 20 м от гезенка	5,7	$\frac{44,93}{47,12}$	$\frac{30,41}{27,18}$	$\frac{-}{5,863}$	$\frac{0,677}{0,577}$

Окончание табл. 1

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{OA_{Rn}}{OA_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{\text{ЭРОА}_{Rn}}{\text{ЭРОА}_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{-}{\text{ЭРОА}_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
		(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>		
207-1, подходная выработ. к гезенкам скипового ствола, 150 м от гезенка	7,0	$\frac{93,72}{101,3}$	$\frac{29,84}{28,86}$	$\frac{-}{1,784}$	$\frac{0,318}{0,285}$
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222					0,323
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222 с учетом торона					0,252
Среднее значение $F$ по всем измерениям					0,287

\* В числителе – измеренная величина через 15 мин после отбора пробы; в знаменателе – измеренная величина во временном интервале 5...12 ч после отбора пробы.

Таблица 2

Результаты измерений коэффициента  $F$  в вентиляционных выработках

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{OA_{Rn}}{OA_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{\text{ЭРОА}_{Rn}}{\text{ЭРОА}_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{-}{\text{ЭРОА}_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
		(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>		
Вентиляционные выработки					
221, вентходок 4-й западной разгруз. лавы пл. $h_{10}^e$ , 5 м от нижней ниши лавы	116,4	$\frac{12,83}{13,75}$	$\frac{2,870}{2,660}$	$\frac{-}{3,380}$	$\frac{0,224}{0,193}$
222, вентходок 4-й западной разгрузочной лавы пл. $h_{10}^e$ , (середина ходка)	53,5	$\frac{32,09}{34,37}$	$\frac{10,33}{9,631}$	$\frac{-}{1,269}$	$\frac{0,323}{0,280}$
224, вентходок 4-й западной разгрузочной лавы пл. $h_{10}^e$ , устье вентходка	30,8	$\frac{101,4}{107,2}$	$\frac{10,61}{9,181}$	$\frac{-}{2,606}$	$\frac{0,105}{0,086}$
215, западная вентмагистраль гор.750 м, середина вентмагистрала	21,7	$\frac{50,07}{51,30}$	$\frac{12,62}{9,879}$	$\frac{-}{4,986}$	$\frac{0,252}{0,193}$
216, нижняя посад. площадка вент. наклон. квершлага на пл. $h_{10}^e$ гор. 750 м	25,0	$\frac{60,34}{65,04}$	$\frac{19,51}{18,66}$	$\frac{-}{1,542}$	$\frac{0,323}{0,287}$
211, нижняя посад. площадка вент. наклон. квершлага на пл. $h_{10}^e$ гор. 750 м	32,5	$\frac{93,72}{100,2}$	$\frac{12,22}{11,77}$	$\frac{-}{1,192}$	$\frac{0,130}{0,111}$

Окончание табл. 2

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{OA_{Rn}}{OA_{Rn}(Tn)}$ *	$\frac{\text{ЭРОА}_{Rn}}{\text{ЭРОА}_{Rn}(Tn)}$ *	$\frac{-}{\text{ЭРОА}_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
		(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>		
204, верхняя посадочная площадка вент. наклонного квершлага на пласт $h_{10}^e$ гор. 750 м	15,2	<u>14,12</u>	<u>9,183</u>	$\frac{-}{0,520}$	<u>0,650</u>
		14,64	8,662		
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222					0,287
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222 с учетом торона					0,240
Среднее значение $F$ по всем измерениям					0,263

\* В числителе – измеренная величина через 15 мин после отбора пробы; в знаменателе – измеренная величина во временном интервале 5...12 ч после отбора пробы.

Таблица 3

### Результаты измерений коэффициента $F$ в производственных помещениях технологического комплекса поверхности

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{OA_{Rn}}{OA_{Rn}(Tn)}$ *	$\frac{\text{ЭРОА}_{Rn}}{\text{ЭРОА}_{Rn}(Tn)}$ *	$\frac{-}{\text{ЭРОА}_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
		(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>		
Помещения технологического комплекса поверхности					
16, цех приема угля питателя № 2	11,2	<u>5,136</u>	<u>2,538</u>	$\frac{-}{1,387}$	<u>0,503</u>
		4,707	1,560		
17, цех сортировки угля, у питателя бункера	27,9	<u>12,84</u>	<u>3,157</u>	$\frac{-}{2,319}$	<u>0,245</u>
		9,160	1,879		
18, цех приема горной массы, раб. место на ленте конвейера	14,5	<u>17,97</u>	<u>1,435</u>	$\frac{-}{2,565}$	<u>0,080</u>
		-	0,022		
225, машзал подъемной уст. клетового ствола	4,8	<u>5,007</u>	<u>1,620</u>	$\frac{-}{0,486}$	<u>0,323</u>
		5,130	0,879		
226, машзал подъемной уст. скипового ствола	10,9	<u>24,39</u>	<u>11,47</u>	$\frac{-}{1,031}$	<u>0,471</u>
		26,20	10,91		
228, помещение вакуум-насосных установок	3,1	<u>17,97</u>	<u>8,609</u>	$\frac{-}{2,339}$	<u>0,479</u>
		18,66	7,320		

Окончание табл. 3

Номер пробы, наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>	$\frac{OA_{Rn}}{OA_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{\text{ЭРОА}_{Rn}}{\text{ЭРОА}_{Rn(Tn)}} *$	$\frac{-}{\text{ЭРОА}_{Tn}}$ *, Бк/м <sup>3</sup>	Коэффициент равновесия $F^*$
		(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>	(с учетом торона), Бк/м <sup>3</sup>		
23, баня ИТР «чистое отделение» технологического комплекса поверхности	5,3	$\frac{12,83}{-}$	$\frac{8,609}{-}$	$\frac{-}{1,087}$	$\frac{0,671}{-}$
19, помещение ламповой технологического комплекса поверхности	14,5	$\frac{7,703}{5,986}$	$\frac{2,870}{1,237}$	$\frac{-}{2,962}$	$\frac{0,373}{0,207}$
24, баня рабочих («грязное» отделение)	12,5	$\frac{12,84}{-}$	$\frac{7,174}{3,078}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{0,558}{-}$
230, помещение бани ИТР технологического комплекса поверхности	4,3	$\frac{19,25}{15,40}$	$\frac{3,730}{1,574}$	$\frac{-}{3,914}$	$\frac{0,194}{0,104}$
215, подземный переход к клетевому стволу технологического комплекса поверхности	11,1	$\frac{70,61}{76,16}$	$\frac{17,21}{16,44}$	$\frac{-}{1,421}$	$\frac{0,244}{0,216}$
25, кабинет службы охраны труда в административно-бытовом комбинате	4,8	$\frac{11,55}{-}$	$\frac{5,739}{-}$	$\frac{-}{3,152}$	$\frac{0,447}{-}$
229, помещение гидрозатвора уч. профилактических работ по технике безопасности	4,96	$\frac{7,703}{7,709}$	$\frac{6,609}{7,193}$	$\frac{-}{2,667}$	$\frac{0,858}{0,926}$
12, помещение питьевой воды административно-бытового комбината	9,3	$\frac{17,97}{15,29}$	$\frac{6,313}{3,136}$	$\frac{-}{5,776}$	$\frac{0,351}{0,205}$
23, баня ИТР «чистое отделение» технологического комплекса поверхности	5,3	$\frac{12,83}{-}$	$\frac{8,609}{-}$	$\frac{-}{1,087}$	$\frac{0,671}{-}$
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222					0,414
Среднее значение $F$ по измерениям радона-222 с учетом торона					0,227
Среднее значение $F$ по всем измерениям					0,320

\* В числителе – измеренная величина через 15 мин после отбора пробы; в знаменателе – измеренная величина во временном интервале 5...12 ч после отбора пробы.

**Выводы.** Анализ исследований радиационной обстановки в угольных шахтах (обусловленной естественными источниками ионизирующего излучения в горном массиве) показывает необходимость знания коэффициента равновесия  $F$  для определения дозы облучения работников угольной шахты. Обоснована и предложена методика измерения эквивалентной равновесной объемной активности и объемной активности радона, а также коэффициента равновесия  $F$  между радоном и дочерними продуктами его распада в шахтной среде. Получены результаты шахтных измерений эквивалентной равновесной

объемной активности и объемной активности радона, а также коэффициента равновесия  $F$  в горных выработках и производственных помещениях технологического комплекса поверхности шахты «Холодная Балка» (Макеевка). Установлены обобщенные значения коэффициента равновесия  $F$  в воздухоподающих и вентиляционных выработках и в целом по шахте, а также зависимость уменьшения коэффициента равновесия  $F$  при увеличении концентрации пыли в угольной шахте.

#### Список литературы / References

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/200. Санитарные правила и нормативы: СанПиН 2.6.1.2523-09: утв. Пост. гл. государств. санитарн. врача Рос. Федерации 07.07.2009, № 47. – М.: ФЦГЭ Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

*Normy radiatsionnoy bezopasnosti НРБ-99/200. Sanitarnyye pravila i normativy: SanPiN 2.6.1.2523-09: utv. Post. gl. gosudarstv. sanitarn. vracha Ros. Federatsii 07.07.2009, № 47* [The НРБ-99/200 standard specifications of radiation safety. Sanitary regulations and standards: SanPiN 2.6.1.2523-09: approved in accordance with the Resolution of the Head state sanitary inspector of the Russian Federation from 07.07.2009, no. 47. Moscow, FTsGE Rospotrebnadzora Publ., 2009, 100 p.

2. Методика оценки радиационной обстановки на угольных шахтах и разрезах: РД 8-016-91. – М.: ВНИПИпромтехнологии, 1992. – 115 с.

*Metodika otsenki radiatsionnoy obstanovki na ugol'nykh shakhtakh i razrezakh: РД 8-016-91* [Methods of evaluation of the radiation situation at coal and open-pit mines: РД 8-016-91]. Moscow, VNIPIpromtekhologii Publ., 1992, 115 p.

3. Потапов, Р.В. Разработка системы радиометрического контроля подземных горных выработок в условиях высокой обводненности: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Роман Валерьевич Потапов. – СПб., 2014. – 159 с.

*Potapov, R.V. Razrabotka sistemy radiometricheskogo kontrolya podzemnykh gornykh vyrabotok v usloviyakh vysokoy obvodnyennosti: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.01* [Working-out the radiometric control system of underground mine workings under conditions of high watering: cand. tech. sci. diss.: 05.26.01]. Saint Petersburg, 2014, 159 p.

4. Мироненкова, Н.А. Радиационная обстановка на угольных шахтах / Н.А. Мироненкова // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 2. – С. 33 – 37.

*Mironenkova, N.A. Radiatsionnaya obstanovka na ugol'nykh shakhtakh* [The radiation situation at coal mines]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti – Personal and social safety*, 2013, no. 2, pp. 33 – 37.

5. Романов, С.М. Актуальность радиационного контроля на угольных шахтах и разрезах / С.М. Романов, А.А. Шилов, О. Н.Гурьянова // Безопасность труда в пром-сти. – 2009. – № 8. – С. 26 – 27.

*Romanov, S.M., Shilov, A.A., Gur'yanova, O.N. Aktual'nost' radiatsionnogo kontrolya na ugol'nykh shakhtakh i razrezakh* [Actuality of the radiation control at

coal and open-pit mines]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Industrial work safety*, 2009, no. 8, pp. 26 – 27.

6. Короленко, Е.Е. Закономерности формирования радиационной обстановки и ее контроль в угольных шахтах Украины: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Елена Евгеньевна Короленко. – Макеевка: МакНИИ, 2001. – 155 с.

Korolenko, Ye.Ye. *Zakonomernosti formirovaniya radiatsionnoy obstanovki i yeye kontrol' v ugol'nykh shakhtakh Ukrainy: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.01* [Conformities with forming of the radiation situation and its control at coal mines of the Ukraine: cand. tech. sci. diss.: 05.26.01]. Makeyevka, MakNII, 2001, 155 p.

7. Радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ (РГА-09МШ1): руководство по эксплуатации. – Желтые Воды: ООО НПП «Тетра», 2014. – 27 с.

*Radiometr ekvivalentnoy ravnovesnoy ob'yemnoy aktivnosti radona РГА-09МШ (РГА-09МШ1): rukovodstvo po ekspluatatsii* [The РГА-09МШ (РГА-09МШ1) radiometer of the equivalent equilibrium volumetric activity of radon: operation manual]. Zhovti Vody, ООО NPP “Tetra” Publ., 2014, 27 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Ю.Ф. Булгаковым.  
Дата поступления рукописи 02.05.2017

**Oleg Grigoryevich Kremenyev**, Cand Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: [maknii.niot@mail.ru](mailto:maknii.niot@mail.ru)  
The State Institution “Makeyevka of Safety in Mines Research Institute” (MakNII)  
286132, Makeyevka, 60, ulitsa Likhachyova. Phone: +38 095-847-61-35;

**Vadim Leonidovich Ovcharenko**, Cand Sci. (Tech.), associate professor; e-mail: [ovcharenko.vad@yandex.ru](mailto:ovcharenko.vad@yandex.ru)  
The State Educational Institution of Higher Occupational Education “The Donetsk National Technical University” (DonNTU)  
283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone : +38 095-525-06-16

## EQUILIBRIUM COEFFICIENT OF RADON WITH DAUGHTER PRODUCTS OF ITS DECAY IN MINE WORKINGS OF A COAL MINE

**Purpose.** Determination of quantitative values of the equilibrium coefficient  $F$  of radon with the daughter products of its decay in the mine environment for estimation of the permissible radiation dose of the coal mine workers.

**Methods.** Analytical investigations of the volumetric activity of radon according to literature sources with the use of the experimental measurements of volumetric activity of radon, daughter products of its decay and equivalent equilibrium volumetric activity of radon in the mine with the РГА09МШ1 radiometer.

**Results.** The quantitative values of the equilibrium coefficient  $F$  were obtained in the mine workings and industrial premises of the technological complex of the surface of the coal mine.

**Scientific novelty.** The methods of determination of the equilibrium coefficient  $F$  in air-supplying and ventilation mine workings of the mine were worked out with due regard for the concentration and dispersed dust composition in the mine workings.

**Practical value.** The results obtained may be used by determination of the radiation dose of coal mine workers.

**Keywords:** coal mine; mine workings; radon; daughter products of the decay of radon; equivalent equilibrium volumetric activity; equilibrium coefficient.

## 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  
2017, № 4(54)

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 19.10.2017.

Адрес редакции и издателя: НИИГД «Респиратор», ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: (+38 062) 332-78-01; 332-78-64

Объем 7,76 Мб

E-mail: [respirator@mail.dnmchs.ru](mailto:respirator@mail.dnmchs.ru)

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

**Дата размещения на сайте 14 ноября 2017 г.**