



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

№ 3(56)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2019

Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 3(56). – 114 с.

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

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

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

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук	В.Г. Агеев – главный редактор
<u>д-р техн. наук</u>	<u>П.С. Пашковский</u> – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	Ю.Ф. Булгаков
д-р техн. наук	С.П. Высоцкий
д-р техн. наук	С.П. Греков
д-р техн. наук	А.Ф. Долженков
д-р техн. наук	С.Г. Ехилевский (Республика Беларусь)
д-р техн. наук	В.Г. Игишев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	В.А. Канин
д-р техн. наук	В.П. Коптиков (Российская Федерация)
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 № 4 от 27.06.2019).

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. 3(56)

Published quarterly

Founded in 1970

Donetsk
2019

Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal. – Donetsk, 2019. – No. 3(56). – 114 p.

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

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

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

Editorial board:

Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Ageyev – editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	P.S. Pashkovskiy – deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.)	Yu.F. Bulgakov
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Vysotskiy
Dr. Sci. (Tech.)	S.P. Grekov
Dr. Sci. (Tech.)	A.F. Dolzhenkov
Dr. Sci. (Tech.)	S.G. Yekhilevskiy (Republic of Belarus)
Dr. Sci. (Tech.)	V.G. Igishev (Russian Federation)
Dr. Sci. (Tech.)	V.A. Kanin
Dr. Sci. (Tech.)	V.P. Koptikov (Russian Federation)
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" (РИНЦ) (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. 4 from 27.06.2019).

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., Коляда А.Ю.,
Шиш О.С., Диденко А.А.**Применение беспилотных летательных
аппаратов для мониторинга лесных и
степных пожаров

7

**Пашковский П.С., Пештибай Г.И.,
Галухин Н.А., Ефименко В.Л.**Взаимодействие капельного и теплового
потоков на границе пламени пожара

19

**Греков С.П., Пашковский П.С.,
Всякий А.А., Старикова И.Г.**Влияние истечения метана из угля
на снижение его температуры

28

Дрипан П.С.Устойчивость анкера при установке в
породный массив под действием
динамической нагрузки

37

***II. Безопасность в чрезвычайных
ситуациях*****Агарков Ан.В., Козлитин А.А.,
Лебедева В.В., ЩербакOVA О.Н.**Сорбционная способность
промышленных отходов и каменных
углей

46

Чубучный Н.Ю., Добрякова Е.И.Система обучения населения правилам
пожарной безопасности

56

Орликова В.П.Оперативный контроль пожароопасной
ситуации в горной выработке

64

TABLE OF CONTENTS

I. Fire and industrial safety**Ageyev V.G., Kolyada A.Yu., Shish O.S.,
Didenko A.A.**Application of unmanned aerial vehicles for
monitoring of forest and steppe fires

7

**Pashkovskiy P.S., Peshbay G.I.,
Galukhin N.A., Yefimenko V.L.**Interaction of a drop and heat flows
at the boundary of the fire flame

19

**Grekov S.P., Pashkovskiy P.S.,
Vsyakiy A.A., Starikova I.G.**Influence of methane release from coal
on its temperature reduction

28

Dripan P.S.Anchor stability during the setting into
a rock massif under the impact
of a dynamic load

37

II. Safety in emergencies**Agarkov An.V., Kozlitin A.A.,
Lebedeva V.V., Shcherbakova O.N.**Sorption ability of industrial waste and
hard coals

46

Chubuchnyy N.Yu., Dobryakova Ye.I.A system of training the population
in fire safety regulations

56

Orlikova V.P.Operative control of a fire-hazardous
situation in a mine working

64

Мавроди А.В.

Использование резерва воздуха на
выемочных участках при отключении
систем дегазации

73

Mavrodi A.V.

Use of an air reserve at extraction districts
during disconnection of degassing systems

**III. Охрана труда и экологическая
безопасность**

Долженков А.Ф., Мороз Т.О.

Защита головы пожарного при ведении
аварийно-спасательных работ

83

Dolzhenkov A.F., Moroz T.O.

Fire-fighter's head protection during
carrying-out the emergency-rescue
operations

Высоцкий С.П., Ятченко О.Ю.

Мембранное моделирование и
управление обратным осмосом в
опреснительных установках

89

Vysotskiy S.P., Yatchenko O.Yu.

Membrane modeling and control
of reverse osmosis in water-desalinating
plants

Высоцкий С.П., Рыжова Р.В.

Теплоснабжение и обработка отходов
с использованием тепловых насосов

97

Vysotskiy S.P., Ryzhova R.V.

Heat supply and waste processing
with the use of thermal pumps

**Зборщик Л.А., Плетенецкий Р.С.,
Францев В.И.**

Переключатель шлангового
дыхательного аппарата

106

**Zborshchik L.A., Pletenetskiy R.S.,
Frantsev V.I.**

A switch of the fresh air hose breathing
apparatus

Требования к оформлению статьи

113

Requirements of execution of an article

I. Пожарная и промышленная безопасность

УДК 614.841.42-047.36

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

Андрей Юрьевич Коляда, нач. отд.; e-mail: kolyada1980@mail.ru;

Олег Сергеевич Шиш, техник-технолог; e-mail: unicoleg@ya.ru;

Артем Алексеевич Диденко, науч. сотр.; e-mail: didenartem89@gmail.com

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

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-39

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ

Цель. Повышение пожарной безопасности и эффективности борьбы с лесными и степными пожарами на территории Донецкой Народной Республики с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Методика. Анализ и научное обобщение сведений по проблеме.

Результаты. Рассмотрены существующие методы мониторинга лесных и степных пожаров, проанализированы достоинства и недостатки существующей нормативно-правовой базы применения беспилотных летательных аппаратов, тактико-технические параметры используемых беспилотных летательных аппаратов и аппаратуры обнаружения очагов горения, математические модели оптимизации их количества. Намечены пути решения проблем применения беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных и степных пожаров и повышения эффективности их ликвидации силами МЧС ДНР.

Научная новизна. Определены основные положения и требования нормативно-правовых актов, регулирующих использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга пожаров и борьбы с ними. Предложен метод расчета оптимального количества беспилотных летательных аппаратов, обеспечивающих выполнение поставленных задач.

Практическая значимость. Намеченные пути решения существующих проблем позволят подразделениям МЧС ДНР эффективно применять беспилотные летательные аппараты при проведении мониторинга пожаров лесных массивов и степей ДНР и обеспечить организацию их тушения.

Ключевые слова: *лесные и степные пожары; беспилотный летательный аппарат; мониторинг; раннее выявление; нормативно-правовая база; тактико-технические характеристики; математическая модель развития пожара.*

Постановка проблемы. Регулярно возникающие в различных регионах земного шара лесные пожары привлекают к себе пристальное внимание как природные и техногенные бедствия, наносящие серьезный экономический и экологический ущерб. Из множества природных и антропогенных факторов лесные пожары оказывают доминирующее негативное влияние на состояние лесных фитоценозов.

Суммарный ущерб, причинённый лесным пожаром, включает стоимость сгоревшей и поврежденной древесины на корню, ущерб от повреждения

молодняков естественного и искусственного происхождения, ущерб, причинённый ресурсам побочного пользования, расходы на тушение лесного пожара, ущерб от повреждения и уничтожения объектов в лесу, расходы на расчистку горельников, затраты на проведение дополнительных выборочных и санитарных рубок в насаждениях, пройденных пожаром, ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и других средообразующих функций леса, ущерб от загрязнения атмосферы продуктами горения, ущерб от гибели животных и растений.

Лесные насаждения Донецкой Народной Республики занимают площадь более 50 тыс. га (5,85 % общей территории Республики), представлены пятью лесничествами – Донецким, Амвросиевским, Горловским, Торезским и Тельмановским, в числе которых 32 особо охраняемые природные территории суммарной площадью 13449 га, а именно: 16 государственных природных заказников, из них один лесной заказник общегосударственного значения Бердянский (Амвросиевский район, площадь 413 га, байрачные и пойменные леса вдоль реки Крынка); один лесной заказник государственного значения (Великоанадольский лес, 2543 га); четыре лесных заказника местного значения (Леонтьево-Байрацкий, Снежное, 1285 га; урочище Плоское, Енакиево, 129 га; урочище Россоховатое, Енакиево, 100 га; урочище Софиевское, Горловка, 565 га); два ботанических заказника местного значения (Пристинское, Амвросиевка, 250 га; Обушок, Шахтерский район, 55,6 га); Донецкий ботанический сад; парки – памятники садово-паркового искусства имени А.П. Чехова и Дубовый Гай.

В силу возрастной и породной структуры (сосна, ель и лиственница) и сильного антропогенного воздействия лесные насаждения на территории ДНР отличаются высокими показателями природной пожароопасности. Более 70 % лесов относятся к первым двум классам пожарной опасности.

В последние годы увеличению количества пожаров способствует плановое выжигание территории для различных хозяйственных целей. Владельцы мелких фермерских хозяйств используют выжигание или подсечно-огневой метод для подготовки полей. При этом пламя нередко переходит границы подготавливаемой к посеву территории и, особенно в период засухи, распространяется на соседние лесные массивы. Только 7...8 % лесных пожаров возникает от природного фактора, ударов молнии и др.

Так, в 2015 г. произошло девять пожаров на территории лесничеств ДНР (уничтожено 26,5 га леса), а в 2016 г. – 18 пожаров (уничтожено 133,5 га леса), в 2017 – 40 пожаров (335,55 га), в 2018 – 18 пожаров (103,69 га) [1].

В летний период, особенно в выходные и праздничные дни, наблюдается резкое увеличение количества палов сухой травы, тления листьев и лесных пожаров. Связано это, прежде всего, с устремлением части населения города в лес на отдых. Как правило, лесной отдых сопровождается разведением костров, парковкой автомобилей на площадках с сухой травой, а также оставлением после себя мусора, в том числе огнеопасного. Опасность возникновения

пожаров в лесах увеличивается с наступлением сухой и жаркой погоды. В основном это период с июля по сентябрь.

Одним из типичных случаев является пожар, происшедший 26.09.2015 в Амвросиевском районе, вблизи с. В. Шишовка Шахтерского района из-за неосторожного обращения с огнём. Пожар начался в Шахтёрском районе и перекинулся на территорию Амвросиевского района, в результате огнём уничтожено 10,2 га сухой травы и 23,8 га лесного массива. Ущерб от пожара 158 996 руб.

Большую опасность представляют и степные пожары. Степи занимают более 2 % территории Республики и включают биосферную особо охраняемую территорию республиканского значения «Хомутовская степь – Меотида» (площадь 16551 га), объединившую заповедник «Хомутовская степь» (1030,4 га), два степных заповедника (579,6 га), ландшафтный парк «Меотида» (14941,78 га); республиканский ландшафтный парк «Зуевский» (1532,3 га) и ландшафтный заповедник местного значения «Благодатное» (25 га). Заповедники нуждаются в охране и защите.

Один из подходов к раннему выявлению лесных и степных пожаров – их мониторинг, в том числе с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Однако опыт применения БПЛА для обнаружения и тушения лесных (степных) пожаров невелик, а специальных пожарных БПЛА не существует. Также ряд проблем и задач препятствует активному применению БПЛА подразделениями МЧС ДНР для мониторинга лесных и степных насаждений и требует незамедлительного решения.

Цель исследований – повышение пожарной безопасности и эффективности борьбы с лесными и степными пожарами на территории Донецкой Народной Республики с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Анализ последних исследований. В работе [2] проанализирована возможность использования для мониторинга лесных пожаров различных технических средств.

В работе [3] при тушении и для разведки пожаров, в том числе лесных, предложено использование существующих моделей БПЛА, проведено сравнение характеристик этих аппаратов самолетного и вертолетного типов. Определены их основные преимущества и недостатки.

В работе [4] указано, что в условиях дефицита средств на авиапатрулирование воздушными судами возрастает роль БПЛА.

Однако отмечается, что современные БПЛА имеют и ряд существенных недостатков: сравнительно небольшой угол захвата регистрирующей аппаратуры БПЛА, радиус полета, не превышающей 100 км, что не позволяет осматривать большую территорию; нет технологии автоматического (без участия человека) обнаружения пожаров; для БПЛА микрокласса – сильная зависимость его полета от ветра и конвективных потоков пожара; сравнительно

высокая аварийность и низкий ресурс БПЛА; практически отсутствует нормативно-правовая база для применения беспилотной техники, в связи с чем их полеты необходимо согласовывать с органами управления воздушным движением.

Результаты исследований. Анализируя методы мониторинга лесных и степных пожаров, достоинства и недостатки нормативно-правовой базы применения БПЛА, их технические достоинства и недостатки, математические модели оптимизации количества этих аппаратов, предлагаем следующие пути решения возникающих проблем.

- Нормативно-правовая база. В ДНР она фактически отсутствует.

Такая же ситуация сложилась и Российской Федерации (РФ), где лишь недавно (с 1 ноября 2010 г.) вступили в силу Федеральные правила использования воздушного пространства РФ, в которых определено, что беспилотный летательный аппарат – летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов. Применение БПЛА в лесном и степном хозяйстве для охраны и защиты лесов в нормативно-правовом отношении не закреплено.

Таким образом, необходима законодательная база для интеграции беспилотных летательных аппаратов в систему воздушного движения таким образом, чтобы они не создавали угрозы столкновений с пилотируемой авиационной техникой гражданского и военного назначения и предотвратить их возможное уничтожение силами Народной милиции, что особенно важно для ДНР.

При проведении конкретных спасательных операций силы МЧС ДНР должны иметь право использовать свои технические средства для проведения необходимых работ. В этой связи жестких нормативных ограничений и тем более запретов на применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС ДНР не может быть. Вместе с тем вопросы нормативно-правового регулирования разработки, производства и применения беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения в целом до настоящего времени не решены.

- Модернизация Методики определения пожарной опасности леса.

Все основные типы лесов классифицируют по пожарной опасности. Существующая классификация лесов И.С. Мелехова информативна, удобна в пользовании, может быть представлена в картографической и табличной формах. Однако она имеет и ряд недостатков: не учитывает почвенный покров, сезонное изменение травяного яруса в травяных типах лесов (вырубки и т.д.).

Класс пожарной опасности леса определяют по принятому в лесном хозяйстве комплексному показателю В.Г. Нестерова (КП Нестерова):

$$\text{КП} = \sum_{n=1}^N t(t - r), \quad (1)$$

где t – текущая температура воздуха, °C;

r – температура точки росы, °C;

N – общее количество дней после последнего дождя;

n – текущий день после последнего дождя.

Затем исходя из значения КП лесу присваивают один из пяти классов пожарной опасности по условиям погоды. Для уточнения прогноза распространения пожара необходимо учитывать и дополнительные факторы – рельеф местности, подъездные пути, наличие потенциальных источников зажигания и т.д. На основании усовершенствованного КП территорию лесов делят на участки, которым следует уделять особое внимание при мониторинге, применяя большее количество БПЛА или увеличивая время патрулирования для участков с большей степенью пожароопасности.

● Не менее важно нормирование действий беспилотных летательных аппаратов по информации оперативных штабов МЧС при тушении обнаруженных пожаров.

Пожар необходимо выявлять в начальной стадии его развития, поскольку время свободного развития пожара определяет материальные затраты на его тушение, количество сил, средств и пожарных расчетов, привлекаемых к ликвидации пожара.

Выделяют следующие параметры, влияющие на процесс развития пожара:

- время свободного развития пожара до его обнаружения τ_1 , мин;
- время ожидания с момента обнаружения пожара до выезда пожарных подразделений τ_2 , мин;
- время следования пожарных подразделений к месту пожара τ_3 , мин;
- время разведки места пожара τ_4 , мин;
- время ликвидации и локализации пожара τ_5 , мин;
- время наблюдения за местом пожара τ_6 , мин.

В Российской Федерации в 2014 г. приняты новые Правила тушения лесных пожаров, которые жестко регламентируют время прибытия пожарно-спасательных подразделений к месту пожара. Согласно пп. 48, 49 Правил, в самом критическом случае (скорость ветра более 5 м/с или в случае пожара 4...5 класса) пожарно-спасательное подразделение обязано прибыть в район пожара не позднее чем через 30 мин после его обнаружения или численность привлекаемых сил и средств должна быть увеличена не менее чем в 2 раза [5]. Практически это трудновыполнимая задача в силу удаленности территории, недостаточно развитой дорожной сети. Пожарные прибывают со значительным опозданием, обследование пожара начинается на месте, между тем огонь набирает силу и бороться с ним становится значительно сложнее.

Наиболее перспективным решением в этом направлении является применение беспилотных летательных аппаратов для информационной поддержки оперативных штабов при организации тушения пожаров.

Главная задача – снизить временные показатели до минимума, $\tau_i \rightarrow \min$. Для решения этой задачи целесообразно применение беспилотных летательных аппаратов.

Общий осмотр пожара осуществляет беспилотный летательный аппарат 2...3 раза в день на высоте 600...800 м. При каждом осмотре на карту-схему наносят границы пожара, его площадь и дату осмотра, что позволяет выявлять динамику распространения пожара [6].

Оператор, работающий с беспилотным летательным аппаратом, определяет основное направление распространения огня, наличие угрозы его продвижения к промышленным и сельскохозяйственным объектам и населенным пунктам, наличие очагов горения, места перехода огня через минерализованные полосы, выявляет местонахождение людей и техники, занятых тушением пожара, с целью определения правильности их расстановки на кромке огня.

На основании этой информации принимаются решения о тактике тушения, маневрировании людскими и материально-техническими ресурсами. Намечаются естественные рубежи для остановки огня, подъездные пути (подходы) к пожару, участку кромки (дороги, тропы, озера, ручьи, реки, мосты). Осматривают ликвидируемый пожар с высоты 200...400 м [6].

При мониторинге локализованных пожаров основное внимание необходимо уделять дымовым точкам по периметру пожара (горящие и дымящие пни, стволы деревьев, кучи древесного хлама), определять их опасность с точки зрения повторного воспламенения и распространения огня, наличие и работу основного персонала для наблюдения за местом пожара и полной ликвидации его.

Для оперативного маневрирования людскими и техническими ресурсами необходимо иметь двухстороннюю радиосвязь между операторами беспилотного летательного аппарата и наземными командами пожаротушения.

- Необходима разработка математических моделей развития лесных и степных пожаров, в рамках которых можно определить поле плотности излучения над очагом распространения пожара в различные моменты времени.

Эти математические модели лесных (степных) пожаров должны адекватно описывать механизмы их распространения и моделировать развитие пожаров в зависимости от состояния лесного (степного) фонда.

Так, задача определения оптимального количества беспилотных летательных аппаратов, обслуживающих определенное степное или лесохозяйство, может быть сформулирована как задача оптимального покрытия кругами определенной территории. Различные аспекты и подходы к решению задачи покрытия рассмотрены в работах [7-10].

Целесообразно использовать математический аппарат сетевого планирования для описания процесса тушения лесного (степного) пожара. Для каждого крупного пожара (площадью больше 25 га) составляют сетевой график модели применения беспилотного летательного аппарата [5].

Для определения параметров оптимального размещения беспилотного летательного аппарата возможно применение и менее сложных теорий. В рамках этой модели введены такие термины:

- точка базирования – точка земной поверхности, откуда запускают и куда приземляется беспилотный летательный аппарат;
- радиус наблюдения R_n – максимальное удаление БПЛА от точки базирования при условии возможности возвращения в неё. R_n зависит от максимальной продолжительности полета БПЛА и его крейсерской скорости;
- полетный цикл – сумма максимально возможного времени нахождения БПЛА в воздухе и минимальное время проведения регламентных работ после его посадки (заправка, обслуживание и т.д.);
- коэффициент наблюдаемости K_n – отношение суммарного времени дислокации одного или нескольких БПЛА в каждой конкретной точке наблюдения к продолжительности полетного цикла; если $K_n \geq 1$ – точка не наблюдается.

Полетный цикл определяют по формуле

$$t_{п.ц} = t_{п} + t_{подг}, \quad (2)$$

где $t_{п}$ – время полета, мин;

$t_{подг}$ – регламентное время межполетного обслуживания и подготовки к полету, мин.

Коэффициент наблюдаемости

$$K_n = \frac{\sum t_n}{t_{п.ц}} = \frac{\sum (m_i K_{Di} t_{п})}{t_{п} + t_{подг}}, \quad (3)$$

где m_i – количество пригодных к выполнению поставленной задачи БПЛА в i -й точке базирования;

K_{Di} – безразмерный коэффициент доступности в i -й точке зоны наблюдения;

$$K_{Di} = \frac{t_n}{t_{п.ц}}; \quad (4)$$

t_n – время наблюдения за i -й точкой, мин.

Критерий эффективности системы мониторинга

$$E = \frac{S_{отн. K_w \geq [K_w]}}{M_{БПЛА}}, \quad (5)$$

где $S_{отн. K_w \geq [K_w]}$ – относительная площадь наблюдения, для которой реализуется заданный уровень наблюдаемости;

$M_{БПЛА}$ – требуемое количество БПЛА на i -й точке базирования.

- Помимо разработки нормативно-правовых актов и математических моделей, позволяющих оптимизировать численность БПЛА для мониторинга

пожаров, стоит задача выбора моделей БПЛА и аппаратуры для мониторинга или их конструирование.

Целесообразно иметь БПЛА самолетного и вертолетного типов.

БПЛА вертолетного типа способны зависать в воздухе на высоте, необходимой для качественного контроля объекта или местности, имеют возможность вертикального взлета-посадки на неподготовленной поверхности и не требуют специального взлетно-посадочного оборудования.

БПЛА самолетного типа менее подвержены ветровым нагрузкам, которые особенно проявляются на высоте 100 м и более у БПЛА вертолетного типа.

БПЛА вертолетного типа присуща также значительная вибрация от винта и трансмиссии, что практически исключено у летательных аппаратов самолетного типа.

Следует учитывать и явную экономическую выгоду, так как стоимость 1 моточаса работы БПЛА в 5...7 раз ниже стоимости работы обычных типов самолетов и вертолетов, применяемых в системе авиационной охраны лесов.

В качестве инструментальных средств для БПЛА применяются тепловые датчики инфракрасного и микроволнового диапазонов.

Так, тепलोлокатор микроволнового диапазона способен получать информацию о положении горящей кромки и протяженности активной зоны, при верховых и при низовых (скрытых пологом леса) лесных, степных и при подземных пожарах (горение торфяников).

В работе [11] предложено использовать для мониторинга БПЛА с синфазной антенной решеткой. Мониторинг земной поверхности в радиусе действия приемной антенны осуществляется в СВЧ-диапазоне в реальном масштабе времени.

Исследования показывают, что интенсивность излучения лесных пожаров максимальна в диапазоне 20,0...37,5 ГГц, что дает возможность обнаруживать пожар (очаги возгорания) даже при отсутствии дымового шлейфа без использования видеоконтроля, в любых пожарных условиях и в любое время суток. Электромагнитные волны СВЧ-диапазона хорошо проникают через облачный покров и растительность, что дает преимущество СВЧ-радиометрии по сравнению с ИК-съемкой. Однако недостаток этого метода – низкое пространственное разрешение. Для преодоления этого недостатка возможно использование метода пеленгации очага пожара с двух (или более) БПЛА, однако это потребует увеличения количества беспилотников.

В то же время продолжается разработка микрокамер в ИК-диапазоне. В рамках успешного европейского проекта Comets создана микрокамера в ИК-диапазоне 7...14 мкм, оснащенная панорамным корпусом, что позволяет ориентировать ее независимо от положения корпуса БПЛА. Канадская компания Jtres выпускает микрокамеры, которые проводят аэросъемку в VNIR, SWIR или MWIR диапазонах ИК-спектра и весят не более 2 кг.

Рассматривая опыт применения беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС ДНР, можно сделать следующие обобщения:

- экономическая целесообразность применения беспилотных летательных аппаратов обусловлена простотой использования, возможностью взлета и посадки на любой выбранной территории;
- оперативный штаб по борьбе с чрезвычайными ситуациями получает достоверную видео- и фотоинформацию, что позволяет эффективно управлять силами и средствами локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- возможность передачи видео- и фотоинформации в реальном масштабе времени на пункты управления позволяет оперативно влиять на изменение ситуации и принимать правильное управленческое решение;
- возможность ручного и автоматического использования беспилотных летательных аппаратов для постоянного мониторинга лесных и степных массивов Республики.

Выводы. Применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС ДНР весьма актуально. Воздушное пространство различных стран осваивают беспилотные летательные аппараты самого различного назначения, разнообразных аэродинамических схем и с многообразием тактико-технических характеристик.

Наряду с этим существует ряд проблем, которые необходимо решать до того, как беспилотная авиация получит широкое распространение. Вопросы нормативно-правового регулирования разработки, производства и применения беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения в целом до настоящего времени не решены. Нет и оптимизирующей их применение научной теории. Отсутствуют технические наработки, опыт тактического применения и т.д. Намечены пути решения указанных проблем.

Список литературы / References

1. Тимошенко, Д.А. Ранцевые огнетушители для ликвидации лесных пожаров / Д.А. Тимошенко // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – 2017. – Вып. 2(54). – С. 45 – 49.

Timoshenko, D.A. *Rantsevyye ognetushteli dlya likvidatsii lesnykh pozharov* [Backpack fire extinguishers for mitigation of forest fires]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.- tekhn. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2017, no. 2(54), pp. 45 – 49.

2. Костылев, В.А. Возможности и проблемы использования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) при мониторинге лесных пожаров / В.А. Костылев, Ю.В. Покидышева, Е.В. Покидышева // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте, 2015: сб. тезисов. – Иваново: Научный мир, 2015. – С.46 – 53.

Kostylev, V.A., Pokidysheva, Yu.V., Pokidysheva, Ye.V. *Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya (DDZ) pri monitoringe lesnykh pozharov* [Possibilities and problems of application of the remote sensing data (RSD) during the forest fire monitoring]. *Perspektivnyye*

innovatsii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte, 2015: sb. tezisov [Progressive innovations in science, education, industry and transportation, 2015: collection of abstracts]. Ivanovo, Nauchnyy mir, 2015, pp. 46 – 53.

3. Ровков, Р.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов при тушении пожаров и ликвидации ЧС / Р.Г. Ровков, В.В. Соколянский // Пожарная безопасность: сб. материалов молодежной научно-технической конференции, приуроченной ко Дню пожарной охраны ДНР, 26 апреля 2018 г. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2018. – С. 115 – 120.

Rovkov, R.G., Sokolyanskiy, V.V. *Ispol'zovaniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri tushenii pozharov i likvidatsii ChS* [Application of unmanned aerial vehicles for fire-fighting and mitigation of emergencies]. *Pozharnaya bezopasnost': sb. materialov molodyezhnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, priurochennoy ko Dnyu pozharnoy okhrany DNR, 26 aprelya 2018 g.* [Fire safety: textbook of the science and technology youth conference dedicated to the DPR Fire-fighters' Day, April 26th, 2018]. Donetsk, State Educational Institution of Higher Professional Education "The Civil Defence Academy" of the Ministry for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Donetsk People's Republic, 2018, pp. 115 – 120.

4. Практика применения перспективных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и аэрофотосъемки / А.В. Студеникин, В.А. Михалин, Р.В. Иванов, С.И. Магаршак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 102 – 106.

Studenikin, A.V., Mikhalin, V.A., Ivanov, R.V., Magarshak, S.I. *Praktika primeneniya perspektivnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya monitoringa i aerofotos'yemki* [Practice of application of advanced unmanned aerial vehicles for monitoring and aerial photography]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Current problems in the remote sensing of the Earth from space*, 2012, vol. 9, no. 4, pp. 102 – 106.

5. Таранцев, А.А. Модель применения беспилотных летательных аппаратов в целях тушения крупных лесных пожаров в зоне применения наземных сил и средств / А.А. Таранцев, Ю.И. Чикитов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2012. – № 84. – С. 174 – 184.

Tarantsev, A.A., Chikitov, Yu.I. *Model' primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v tselyakh tusheniya krupnykh lesnykh pozharov v zone primeneniya nazemnykh sil i sredstv* [Model of application of unmanned aerial vehicles for the mitigation of the large forest fires within the range of the use of ground forces and means]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii – Bulletin of the Saint Petersburg State Fire-fighting Service University of EMERCOM of Russia*, 2012, no. 84, pp. 174 – 184.

6. Мягков, Д.Ю. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства / Д.Ю. Мягков, Р.И. Могилянец // Труды БГТУ. – Минск, 2013. – № 2(158). – С. 89 – 92.

Myagkov, D.Yu., Mogilyanets, R.I. *Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya monitoringa lesnogo khozyaystva* [Application of the unmanned aerial vehicles for monitoring of the forestry]. *Trudy BGTU* [Transactions of the BGTU]. Minsk, 2013, no. 2(158), pp. 89 – 92.

7. Кочкарь, Д.А. Оптимальное размещение вышек наблюдения наземных систем видеомониторинга лесных пожаров / Д.А. Кочкарь, Г.Ю. Мединцев, А.А. Орехов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2010. – № 7(48). – С. 311 – 314.

Kochkar', D.A., Medintsev, G.Yu., Orekhov, A.A. *Optimal'noye razmeshcheniye vyshek nablyudeniya nazemnykh sistem videomonitoringa lesnykh pozharov* [Optimum allocation of observation towers for the ground network of video monitoring the forest fires]. *Radioelektronni i komp'iuterni systemy – Radioelectronic and computer systems*. Kharkiv, 2010, no. 7(48), pp. 311 – 314.

8. Бабий, С.М. Алгоритм покрытия площади лесного массива кругами видеонаблюдения и контроля / С.М. Бабий, Д.А. Кочкарь, В.В. Чмовж // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2010. – № 7(48). – С. 272 – 277.

Babiy, S.M., Kochkar', D.A., Chmovzh, V.V. *Algoritm pokrytiya ploshchadi lesnogo massiva krugami videonablyudeniya i kontrolya* [Algorithm of the forest area coverage by means of video monitoring and control systems]. *Radioelektronni i komp'iuterni systemy – Radioelectronic and computer systems*. Kharkiv, 2010, no. 7(48), pp. 272 – 277.

9. Стоян, Ю.Г. Математическая модель и метод решения задачи упаковки максимального числа равных кругов в невыпуклую область с зонами запрета / Ю.Г. Стоян, А.М. Чугай // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. – № 10. – С. 45 – 52.

Stoyan, Yu.G., Chugai, A.M. *Matematicheskaya model' i metod resheniya zadachi upakovki maksimal'nogo chisla ravnykh krugov v nevypukluyu oblast' s zonami zapreta* [The mathematical model and problem-solving procedure for packing a maximum number of equal circles into the convex domain with the forbidden areas]. *Dopovidi Natsional'noyi akademii nauk Ukrainy – Papers of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2009, no. 10, pp. 45 – 52.

10. Метод регулярного покрытия прямоугольной области кругами заданного радиуса / А.В. Панкратов, В.Н. Пацук, Т.Е. Романова, А.А. Антошкин // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1. – С. 50 – 52.

Pankratov, A.V., Patsuk, V.N., Romanova, T.Ye., Antoshkin, A.A. *Metod regul'yarnogo pokrytiya pryamougol'noy oblasti krugami zadannogo radiusa* [The regular coverage procedure of the rectangular domain with the circles of the assigned radius]. *Radioelektronika i informatika – Radioelectronics and informatics*, 2002, no. 1, pp. 50 – 52.

11. Никулин, О.Ф. Применение беспилотных летательных аппаратов с синфазной антенной решеткой для систем мониторинга лесных пожаров / О.Ф. Никулин, О.С. Багров // Вестник АМУ. Серия «Техника». – 2014. – № 1(7). – С. 117 – 123.

Nikulin, O.F., Bagrov, O.S. *Primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov s sinfaznoy antennoy resh'yetkoy dlya sistem monitoringa lesnykh pozharov* [Application of unmanned aerial vehicles with a cophasal antenna array for forest fire monitoring systems]. *Vestnik AMU. Seriya "Tekhnika"* [Bulletin of the AMU. Series "Technics"]. 2014, no. 1(7), pp. 117 – 123.

12. Вытовтов, А.В. Алгоритм распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна / А.В. Вытовтов, А.В. Калач, Т.Н. Куликова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2017. – № 3(24). – С. 86 – 90.

Vytovtov, A.V., Kalach, A.V., Kulikova, T.N. *Algoritm raspoznavaniya plameni s borta bespilotnogo vozdushnogo sudna* [The algorithm of flame recognition from the board of the unmanned aircraft]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service of EMERCOM of Russia]. 2017, no. 3(24), pp. 86 – 90.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым.
Дата поступления рукописи 06.05.2019

Vladimir Grigoryevich Ageyev, Dr. Sci. (Tech.), director; e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;

Andrey Yuryevich Kolyada, head of department; e-mail: kolyada1980@mail.ru;

Oleg Sergeyevich Shish, technologist-technician; e-mail: unicoleg@ya.ru;

Artyom Alekseyevich Didenko, scientific associate; e-mail: didenartem89@gmail.com

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-39

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF FOREST AND STEPPE FIRES

Purpose. Improvement of fire safety and efficiency of mitigation of the forest and steppe fires in the territory of the Donetsk People's Republic with the use of unmanned aerial vehicles (UAVs).

Methods. Analysis and scientific generalization of information on the problem.

Results. Existing methods for monitoring the forest and steppe fires have been examined, pros and cons of the existing normative legal basis of the UAV application, tactical and technical parameters of the UAVs and equipment for detection of heat sources currently in use, mathematical models for optimization of their number have been analyzed. The ways to solve the problems of the UAV application during the monitoring of the forest and steppe fires and to improve the efficiency of their mitigation by the forces of the Ministry for Emergency Situations of the Donetsk People's Republic have been laid down.

Scientific novelty. The principal regulations and requirements of the normative legal documents managing the UAV application for monitoring and control of the fires have been established. The method of calculation of the optimum number of the UAVs to ensure the fulfillment of assigned tasks has been suggested.

Practical value. The scheduled ways to solve the existing problems will permit the subdivisions of the Ministry of Emergency Situations (the Donetsk Peoples' Republic) to effectively apply the UAVs for monitoring the forest and steppe fires in the Donetsk People's Republic and to ensure the organization of their fighting.

Keywords: forest and steppe fires; unmanned aerial vehicle (UAV); monitoring; early detection; normative legal basis; tactical and technical characteristics; mathematical model of the development of fire.

УДК 614.842.612

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

Георгий Иванович Пештибай, нач. отд.; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;

Николай Александрович Галухин, науч. сотр.; e-mail: 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;

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

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

283048, Донецк, ул. Розы Люксембург, 34. Тел. (+38 062) 304-43-76

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬНОГО И ТЕПЛООВОГО ПОТОКОВ НА ГРАНИЦЕ ПЛАМЕНИ ПОЖАРА

Цель. Обоснование параметров капельного потока жидкости для преодоления теплового барьера пожара.

Методика. Аналитические исследования взаимодействия капельного потока струи и теплового восходящего потока пожара.

Результаты. Показано, что отношение импульсов потока струи к импульсу восходящего теплового потока пожара эквивалентно отношению их скоростных напоров, что позволило получить условие для определения критической скорости струи, при которой обеспечивается преодоление теплового барьера пламени и попадание капель на поверхность горящего материала. На основании уравнения движения получено выражение для определения критического диаметра капель, меньше которого реализуется импульсный режим взаимодействия, при котором деформируется и разрушается пламя, растягиваются зоны реакции и резко повышается проникающая способность капель, повышается эффективность тушения пожара.

Научная новизна. Получены выражения для определения критического значения диаметра капли и скорости капельного потока, определены их численные значения для модельных очагов пожара рангов 3А и 89В.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности пожаротушения тонкораспыленной водой и обоснования выбора конструктивных параметров, определения максимальной возможной дальности капельной струи, при которой обеспечено эффективное попадание капель на поверхность горящего материала.

Ключевые слова: *капельная струя; тепловой восходящий поток; импульсный режим; критический диаметр капли; критическая скорость.*

Постановка проблемы. Современными исследованиями горения и механизмов тушения пожаров установлено, что сопровождающие их химические и физические процессы развиваются на границах раздела фаз, а интенсивность зависит не столько от объема воды, подаваемой в очаг горения, сколько от площади контактной поверхности в зоне реакции. Увеличение контактной поверхности приводит к ускорению испарения – основному фактору, интенсифицирующему механизмы охлаждения горящего материала и образования локализирующего облака пара. Диспергация воды позволяет резко

увеличить площадь контакта, но уменьшает проникающую способность капельной струи. Противоречивость этих факторов с точки зрения влияния на эффективность пожаротушения вылилась в дискуссию между сторонниками и противниками применения тонкораспыленной воды до тех пор, пока не было установлено принципиальное отличие в механизмах взаимодействия крупнораспыленной и тонкораспыленной воды с пламенем. Открытие гравитационного и импульсного взаимодействия капельного потока с восходящими газовыми тепловыми потоками пожара и понимание условий для эффективного разрушения теплового барьера пламени тонкораспыленной водой, деформации пламени, растяжение зон реакций и проникновения на поверхность горящего материала позволяет повысить эффективность применения капельного потока воды. Однако до сих пор остаются открытыми вопросы поиска критерия проникновения капли в очаг пожара, определения критического диаметра и критической скорости капли для преодоления теплового барьера конвективных потоков горючих газов.

Решение вышеприведенных проблем является актуальной задачей и позволяет обосновать критический диаметр капель, критическую скорость капельного потока и критерий проникновения капель через тепловой барьер восходящих тепловых потоков к очагу пожара, а следовательно, повысить эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] для определения критических условий возможности капли достигать очага горения предложено использовать параметр, основывающийся на соотношении кинетической энергии капель и тепловой энергии очага горения. Автор считает, что положительный результат тушения пламени может быть достигнут только при следующем условии:

$$P_e > K / Q_2, \quad (1)$$

где K – кинетический параметр потока капель;

Q_2 – суммарный тепловой параметр пламени.

Однако конкретные выражения для параметров K и Q_2 не приведены. Аналогичного мнения придерживается автор работы [2], который считает, что для повышения проникающей способности необходимо увеличивать кинетическую энергию капельного потока.

В работе [3] для оценки возможности проникновения капельного потока в очаг пожара предложено использовать соотношение между импульсами капельной струи и восходящего теплового потока пожара:

$$I_c > I_{\pi}, \quad (2)$$

где I_c – импульс потока капель, Н;

I_{π} – импульс теплового потока пожара, Н.

Предположено, что при выполнении условия (2) происходит успешное подавление горения. Конкретные примеры применения выражения (2) в упомянутых работах не приведены.

В работе [2] сделана попытка установления критического диаметра каплей жидкости для проникновения в очаг пожара, однако не учтена выталкивающая сила восходящих тепловых газов. Анализ вышеприведенных исследований показывает, что в настоящее время отсутствует единый подход к установлению критерия проникновения каплей в очаг пожара.

Цель работы. Поиск критерия оценивания проникающей способности распыленной струи в очаг горения, установление критических значений диаметра и скорости каплей для проникновения на поверхность горючего материала в модельных очагах пожара классов 3А и 89В.

Материалы и результаты исследований. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой определяется возможностью реализации импульсного режима взаимодействия потока и пламени.

Поэтому представим неравенство (2) в виде отношения

$$I_c / I_{\pi} > 1. \quad (3)$$

Известно, что импульс любой струи равен произведению средней скорости на массовый расход. Запишем левую часть неравенства (3) в виде $\omega_c G_c / \omega_{\pi} G_{\pi}$ и выполним следующие преобразования:

$$\frac{\omega_c G_c}{\omega_{\pi} G_{\pi}} = \frac{\omega_c^2 m_c \omega_{\pi} St}{\omega_{\pi}^2 m_{\pi} \omega_c St} = \frac{\omega_c^2 m_c V_{\pi}}{\omega_{\pi}^2 m_{\pi} V_c} = \frac{\rho_c \omega_c^2}{\rho_{\pi} \omega_{\pi}^2} = \frac{\rho_c \omega_c^2}{2} \cdot \frac{\rho_{\pi} \omega_{\pi}^2}{2} = \frac{P_{v,c}}{P_{v,\pi}},$$

где ω_c , ω_{π} – средняя скорость капельного потока и тепловых потоков газов, м/с;

G_c , G_{π} – массовый расход капельного потока и теплового потока газов, кг/с;

m_c , m_{π} – масса каплей и масса тепловых потоков газов, кг;

t – время, с;

V_c , V_{π} – объем струи и тепловых потоков газов, м³;

ρ_c , ρ_{π} – плотность каплей и теплового потока газов, кг/м³;

$P_{v,c}$ – скоростной напор струи, Па;

$P_{v,\pi}$ – скоростной напор восходящего газового потока, Па.

Таким образом, отношение импульсов струи и восходящего теплового газового потока равно отношению скоростных напоров струи и пламени:

$$I_c / I_{\pi} = P_{v,c} / P_{v,\pi}.$$

Физический смысл величин $P_{v,c}$, $P_{v,\pi}$ – члены, входящие в уравнение Бернулли, представляющие собой удельную кинетическую энергию (кинетическая энергия в единице объема).

Скоростной напор пламени представим через параметры пожара. Согласно [2] максимальная скорость пламени равна

$$\omega_{п, \max} = C Q_{\max}^{0,2}, \quad (4)$$

где $C = 2$ – коэффициент, м/(кВт^{0,2}·с);

$Q_{\max}$ – максимальная тепловая мощность пожара, кВт.

С учетом того, что тепловая мощность постоянна и максимальна, имеем

$$Q_{\max} = \eta Q_n \psi_{уд} S_{\max}, \quad (5)$$

где η – коэффициент полноты сгорания;

Q_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг;

$\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/(с·м²);

$S_{\max}$ – максимальная площадь пожара, м².

С учетом (4) скоростной напор пламени равен

$$P_{v,п} = \frac{\rho_n C^2 Q_{\max}^{0,4}}{2}.$$

Тогда выражение (4) можно записать в виде

$$I_c / I_n = P_{v,c} / \left(\frac{\rho_n C^2 Q_{\max}^{0,4}}{2} \right). \quad (6)$$

Анализируя выражения (1) и (6), приходим к выводу, что физический смысл их правых частей близок, поскольку под кинетическим параметром K можно понимать удельную кинетическую энергию капельного потока $P_{v,c}$, а знаменатель правых частей (1) и (6) определяет тепловая мощность пожара. Отличие заключается в том, что в предложенном критерии (6) учитывается плотность ρ_n теплового восходящего потока, которая несомненно влияет на внедрение капель в очаг горения.

На основании выражений (6) и (3) получаем неравенство

$$P_{v,c} > \frac{\rho_n C^2 Q_{\max}^{0,4}}{2} \quad \text{или} \quad \frac{\rho_c \omega_c^2}{2} > \frac{\rho_n C^2 Q_{\max}^{0,4}}{2}. \quad (7)$$

Из выражения (7) находим критическую скорость капель на границе пламени, достаточную для внедрения в очаг горения:

$$\omega_c > \sqrt{\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}}} C Q_{\text{max}}^{0,2}. \quad (8)$$

Подставляя Q_{max} из выражения (5) в (8), получаем

$$\omega_c > \sqrt{\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}}} C (\eta Q_{\text{н}} \psi_{\text{уд}} S_{\text{max}})^{0,2}. \quad (9)$$

Особенностью формулы (9) является необходимость определения плотности потока $\rho_{\text{с}}$ распыленной воды (не плотности капли). Именно через $\rho_{\text{с}}$ осуществляется влияние тонкости распыления на проникающую способность капельной струи. Измерения воздушного потока, увлекаемого струями, показали, что напор струи со средним размером капель менее 1 мм полностью превращается в кинетическую энергию воздушного потока на расстоянии более 1,8 м от насадка. Напор струй с крупными каплями диаметром 1,5...3,5 мм превращается в кинетическую энергию воздушного потока только на 50 %. Из этого следует, что для тонкораспыленной воды (с диаметром капель 100...200 мкм) плотность потока в первом приближении можно взять равной плотности воздуха.

Определим критические скорости внедрения капель тонкораспыленной воды в модельные очаги пожаров рангов 3А и 89В. Модель очага пожара ранга 3А характеризует площадь свободной поверхности $S_{\text{max}} = 13,89 \text{ м}^2$. При горении древесины принимаем температуру пламени равной $625 \text{ }^\circ\text{C}$. При этой температуре $\rho_{\text{п}} = 0,394 \text{ кг/м}^3$; $\psi_{\text{уд}} = 0,007 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$; $Q_{\text{н}} = 13,8 \text{ МДж/кг}$; $\eta = 0,97$. Подстановка этих исходных данных в выражение (9) при $\rho_{\text{с}} = 1,204 \text{ кг/м}^3$ дает скорость $\omega_{\text{с,А}}$ капельного потока, необходимую для преодоления теплового барьера модельного очага пожара ранга 3А $\omega_{\text{с,А}} > 4,8 \text{ м/с}$. Аналогичные расчеты, проведенные с целью определения скорости капельного потока $\omega_{\text{с,В}}$ для преодоления теплового барьера модельного очага пожара ранга 89 А при $\eta = 0,87$; $Q_{\text{н}} = 41,87 \text{ МДж/кг}$; $\psi_{\text{уд}} = 0,062 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$; $S_{\text{max}} = 2,8 \text{ м}^2$; $\rho_{\text{п}} = 0,237 \text{ кг/м}^3$ (при температуре $1200 \text{ }^\circ\text{C}$) дают $\omega_{\text{с,В}} > 5,1 \text{ м/с}$.

Найдем критический диаметр капли, определяющий переход от гравитационного к импульсному режиму взаимодействия капельного потока и пламени.

Наибольшее сопротивление будет оказано восходящим тепловым газовым потоком при движении капельного потока вдоль оси пламени сверху вниз. Поэтому в классическом дифференциальном уравнении движения капли необходимо учитывать ее массу.

$$m_{\text{к}} \frac{d\bar{u}_{\text{к}}}{d\tau} = \pm m_{\text{к}} \bar{g} - C_D \psi(D) \rho f_{\text{к}} \frac{|U| \bar{U}}{2}, \quad (10)$$

где m_k – масса капли, кг;

$\bar{u}_k$ – скорость капли, м/с;

τ – время, с;

$\bar{g}$ – ускорение свободного падения, м/с²;

C_D – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$\psi(D)$ – функция, учитывающая деформацию капли;

ρ – плотность среды;

f_k – миделевое сечение капли, м²;

$\bar{U}$ – вектор относительной скорости капли.

Приведенное уравнение описывает динамику движения капли от среза ствола до границы пламени пожара. При входе в пламя появляется выталкивающая сила, изменяется плотность среды и относительная скорость капли. Очевидно, существует некоторый критический диаметр капли, меньше которого она не сможет попасть на поверхность горящего материала. Такое предположение справедливо для тонкораспыленной воды, когда за счет малой массы капли ее импульс не превосходит импульс восходящего теплового потока. Условие, при котором импульс пламени останавливает движение капли, получим из уравнения (10), приравнивая силу инерции нулю и проектируя силы на вертикальную ось, направленную в центр очага пожара.

$$m_k g = C_D \psi(D) \rho f_k U^2 / 2. \quad (11)$$

На границе взаимодействия капли и восходящего теплового потока сила тяжести капли P уменьшается за счет действия выталкивающей силы:

$$P = m_k g - \rho_{\text{п}} g v_k = (1 - \rho_{\text{п}} / \rho_k) m_k g,$$

где ρ_k – плотность капли, кг/м³;

v_k – объем капли, м³.

Правая часть уравнения (11) на границе с восходящим тепловым потоком равна

$$C_D \rho_{\text{п}} f_k \omega_{\text{п}}^2 / 2. \quad (12)$$

Выражение (12) получено при проектировании вектора скорости пламени на вертикальную ось, направленную снизу вверх, то есть $U = \omega_k - (-\omega_{\text{п}}) = \omega_k + \omega_{\text{п}}$. Поскольку в состоянии равновесия $\omega_k = 0$, то $U = \omega_{\text{п}}$. В состоянии равновесия принимаем $\psi(D) = 1$, то есть считаем каплю недеформированной, при этом уравнение равновесия принимает вид

$$(1 - \rho_{\text{п}} / \rho_k) m_k g = C_D \rho_{\text{п}} f_k \omega_{\text{п}}^2 / 2.$$

Подставляя вместо ω_{π} выражение из уравнений (4) и (5), получаем

$$(1 - \rho_{\pi}/\rho_{\kappa}) m_{\kappa} g = C_D \rho_{\pi} f_{\kappa} C^2 (\eta Q_{\pi} \psi_{\text{уд}} S_{\text{max}})^{0,4} / 2. \quad (13)$$

Массу капли находим по формуле

$$m_{\kappa} = \rho_{\kappa} \pi d^3 / 6,$$

где d – диаметр капли, м.

Коэффициент аэродинамического сопротивления равен

$$C_D = 24 / \text{Re} + 4,4\sqrt{\text{Re}} + 0,32 ,$$

где $\text{Re} = \frac{U_{\kappa} d}{\nu}$ – число Рейнольдса;

ν – коэффициент кинематической вязкости тепловых газов, $\text{м}^2/\text{с}$.

Подставляя выражения для m_{κ} , C_D и Re в уравнение (13), получаем алгебраическое уравнение относительно d .

$$g(\rho_{\kappa} - \rho_{\pi} - 1)d^2 - 0,24C^2(\eta Q_{\pi} \psi_{\text{уд}} S)^{0,4} d - 3,3C(\eta Q_{\pi} \psi_{\text{уд}} S)^{0,3} \sqrt{\nu C} \sqrt{d} - \\ - 18\nu C(\eta Q_{\pi} \psi_{\text{уд}} S)^{0,2} = 0 . \quad (14)$$

Путем замены переменной уравнение (14) сводится к решению алгебраического уравнения четвертой степени, корни которого можно найти аналитически. Ввиду громоздкости выражений для корней решение уравнения (14) находим с помощью компьютерной программы Maple 13.

Решения уравнения (14) найдены для мощностей, соответствующих модельным очагам пожара рангов 3А и 89В при $\rho_{\pi} = 0,394 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ – для модельного очага ранга 3А (при температуре 625 °С) и $\rho_{\pi} = 0,237 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ – для модельного очага ранга 89В (при температуре 1200 °С).

В результате получены следующие значения критических диаметров капель, при которых реализуется импульсный режим взаимодействия огнетушащей струи и восходящих тепловых потоков пожара: для очага пожара ранга 3А $d = 1,80 \text{ мм}$, для очага пожара ранга 89В $d = 2,26 \text{ мм}$.

Выводы

В работе показано, что эффективность попадания тонкораспыленной воды на поверхность горящего материала может быть определена по

соотношению скоростных напоров струи и пламени, что согласуется с известным условием, использующим соотношения между импульсами струи и пламени. На основании соотношения между скоростными напорами струи и пламени получены критические значения скоростей подачи пожаротушающего вещества, выше которых тонкораспыленная вода преодолевает тепловой барьер пламени пожара и попадает на поверхность горящего материала. Получены критические значения диаметров капель распыленной струи, ниже которых реализуется импульсный режим взаимодействия на границе пламени пожара, а следовательно, повышается проникающая способность тонкораспыленной воды, скорость испарения капель и эффективность тушения пожара.

Численные расчеты показывают, что для осуществления импульсного режима взаимодействия струи и пламени модельного очага пожара ранга 3А диаметр капель должен быть не более 1,80 мм, а скорость – не менее 4,8 м/с. Для модельного очага пожара ранга 89В вышеупомянутые параметры соответственно равны 2,26 мм и 5,1 м/с.

Список литературы / References

1. Цариченко, С.Г. Некоторые вопросы пожаротушения тонкораспыленной водой / С.Г. Цариченко // Пожарная автоматика – 2008: каталог. – М.: РИА «Индустрия безопасности», 2008. – С. 1 – 5.

Tsarichenko, S.G. *Nekotoryye voprosy pozharotusheniya tonkoraspylyennoy vodoy* [Some problems of fighting the fires with water spray]. *Pozharnaya avtomatika – 2008: katalog* [Fire automatics – 2008: catalogue]. Moscow, RIA “Industriya bezopasnosti”, 2008, pp. 1 – 5.

2. Пахомов, Г.Б. Новейшая технология пожаротушения тонкораспыленной водой. Характеристики устройств и перспективы развития / Г.Б. Пахомов // Мир и безопасность. – 2008. – № 3. – С. 24 – 39.

Pakhomov, G.B. *Noveyshaya tekhnologiya pozharotusheniya tonkoraspylyennoy vodoy. Kharakteristiki ustroystv i perspektivy razvitiya* [The up-to-date fire-fighting technology with water spray. Characteristics of devices and trends]. *Mir i bezopasnost' – World and safety*, 2008, no. 3, pp. 24 – 39.

3. Цой, А.С. Режимы и механизмы подавления пламени распыленной водой: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / А.С. Цой. – СПб., 2016. – 177 с.

Tsoy, A.S. *Rezhimy i mekhanizmy podavleniya plameni raspylyennoy vodoy: dis. ... kand. tekhn. nauk: 01.04.14* [Modes and mechanisms of flame suppression with water spray: cand. tech. sci. diss.: 01.04.14]. St. Petersburg, 2016, 177 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Грековым.
Дата поступления рукописи 17.04.2019

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

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

Georgy Ivanovich Pefitbay, head of department; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;

Nikolay Aleksandrovich Galukhin, scientific associate; e-mail: 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;

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

The State Educational Institution of Higher Occupational Education “The Civil Defence Academy” of the EMERCOM of DPR

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

INTERACTION OF A DROP AND HEAT FLOWS AT THE BOUNDARY OF THE FIRE FLAME

Purpose. Substantiation of parameters of the liquid drop flow for overcoming the thermal barrier of the fire.

Methodology. Analytical investigations of the interaction of the drop flow of a jet and the ascending air flow of the fire.

Results. It is shown that the ratio of the jet flow impulses to the impulse of the ascending air flow of the fire is equivalent to the ratio of their velocity heads what allowed obtaining the condition for calculation of the jet critical velocity by which overcoming the thermal barrier of the flame and ingress of the drops onto the surface of a burning material are ensured. On the basis of the equation of motion the expression for the calculation of the critical drop diameter has been obtained below which the pulse mode of the interaction activates. By this pulse mode the flame becomes deformed and breaks down, the reaction zones stretch and the drop ability to penetrate abruptly increases, the firefighting efficiency improves.

Scientific novelty. The expressions for calculation of the critical value of the drop diameter and the drop flow velocity have been obtained, their numerical values for the standardized fires of the Class 3A and Class 89B fires have been determined.

Practical value. The results of the investigation may be used for efficiency improvement of fighting the fires by means of the water spray and substantiation of the choice of design parameters, maximum possible range ability of the drop jet which provides for the effective ingress of the drops onto the burning material surface.

Keywords: drop jet; ascending heat air; pulse mode; critical drop diameter; critical velocity.

УДК 622.822.22:622.411.33*Святослав Павлович Греков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: obep.niigd@list.ru;**Петр Семенович Пашковский, д-р техн. наук, первый замдиректора по научной работе;
e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;**Александр Александрович Всякий, ст. науч. сотр.; e-mail: sentyabr.eger@inbox.ru;**Ирина Геннадиевна Старикова, канд. техн. наук, ученый секретарь; e-mail: ir-starik@yandex.ru**Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-81*

ВЛИЯНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАНА ИЗ УГЛЯ НА СНИЖЕНИЕ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель. Исследование динамики температуры углей разной степени метаморфизма при сбросе давления метана и определение продолжительности его напорного истечения.

Методы. Экспериментальные исследования в лабораторных условиях и обработка результатов аналитических исследований.

Результаты. Получены аналитические зависимости, описывающие динамику температуры углей при истечении из них метана и времени напорного его выделения.

Научная новизна. Предложены расчетные зависимости для вычисления времени окончания напорного выделения из углей метана и начала в нем окислительных процессов.

Практическая ценность. Показано, что инкубационный период самовозгорания углей увеличивается на 0,5...7,5 суток в зависимости от характеристики углей.

Ключевые слова: истечение метана; инкубационный период; температура углей; дросселирование; напор.

Постановка проблемы и анализ публикаций по теме исследования.

Один из основных показателей пожароопасности угля в шахте – инкубационный период его самовозгорания. Инкубационный период определяют на основе обработки статистического материала о случившихся эндогенных пожарах за 10-летний период работы угольных шахт Донбасса. Основными факторами, выявленными при обработке статистического материала, которые влияют на инкубационный период самовозгорания угля, были критическая температура самовозгорания, влажность угля и его химическая активность.

Предложены теоретические зависимости [1, 2], основанные на материалах исследования физических процессов самонагрева угля. В них дополнительно к выявленным ранее параметрам при статистической обработке материала учтены критическая толщина скопления угля, коэффициент массоотдачи, скорость проникновения воздуха через скопления угля, теплообмен с окружающими породами, концентрация кислорода в поступающем к скоплению угля воздухе.

Исследованиями НИИГД [3] установлено, что реакции окисления угля начинаются после окончания напорного выделения метана, которое заканчивается в зависимости от газоносности пласта, значения коэффициента диффузии метана в угле, пористости и диаметра его частиц, через промежутки времени от долей суток до недели и более и определяются совокупностью этих параметров, характеризующих интенсивность выделения из угля метана.

Кроме метана, тормозящее воздействие на проникновение кислорода внутрь частиц угля оказывает наличие воды, испаряющейся при его нагревании.

Так как метан и вода в первоначальный момент времени находятся в связанном состоянии, возможен единый подход к описанию перехода того или иного газа в свободное состояние и обратно.

Последующие работы были направлены на выполнение теоретических и экспериментальных исследований истечения метана из угля и его охлаждение при предварительном насыщении метаном с последующим сбросом давления и расчетом дросселирующего эффекта охлаждения [4].

Целью настоящей работы является изучение динамики температуры углей разной степени метаморфизма при истечении из них метана после сброса давления, определение продолжительности напорного истечения метана и его влияние на инкубационный период самовозгорания.

Результаты исследования. Характеристики углей, расчетные значения скоростей истечения из них метана $\mu_{\text{ср}}$, с^{-1} , и теплоты его дросселирования $q_{\text{др}}$, Дж/моль, приведены в работе [4].

Экспериментальные значения динамики понижения температур углей ΔT , $^{\circ}\text{C}$, после сброса давления в семи экспериментах с различными его типами даны на рис. 1.

Кривые имеют вид экспериментальных зависимостей и могут быть описаны формулой

$$\Delta T = a \exp[-bt], \quad (1)$$

где t – время с начала сброса с угля давления, с.

Зависимость ΔT , $^{\circ}\text{C}$, от t для каждой шахты представлена в графе 2 таблицы. Даны значения дробимости углей, доля газоотдающей поверхности угля ξ , скорость истечения метана $\mu_{\text{ср}}$, с^{-1} .

Анализ величин a и b в формуле (1), представленных для углей различных шахт (см. таблицу), показал, что параметр a зависит от значений доли газоотдающей поверхности ξ , а параметр b – от дробимости углей Др .

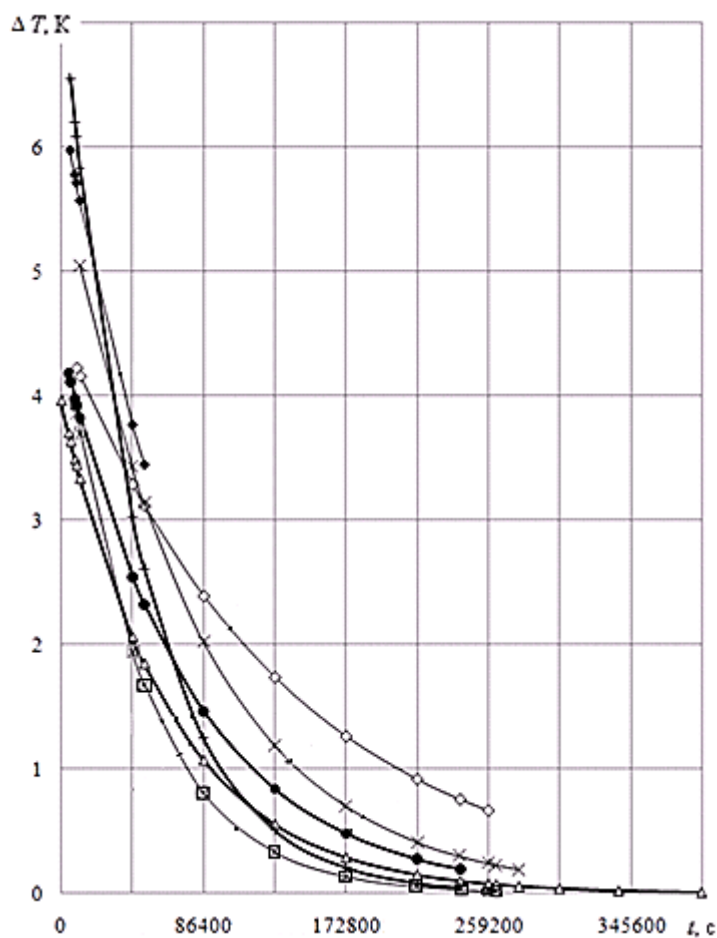


Рис. 1. Изменение понижения температур углей во времени после сброса давления метана:

- ◆ – «Щегловская-Глубокая», l_1^B ; ◇ – «Никонор-Новая», k_5^1 ;
 × – «22 Коммунарская», k_5 ; △ – им. XIX съезда КПСС, l_1 ;
 ⊠ – «Белореченская», l_6 ; ● – «Щегловская-Глубокая», l_1^H ; + – «Горняк», k_5^H

Характеристики зависимостей динамики температур угля после сброса давления

Шахта, пласт	Зависимость ΔT от t , °C	$\Delta T_{\text{ср}}$, °C	Др	$\xi \cdot 10^3$	$\mu_{\text{ср}} \cdot 10^6$, с ⁻¹	δ	$t_{\text{н}}$, сут	
							эсп.	расч.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
«Щегловская-Глубокая», l_1^B	$\Delta T = 6,41 \exp[-1,23 \cdot 10^{-5} t]$	2,05	22	6,7	20	0,46	0,6	0,5
«Никонор-Новая», k_5^1	$\Delta T = 4,53 \exp[-0,74 \cdot 10^{-5} t]$	2,05	13	4,2	4,2	0,36	3	4,7
«22 Коммунарская», k_5	$\Delta T = 5,81 \exp[-1,22 \cdot 10^{-5} t]$	1,66	9	5,2	4	0,32	3	7,5
Им. XIX съезда КПСС, l_1	$\Delta T = 3,97 \exp[-1,51 \cdot 10^{-5} t]$	0,77	9,5	4,2	9	0,21	3,9	0,2
«Белореченская», l_6	$\Delta T = 4,66 \exp[-2,03 \cdot 10^{-5} t]$	0,86	12	4,2	6	0,14	3,1	3,1

Окончание

Шахта, пласт	Зависимость ΔT от t , °C	$\Delta T_{\text{ср}}$, °C	Др	$\xi \cdot 10^3$	$\mu_{\text{ср}} \cdot 10^6$, с ⁻¹	δ	$t_{\text{н}}$, сут	
							эсп.	расч.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щегловская- Глубокая», $l_{\text{н}1}^{\text{н}}$	$\Delta T = 4,43 \exp[-1,28 \cdot 10^{-5} t]$	1,4	42	6,6	3,5	1,13	2,9	2,8
«Горняк», $k_5^{\text{н}}$	$\Delta T = 7,37 \exp[-2,06 \cdot 10^{-5} t]$	1,4	23	-	11,7	0,31	2,8	2,4

Аппроксимируя a и b указанными характеристиками углей, имеем

$$\Delta T = 1000 \xi \exp[-6,2 \cdot 10^{-8} (\text{Др} - 1)^{2,5} t]. \quad (2)$$

Для дальнейших исследований и практического применения целесообразно пользоваться средними за период напорного выделения метана $t_{\text{н}}$ значениями ΔT . Поэтому воспользуемся зависимостью для среднеинтегрального ее значения в виде

$$\Delta T_{\text{ср}} = a \frac{e^{-bt_{\text{н}}} - 1}{-bt_{\text{н}}}. \quad (3)$$

Используем для выполненных экспериментов значения a и b из графы 2 таблицы, найденные значения $\Delta T_{\text{ср}}$ по этой формуле даны в графе 3 таблицы.

Целесообразно далее выявить связь величин $\Delta T_{\text{ср}}$, найденных для разных типов углей значений, с их характеристиками. Для этого изучали связь $\Delta T_{\text{ср}}/a$ с такими характеристиками углей, как V^{r} , Др и $\mu_{\text{ср}}$. Наилучшие результаты получены для зависимости $\frac{\Delta T_{\text{ср}}}{a} = f(V^{\text{r}})$, которая представлена графически на рис. 2 и имеет вид

$$\frac{\Delta T_{\text{ср}}}{a} = 1,67 (V^{\text{r}})^{0,32}, \quad (4)$$

откуда, используя a из уравнения (1), получим

$$\Delta T_{\text{ср}} = 1670 \xi (V^{\text{r}})^{0,32}. \quad (5)$$

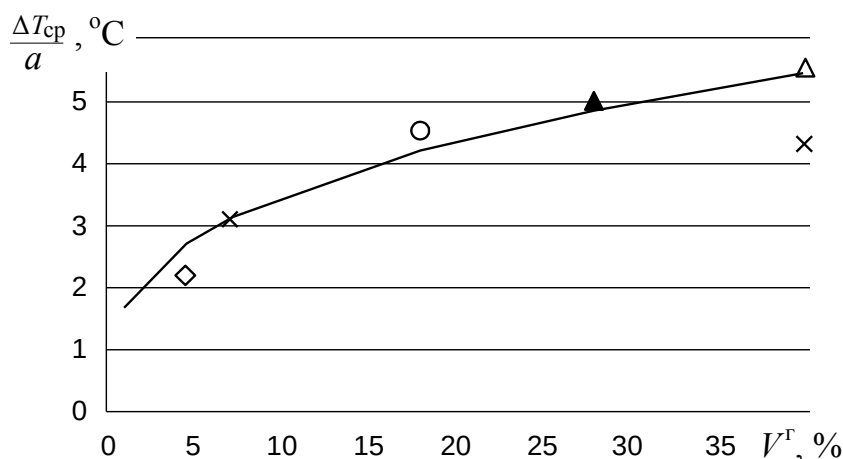


Рис. 2. Влияние объемной доли в углях горючих на снижение их температуры при дросселировании метана из углей

Так как с точки зрения расчета инкубационного периода самовозгорания угля имеет существенное значение продолжительность напорного выделения из него метана t_n , с, зависящая от характеристик угля ΔT , $^\circ\text{C}$, и теплового эффекта дросселирования $q_{др}$, Дж/моль, воспользуемся связью этих параметров, приведенному в работе [4] с учетом поправки на газоносность пласта δ , отличную от использованной в экспериментах и имеющую вид

$$q_{др} = \frac{\rho c_v T_0 \ln \left[(T_0 - \Delta T_{ср}) / T_0 \right]}{\delta J_{мн}}, \quad (6)$$

где D_p – дробимость угля;

$$J_i = G_0 \mu_{ср} \exp[-\mu_{ср} t_n], \quad (7)$$

где t_n – период времени окончания напорного истечения из угля метана, с;

G_0 – газоносность угля, моль/ м^3 ;

ρ_0 – плотность угля, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c_v – удельная теплоемкость угля, Дж/(кг·К);

T_0 – начальная (до сброса давления) температура угля, К;

δ – параметр, учитывающий отличие газоносности пласта от его значения в экспериментах.

Из приведенных выше данных видно, что все параметры, характеризующие уголь, известны по данным шахты, справочным таблицам или могут быть рассчитаны по предлагаемым формулам. Основным параметр t_n может быть найден из зависимости (6).

Так как параметр t_n входит в эту зависимость под знак экспоненты в формуле (7) для J_m и одновременно сомножителем с ней и поэтому не может быть выражен в явном виде, поступим следующим образом. Примем во

внимание, что при определенных пределах параметров экспоненциальные функции могут быть заменены алгебраическими и для нужного диапазона характеристик угля найдем соответствие между ними, т.е. определим ошибки расчетов для заданного диапазона $\mu_{\text{ср}}$ и $t_{\text{н}}$ в выражении

$$e^{-\mu_{\text{ср}} t_{\text{н}}} = \frac{1}{\mu_{\text{ср}} p t_{\text{н}} + 1}. \quad (8)$$

Используя данные [4] $30 \cdot 10^{-6}, \text{с}^{-1} > \mu_{\text{ср}} > 1 \cdot 10^{-6}, \text{с}^{-1}$ и $4 \cdot 10^{-5}, \text{с} > t_{\text{н}} > 0$, получим графические зависимости (рис. 3) для минимального $\mu_{\text{ср}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ и среднего его значения $\mu_{\text{ср}} = 15 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ и соответствующего им значения P , выражаемого зависимостью

$$P = 1 + 1 \cdot 10^{10} \mu_{\text{ср}}^2, \quad (9)$$

полученной аппроксимацией экспериментальных данных алгебраическими.

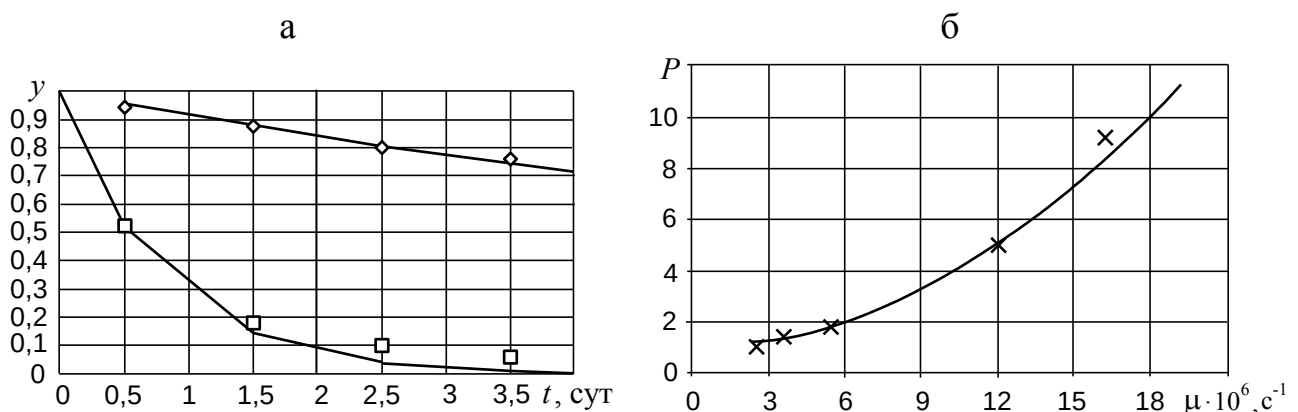


Рис. 3. Графические зависимости:

а – соответствие экспоненциальных (маркеры) и алгебраических зависимостей (9)

для значения $\mu = 1 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$; $15 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ при изменении t , сут;

б – изменение параметра P в зависимости от μ

Для подсчета ошибок при выполнении аппроксимации были найдены среднеинтегральные значения кривых по выражению (3) для заданного диапазона μ и t , показывающие их значения равными 0,82 и 0,85 при $\mu_{\text{min}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ и 0,033 и 0,039 при $\mu_{\text{max}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$. Для наиболее часто встречающегося диапазона μ от $4 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ до $20 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1}$ ошибки аппроксимации не превосходят 10 %.

Таким образом, в исследуемом случае, полагая допустимыми ошибки аппроксимации экспоненциальной функции алгебраической, перейдем к определению времени напорного выделения метана из угля.

Подставив полученное выражение (8) в зависимость (6), имеем

$$q_{др} = \frac{1}{\delta} \frac{\rho_{св} T_0 \ln \left[\frac{(T_0 - \Delta T_{ср})}{T_0} \right]}{\underbrace{G_0 \mu_{ср}}_M} \frac{1}{t_H / (\mu_{ср} P t_H + 1)}, \quad (10)$$

откуда искомая величина t_i , с, будет

$$t_H = \frac{M}{(q_{др} - \mu \mu_{ср} P / \delta) \delta}. \quad (11)$$

Для отыскания поправки δ воспользуемся данными экспериментов, приведенными в таблице, выразив ее по уравнению (10) в виде

$$\delta = \frac{M(\mu_{ср} P + t_H^{-1})}{q_{др}}. \quad (12)$$

Полученные после вычислений значения δ представлены в графе 7 таблицы. Аналитическое выражение параметра δ найдено в виде его зависимости от произведения $G_0 \mu_{ср}$, моль/(м³·с), изображено графически на рис. 4 и может быть описано формулой

$$\delta = 7,8(G_0 \mu_{ср})^{0,64}. \quad (13)$$

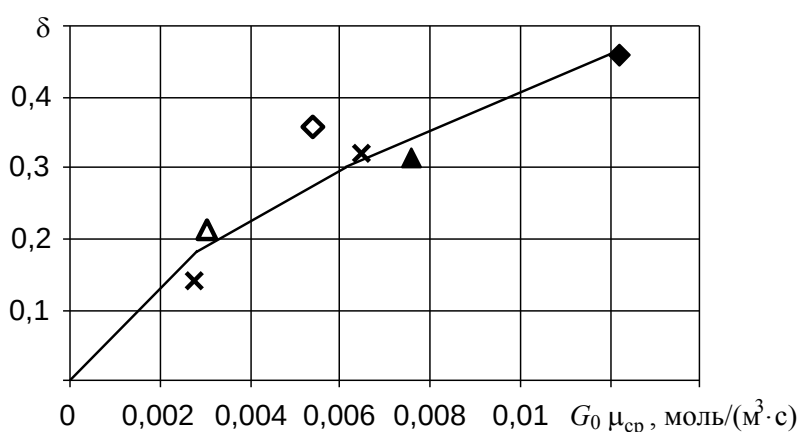


Рис. 4. Зависимость поправки δ на отклонение газоносности пластов углей от его значений в экспериментах

Подставляя выражение (13) в (10) и разрешая его относительно t_i , с, окончательно получим выражение для расчета времени напорного выделения метана по характеристике угля в виде

$$t_n = \frac{1}{q_{др}/N - \mu_{ср}P}, \quad (14)$$

$$\text{где } N = \frac{\rho_{св}T_0 \ln[(T_0 - \Delta T)/T_0]}{a(G_0\mu_{ср})^{1,64}}, \text{ Дж}\cdot\text{с/моль}; \quad (15)$$

$$a - \text{коэффициент размерности, равный } 1/\left(\frac{\text{МОЛЬ}}{\text{М}^2 \cdot \text{с}}\right)^{0,64}.$$

Вычисленные по этим зависимостям значения напорного выделения метана из углей по шахтам, приведенным в таблице, даны в графе 9. Анализ приведенных данных показывает, что запаздывание окислительных процессов в углях, связанное с напорным выделением из них метана, может быть от 0,5 до 7,5 суток, что на столько же увеличивает инкубационный период самовозгорания.

Выводы

На основании выполненных исследований по газовыделению из предварительно насыщенного метаном угля после сброса давления и измерения температур предложена аналитическая зависимость для расчета времени задержки процесса самоокисления углей разной степени углефикации. Это может иметь в ряде случаев существенное значение для расчета инкубационного периода самовозгорания углей.

Список литературы / References

1. Кошовский, Б.И. Определение инкубационного периода самовозгорания угля / Б.И. Кошовский, С.П. Греков, Я. Цыганкевич // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2000. – С. 104 – 108.

Koshovskiy, B.I., Grekov, S.P., Cygankiewicz, Ja. *Opredeleniye inkubatsionnogo perioda samovozgoraniya uglya* [Estimation of the incubation period of coal spontaneous combustion]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD* [Proc. of the NIIGD “Respirator” “Mine-rescue work”]. Donetsk, 2000, pp. 104 – 108.

2. Пашковский, П.С. Определение инкубационного периода самовозгорания угля / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.А. Шайтан // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2004. – С. 11 – 19.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P., Shaytan, I.A. *Opredeleniye inkubatsionnogo perioda samovozgoraniya uglya* [Estimation of the incubation period of coal spontaneous combustion]. *Gornospasatel'noye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD* [Proc. of the NIIGD “Respirator” “Mine-rescue work”]. Donetsk, 2004, pp. 11 – 19.

3. Пашковский, П.С. Влияние интенсивности выделения метана из отбитого угля на склонность к самовозгоранию / П.С. Пашковский, С.П. Греков // 10-я сессия Международного бюро по горной теплофизике «IBMT – 2005». – Гливице, Польша, 2005. – С. 73 – 86.

Pashkovskiy, P.S., Grekov, S.P. *Vliyaniye intensivnosti vydeleniya metana iz otbitogo uglya na sklonnost' k samovozgoraniyu* [Influence of the methane release intensity from the broken coal on liability to spontaneous combustion]. *10-ya sessiya Mezhdunarodnogo byuro po gornoy teplofizike "IBMT - 2005"* [The 10th session of the International bureau on mining thermal physics "IBMT – 2005"]. Gliwice, Poland, 2005, pp. 73 – 86.

4. Греков, С.П. Тепловой эффект дросселирования метана из отторгнутого от массива угля / С.П. Греков, А.А. Всякий, И.Г. Старикова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – № 2(56). – С. 88 – 94.

Grekov, S.P., Vsyakiy, A.A., Starikova, I.G. *Teplovoy effekt drosselirovaniya metana iz ottorgnutogo ot massiva uglya* [Thermal effect of the methane throttling from coal separated from the massif]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.- tekhn. zhurnal* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, no. 2 (56), pp. 88 – 94.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Г.П. Стариковым.
Дата поступления рукописи 18.05.2019

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

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

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

Aleksandr Aleksandrovich Vsyakiy, senior scientific associate; e-mail: sentyabr.eger@inbox.ru;

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

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-81

INFLUENCE OF METHANE RELEASE FROM COAL ON ITS TEMPERATURE REDUCTION

Purpose. Investigation of the temperature dynamics of coals with the various metamorphism intensity during the methane depressurization and calculation of duration of its pressure release period.

Methods. Experimental investigations under laboratory conditions and processing of analytical investigation results.

Results. The analytical dependences that describe the temperature dynamics of coals during the methane release from them and the period of its pressure release have been obtained.

Scientific novelty. The calculation dependences to compute the time of termination of the pressure methane release from coals and the beginning of oxidation processes in it have been suggested.

Practical value. It has been shown that the incubation period of the coals spontaneous combustion increases by 0.5...7.5 twenty-four hours period depending on the characteristic of coals.

Keywords: methane release; incubation period; temperature of coals; throttling; pressure.

УДК 622.281.74

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

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

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

УСТОЙЧИВОСТЬ АНКЕРА ПРИ УСТАНОВКЕ В ПОРОДНЫЙ МАССИВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Цель. Разработка математической и физической моделей устойчивости анкера большего диаметра, чем шпур, с использованием ударной нагрузки для обоснования нового способа закрепления породного массива горной выработки.

Методы. Теоретический метод исследований с использованием теории устойчивости, физического моделирования – динамического подобия Ньютона для определения устойчивости анкера при закреплении породного массива под действием ударной нагрузки.

Результаты. Получены зависимости для определения параметров анкера: длины, механических характеристик, ударной нагрузки с учетом коэффициента динамичности, времени (скорости) его установки в породный массив.

Научная новизна. Впервые разработаны математическая и физическая модели устойчивости анкера большего диаметра, чем шпур, при закреплении породного массива горных пород, а также нагрузки с учетом коэффициента динамичности, позволяющие определить его напряженно-деформированное состояние, а следовательно, устойчивость и прочность горных выработок, обеспечивающие значительное снижение затрат и безопасное ведение горных работ

Практическая значимость. Полученные результаты исследований позволяют выбрать тип и параметры пневматического отбойного молотка: мощность, количество ударов в секунду, нагрузку, обеспечивающие надежное закрепление породного массива, провести научно обоснованное моделирование в лабораторных условиях для подтверждения правомерности использования предлагаемого способа.

Ключевые слова: горная выработка; породный массив; анкер; шпур; устойчивость; ударная нагрузка.

Постановка проблемы. Угольная промышленность – одна из ведущих отраслей народного хозяйства, важнейшая задача которой в условиях рыночной экономики состоит, прежде всего, в повышении производительности труда и снижении себестоимости продукции. Интенсификация очистных работ, увеличение площади сечения выработок, постоянный рост глубины разработки привели к существенному ухудшению условий эксплуатации горных выработок. Большой резерв повышения эффективности работы шахт – совершенствование способов крепления и поддержания капитальных и подготовительных выработок, создание и широкое внедрение надежных и экономичных видов крепи. Перспективное направление в улучшении состояния выработок, как показывает опыт последних лет, связано с укреплением породного массива вокруг выработки и использование его несущей способности с помощью анкерной крепи, которая обеспечивает сокращение трудоемкости крепления, снижение затрат, улучшение условий труда и значительное повышение технико-экономических показателей добычи угля. Однако данные о травматизме

в угольной промышленности показывают, что до 30 % случаев при ведении подготовительных работ происходят в забойной части выработок из-за несвоевременной установки или отсутствия временного крепления.

Наибольшее распространение в условиях шахт Донецкого угольного бассейна получили сталеполимерные анкеры, технология установки которых и параметры крепи определяют действующие в отрасли нормативные документы. Однако до 50 % стоимости установки таких анкеров составляют затраты на ампулы с полимерными смолами, с помощью которых анкеры закрепляют в шпурах. В то же время перспективен способ установки анкера с большим диаметром, чем диаметр шпура, под действием динамической нагрузки ударного устройства.

Результаты анализа последних исследований и публикаций. В мировой практике применяют многочисленные безраспорные конструкции анкеров, такие, как винтовые анкеры «Сплит-Сет» и «Свеллекс», трубчатые взрывораспорные анкеры и т.д. [2]. Однако они не получили широкого применения в практике из-за необходимости изготовления анкеров из высокопрочных упругих сталей и дорогого оборудования для их установки. Предложенный в США способ установки анкеров с помощью вдавливания гидравлической установкой в породный массив [3] в промышленности не использовали по тем же причинам и из-за невозможности обеспечить необходимое пространственное расположение устанавливаемого анкера. В ДонНТУ предложен и запатентован способ установки стального анкера в направляющий шпур меньшего диаметра с помощью динамической нагрузки [4].

В работе [5] приведена математическая модель напряженно-деформированного состояния анкера большего диаметра, чем его направляющий шпур, при установке в породный массив с учетом волновых процессов.

Для проверки адекватности результатов теоретических исследований необходимо получить данные экспериментальных исследований.

Цель работы – создание математической и физической моделей установки в породный массив горной выработки угольной шахты анкера большего диаметра, чем шпур, при динамическом воздействии для обоснования его устойчивости, прочности и параметров ударного устройства.

Результаты исследований. При начальной нагрузке анкера ударным устройством и соединении его с более прочными породами возникает вопрос об определении таких параметрах анкера, как длина, диаметр, модуль упругости материала, предел прочности при сжатии, которые обеспечивают его устойчивость.

Критическую силу, при которой поступает потеря устойчивости, определяют из дифференциального уравнения изогнутой оси анкера с постоянной жесткостью [6]

$$\frac{d^4 U}{dx^4} + \alpha^2 \frac{d^2 U}{dx^2} = 0, \quad (1)$$

где

$$\alpha = \left(\frac{P}{EI} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

U – прогиб сечения с абсциссой x , м;

E – модуль упругости материала анкера, Н/м²;

I – момент инерции сечения анкера, м⁴;

P – продольная сила, Н;

x – координата, м.

Согласно формуле (2) критическая сила равна

$$P_{кр} = \frac{4\pi^2 EI}{(\mu l)^2}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент длины, зависящий от способа крепления концов анкера; примем его равным единице для расчетной схемы с граничными условиями: жесткое крепление в ударном устройстве и опора при входе анкера в массив горных пород;

l – длина анкера, м.

Формулой (3) можно пользоваться при условии, что гибкость анкера λ , определяемая выражением

$$\lambda = \frac{l}{(I/F)^{1/2}}, \quad (4)$$

удовлетворяет неравенству

$$\lambda \leq \pi \left(\frac{E}{\sigma_{\text{пц}}} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

где $F = \pi D^2/4$ – площадь сечения анкера, м²;

$\sigma_{\text{пц}}$ – предел пропорциональности (прочности на сжатие) материала анкера, МПа;

D – диаметр анкера, м.

Приведенные выше соотношения относятся к случаям потери устойчивости в упругой области, то есть справедливы при условии, что вплоть до достижения критического состояния максимальные напряжения не превышают предела пропорциональности материала.

Если условие (5) не выполняется, то потеря устойчивости анкера наступит при напряжениях, превосходящих его значение. В этом случае расчет на устойчивость анкера с первоначальной прямолинейной осью, критическое напряжение определяют по формуле Эйлера:

$$\sigma_3 = \pi^2 E / \lambda^2; \quad (6)$$

гибкость анкера определяют из выражения

$$\lambda = l / r_{\min}, \quad (7)$$

где $r_{\min}$ – наименьший радиус инерции поперечного сечения, м;

$$r_{\min} = \left(\frac{I_{\min}}{F} \right)^{1/2}, \quad (8)$$

$I_{\min}$ – наименьший момент инерции поперечного сечения анкера, м⁴.

Если

$$\sigma_3 > \sigma_{\text{пц}}, \quad (9)$$

то потеря устойчивости происходит за пределами пропорциональности.

Для исследований потери устойчивости анкера рассмотрим вариант исходных его данных, при которых она возможна, то есть максимальная длина $\ell = 1,6$ м; минимальный диаметр $D = 22,5$ мм; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа (для стали).

Используя вышеприведенные зависимости, получим: $P_{\text{кр}} = 4$ кН; $\lambda = 22,6$;

$$\pi \left(\frac{E}{\sigma_{\text{пц}}} \right)^{1/2} = 68,5, \text{ то есть условие (5) выполнено.}$$

В данном случае, используя зависимость (6), получим значение напряжения $\sigma_3 = 390$ МПа, которое незначительно отличается от напряжения пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = 420$ МПа. Это говорит о том, что при вышеприведенных исходных данных геометрических параметров и меньших значениях модуля упругости E материала анкера может произойти потеря его устойчивости за пределами пропорциональности.

Приведем критерии подобия физического моделирования устойчивости анкера при установке в породный массив.

В данном случае необходимо выполнить геометрическое и механическое подобие при установке анкера в шпур с учетом действия динамической нагрузки.

Обозначим индексом 1 параметры модели, индексом 2 – натуре.

Геометрическое подобие имеет вид

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{d_1}{d_2} = C_e, \quad (10)$$

где C_e – множитель подобия.

Приведем уравнение (1) к безразмерному виду, введя масштабные преобразования:

$$U = l\bar{U}; \quad x = l\bar{x}. \quad (11)$$

Подставив зависимость (11) в (1), получим

$$\frac{d^4\bar{U}}{l^3 d\bar{x}^4} + \frac{\alpha^2 d^2\bar{U}}{l d\bar{x}^2} = 0. \quad (12)$$

Умножим левую и правую части уравнения (12) на l^3 . Тогда

$$\frac{d^4\bar{U}}{d\bar{x}^4} + \alpha^2 l^2 \frac{d^2\bar{U}}{d\bar{x}^2} = 0. \quad (13)$$

Используя зависимость (2), получим

$$\lambda^2 l^2 = \frac{Pl^2}{EI}. \quad (14)$$

Условие механического подобия примет вид

$$\frac{P_1 l_1^2}{E_1 I_1} = \frac{P_2 l_2^2}{E_2 I_2}. \quad (15)$$

Отсюда определим силу, которую необходимо приложить к модельному образцу:

$$P_1 = P_2 \frac{l_2^2 I_1}{l_1^2 I_2}. \quad (16)$$

При масштабе 1:10 $C_e = 0,1$; $l_1 = 0,1 l_2$.

Моменты инерции для круглого сечения модели и натуре определяют по зависимостям

$$I_1 = \pi d_1^4 / 64; \quad I_2 = \pi d_2^4 / 64.$$

С учетом масштаба получим, что $I_1 = 10^{-4} I_2$.

Тогда выражение (16) примет вид

$$P_1 = 10^{-2} P_2. \quad (17)$$

В нашем случае на анкер действует динамическая нагрузка. Определим время и скорость установки анкера в породный массив.

Из второго закона механики Ньютона для двух механических систем (модели и натуры) следует [7]

$$P_1 = m_1 a_1; \quad P_2 = m_2 a_2, \quad (18)$$

где m – масса анкера, кг;

a_1, a_2 – ускорение движения анкера, м/с.

Приведем эти уравнения с помощью масштабных преобразований к безразмерному виду.

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= p_{1,0} P_1; \quad p_2 = p_{2,0} P_2; \\ m_1 &= m_{1,0} M_1; \quad m_2 = m_{2,0} M_2; \\ a_1 &= a_{1,0} A_1; \quad a_2 = a_{2,0} A_2. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Подставляя выражения (19) в (18), получим

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{p_{1,0}}{m_{1,0} a_{1,0}} \right) P_1 &= M_1 A_1; \\ \left(\frac{p_{2,0}}{m_{2,0} a_{2,0}} \right) P_2 &= M_2 A_2. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Уравнения (20) будут тождественно одинаковыми в том случае, если коэффициенты в скобках равны между собой. Тогда

$$\left(\frac{p_{2,0}}{m_{2,0} a_{2,0}} \right) = \left(\frac{p_{1,0}}{m_{1,0} a_{1,0}} \right); \quad \frac{p_{1,0}}{p_{2,0}} = \frac{m_{1,0} a_{1,0}}{m_{2,0} a_{2,0}} \quad (21)$$

или

$$C_p = C_m C_a. \quad (22)$$

Выражая массу анкера через объем и плотность, а ускорение – линейные размеры и время возьмем из уравнения (21), получим

$$\frac{p_{1,0}\tau_{1,0}^2}{\rho_{1,0}l_{1,0}^4} = \frac{p_{2,0}\tau_{2,0}^2}{\rho_{2,0}l_{2,0}^4} = \frac{p\tau^2}{\rho l^4} = idem \text{ (идентично)} \quad (23)$$

или

$$\frac{C_p C_\tau^2}{C_\rho C_l^4} = 1; \quad \frac{C_p}{C_\rho C_l^2 C_v^2} = 1. \quad (24)$$

Следовательно, для обеспечения динамического подобия должны соблюдаться условия (24) между множителями подобия.

Учитывая, что плотность модели и натуры одинаковая, для определения времени установки анкера получим

$$\tau_{1,0} = 0,1 \tau_{2,0}. \quad (25)$$

При физическом моделировании будут использованы данные, приведенные в таблице.

Диапазон изменения исходных данных экспериментальных исследований устойчивости модели

Анкер				Шпур	
Длина l , мм	Диаметр D , мм	Модуль упругости E , МПа	Предел пропорциональ- ности (сталь 5) $\sigma_{пл}$, МПа	Длина l_1 , мм	Диаметр d , мм
130...160	2,25...3,10	$2 \cdot 10^5$	420	150...180	2,2...3,0

Таким образом, полученные результаты теоретических исследований, а также в дальнейшем – данные физического моделирования установки анкера большего диаметра, чем диаметр шпура, в породный массив, позволят обосновать их параметры, обеспечивающие снижение затрат при ведении горных работ, повышение устойчивости выработок и безопасность горнорабочих.

Выводы

1. Разработаны математическая и физическая модели устойчивости анкера большего диаметра, чем шпур, при его установке в породный массив с воздействием на анкер динамической нагрузки.

2. Полученные результаты исследований позволяют выбрать параметры анкера при его установке в породный массив, шпура и ударного устройства, что повысит безопасность ведения горных работ, снизит затраты и обеспечит устойчивость выработок.

Список литературы / References

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

Bulat, A.F., Vinogradov, V.V. *Oporno-ankernoye krepleniye gornykh vyrabotok ugol'nykh shakht* [Supporting anchoring of mine workings of coal mines]. Dnepropetrovsk, Vil'po Publ., 2010, 372 p.

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

Shirokov, A.P. *Teoriya i praktika primeneniya ankernoy krepri* [Theory and practice of the use of a roof bolting]. Moscow, Nedra Publ., 2012, 381 p.

3. Анкерное крепление на шахтах Кузбасса и дальнейшее его развитие / А.В. Ремезов и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2006. – 471 с.

Remezov, A.V. et al. *Ankernoye krepleniye na shakhtakh Kuzbassa i dal'neysheye yego razvitiye* [Anchoring at the mines of the Kuznetsk Basin and its further development]. Kemerovo, Kuzbasvuzizdat Publ., 2006, 471 p.

4. Пат. 55763 Україна, МПК Е 21 D 20/00. Способ установки анкера / Н.Н. Касьян, А.О. Новиков, Ю.А. Петренко, П.С. Дрипан, И.Н. Шестопалов, С.Ю. Гладкий, Д.Д. Выговский / заявитель и патентообладатель Донецкий национальный технический университет. – № u200901503; заявл. 23.02.2009; опубл. 25.06.2009; бюл. № 12. – 6 с.

Kas'yan, N.N., Novikov, A.O., Petrenko, Yu.A., Dripan, P.S., Shestopalov, I.N., Gladkiy, S.Yu., Vygovskiy, D.D. *Sposob ustanovki ankera* [Method of roof-bolt setting]. Patent Ua, no. u200901503, 2009.

5. Новиков, А.О. Математическая модель установки анкера в породный массив под нагрузкой / А.О. Новиков, П.С. Дрипан // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2018. – № 3(55). – С. 91 – 101.

Novikov, A.O., Dripan, P.S. *Matematicheskaya model' ustanovki ankera v porodnyy massiv pod nagruzkoj* [The mathematical model of penetration of an anchor into the massif under load]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2018, no. 3(55), pp. 91 – 101.

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

Borshchevskiy, S.V., Kalyakin, S.A., Labinskiy, K.N., Mariychuk, I.F. et al. *Modelirovaniye fizicheskikh protsessov v gornom proizvodstve* [Modeling of physical processes in the mining practice]. Donetsk, Knowledge Publ., 2016, 250 p.

7. Основы моделирования геомеханических процессов / под общей ред. И.А. Ефремова и И.Ф. Марийчука. – Донецк: Ноулидж, 2012. – 263с.

Yefremov, I.A., Mariychuk, I.F., eds. *Osnovy modelirovaniya geomekhanicheskikh protsessov* [Principles of modeling the geomechanical processes]. Donetsk, Knowledge Publ., 2012, 263 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Ю.А. Петренко.
Дата поступления рукописи 02.05.2019

Pavel Sergeyevich Dripan, senior lecturer; e-mail: dripanps@mail.ru
The State Educational Institution of Higher Occupational Education
“The Donetsk National Technical University”
283001, Donetsk, 58, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 301-03-09

ANCHOR STABILITY DURING THE SETTING INTO A ROCK MASSIF UNDER THE IMPACT OF A DYNAMIC LOAD

Purpose. Design of the mathematical and physical models of the stability of an anchor of a bigger diameter than a borehole with the use of an impact load for substantiation of a new method of fastening the rock massif of a mine working.

Methods. The theoretical method of investigations with the application of stability theory, physical modeling, i.e. Newton dynamic similarity, to determine the anchor stability during fastening the rock massif under the influence of the impact load.

Results. The dependences for calculation of the anchor parameters, i.e. length, mechanical characteristics, impact load, with due regard for dynamic magnification factor, time (velocity) of its setting into the rock massif have been obtained.

Scientific novelty. The mathematical and physical models of the stability of the anchor of the bigger diameter than the borehole by fastening the rock massif of the strata as well as those ones of the loads with due regard for the dynamic magnification factor permitting to determine its deflected mode and therefore the stability and strength of the mine workings that ensure the considerable cost reduction and the safe mining have been worked out for the first time.

Practical value. The obtained investigation results will allow choosing the type and parameters of a pneumatic peak, i.e. capacity, number of strokes per second, load ensuring the robust fastening of the rock massif, will permit to carry-out the scientifically grounded modeling under laboratory conditions to substantiate legitimacy of the use of the suggested method.

Keywords: mine working; rock massif; anchor; borehole; stability; impact load.

II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК [547.53:543-414]:662.613.1; [547.53-414]:674.823; [547.53:543-414]:552.578.1

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

Алексей Андреевич Козлитин; нач. отд.; e-mail: kozlitin1942@mail.ru;

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

Оксана Николаевна Щербакова, инж. I кат.; e-mail: astra-jasmin@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артёма, 157. Тел. (+38062) 332-78-55*

СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ И КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Цель. Исследование и оценка сорбционной способности промышленных отходов предприятий различных отраслей промышленности, каменных углей разных марок с целью выбора наиболее перспективных материалов для применения в качестве сорбентов при ликвидации последствий аварийных разливов химически опасных веществ.

Методы. Гравиметрический эксикаторный метод определения сорбционной парофазной емкости материалов в статических условиях и адсорбционный метод с применением газовой хроматографии в динамических условиях эксперимента с последующей математической обработкой экспериментальных данных методом Глюкауфа.

Результаты. Определена статическая и динамическая сорбционная парофазная емкость образцов кокса, металлургического и котельного шлака, золошлака, золы-уноса, зольных алюмосиликатных микросфер, древесных опилок, образцов каменного угля шести марок. Установлено, что максимальной сорбционной парофазной емкостью по бензолу в статических условиях эксперимента обладают котельный шлак, древесные опилки и длиннопламенный газовый уголь. В динамических условиях эксперимента лучше всего поглощают пары бензола котельный шлак, зольные алюмосиликатные микросферы, газовый и длиннопламенный газовый уголь.

Научная новизна. Впервые изучена статическая и динамическая сорбционная парофазная емкость каменных углей разных марок, промышленных отходов предприятий Донецкого региона по отношению к одному из аварийно химически опасных веществ – бензолу.

Практическая значимость. Результаты исследований показали, что длиннопламенный газовый уголь, котельный шлак, а также древесные опилки можно использовать в качестве дешевых углеродных сорбентов для локализации зоны разлива и снижения времени испарения химически опасных веществ в окружающую среду при авариях техногенного характера. Вовлечение недорогих и доступных материалов значительно расширит сырьевую базу для получения сорбентов без использования существенно более дорогих активированных углей и полимерных сорбентов.

Ключевые слова: адсорбционный метод; бензол; зола-унос; зольные микросферы; каменный уголь; древесные опилки; сорбционная парофазная емкость; котельный шлак; эксикаторный метод.

Постановка проблемы. Высока вероятность риска аварий, а также осуществления террористических актов на химически опасных объектах и различного вида транспорте, сопровождающихся выбросами или разливами опасных химических веществ: аммиака, хлора, бензола и др.

Ликвидация аварийных разливов химически опасных веществ предусматривает мероприятия по локализации зоны разлива и снижению времени испарения паров химически опасных веществ с поверхности разлива, а также с загрязненного в результате аварии участка местности. Один из наиболее применимых способов локализации и снижения времени испарения паров химически опасных веществ с поверхности разлива в окружающую среду заключается в засыпке аварийной зоны разлива сорбентами.

В настоящее время широкое применение нашли сорбенты на основе активированного угля и полимерные сорбенты разных марок, которые отличаются друг от друга принципом действия и сорбционной емкостью. Однако сорбенты на основе активированных углей и синтетические полимерные сорбенты для ликвидации масштабных аварийных разливов химически опасных веществ нерентабельны ввиду их высокой стоимости и дефицита.

В связи с этим возникает необходимость разработки доступных природных сорбентов для ликвидации масштабных аварийных разливов химически опасных веществ. Один из путей решения обозначенной проблемы состоит в использовании богатой сырьевой базы Донецкого региона для исследования имеющихся природных материалов, промышленных отходов предприятий различных отраслей промышленности и выбора наиболее перспективных материалов для получения доступных сорбентов.

Анализ последних исследований. Из литературных источников [1, 2] известно о применении углеродных сорбентов для решения широкого круга экологических проблем. Авторы работы [3] считают, что главный этап ликвидационных мероприятий при разливах токсичных веществ – непосредственный сбор пролитых веществ с использованием поглощающих материалов.

Поиску оптимального сорбента нефтепродуктов на основе отходов различных областей промышленности посвящены современные научные исследования [4, 5]. Однако проблеме изучения и разработки дешевых, недефицитных сорбентов для ликвидации масштабных разливов химически опасных веществ в результате аварий техногенного характера не уделяется должного внимания.

Поэтому исследование сорбционной емкости каменных углей разных марок, промышленных отходов предприятий и разработка на их основе доступных сорбентов – актуальная научная проблема с экологической, экономической и технологической точки зрения.

Цель работы – сравнительные исследования сорбционной емкости каменного угля различных марок, кокса, шлака котельного и металлургического, золошлака, золы-уноса, зольных алюмосиликатных микросфер, опилок древесных для оценки сорбционных свойств и выбора наиболее перспективных материалов в качестве сорбентов для ликвидации последствий аварий, связанных с разливами химически опасных веществ.

Изложение основного материала. Основной характеристикой поглощающей способности материала служит сорбционная емкость. Сорбционная емкость – количественная характеристика насыщения вследствие физико-химических процессов поглощения единицей массы пористого материала (сорбента) жидкой и паровоздушной фазы вещества. Сравнение сорбционной емкости служит обоснованием выбора наиболее эффективных материалов в качестве сорбентов, которые могут применяться для ликвидации последствий аварий, связанных с разливами химически опасных веществ.

Статическая сорбционная емкость разных пористых материалов к жидкой фазе бензола с использованием ускоренного и продолжительного гравиметрического метода изучена в работе [6].

Значение парофазной сорбции как дополнительного вклада в увеличение суммарной сорбционной емкости материала необходимо учитывать при выборе наиболее эффективных сорбентов. Из этих соображений в настоящей работе исследована сорбционная парофазная емкость образцов различных пористых материалов.

С целью выбора более перспективных материалов для поглощения аварийно химически опасных веществ исследованы образцы каменного угля шести марок: А (антрацит), Г (газовый), ДГ (длиннопламенный газовый), ЖК (жирный коксовый), К (коксовый) и Т (тощий) шахт Донецкого угольного бассейна, кокс и промышленные отходы предприятий металлургической, энергетической и деревообрабатывающей промышленности: шлак отвальный металлургический, шлак котельный, золошлак, зола-унос, зольные алюмосиликатные микросферы и опилки древесные.

Выбор промышленных отходов предприятий в качестве объектов исследования обусловлен:

- экологическим фактором – утилизация промышленных отходов позволит освободить ценные земельные угодья, занимаемые под отвалы, устранить вредные выбросы в окружающую среду при открытом и длительном хранении промышленных отходов и тем самым улучшить экологическое состояние региона;

- экономическим фактором – промышленные отходы предприятий не утилизируются в полном объеме в рамках потребительских циклов региона;

- технологическим фактором – предприятия угольной, углеперерабатывающей, коксохимической, деревообрабатывающей отраслей промышленности представлены во многих городах Донецкого региона, именно поэтому каменный уголь и промышленные отходы производств можно рассматривать с точки зрения накопления исходного сырья с целью получения природных сорбентов для ликвидации последствий разливов аварийно химически опасных веществ.

Для оценки сорбционных свойств исследуемых материалов в качестве образцов сравнения взяты образцы двух марок угля активированного промышленного производства – СКТ (синтезированный из торфа) и АГН (на

основе каменного угля), которые обладают высокой сорбционной емкостью по органическим веществам.

Из широкого круга аварийно химически опасных веществ для исследований выбран бензол как вещество, находящееся в наибольших количествах на химически опасных объектах Донецкого региона. Кроме того, пары бензола как неполярного углеводорода используют в качестве стандартного вещества при исследовании сорбционных свойств гидрофобных углеродных сорбентов [4].

Подготовка образцов для исследований включала предварительное дробление, измельчение и отсеивание целевой фракции 0,315...0,500 мм.

Размер целевой фракции установлен как оптимальный на основании результатов предварительных исследований пористых материалов по пяти фракциям с разными размерами частиц: крупной 1...2 мм; 2...3 мм; средней 0,315...0,500 мм; 0,5... 1,0 мм и мелкой 0,250...0,315 мм. Для получения сопоставимых результатов образцы исследуемых материалов предварительно высушивали до постоянной массы.

Сорбционную парофазную емкость подготовленных образцов определяли в разных условиях эксперимента – в статических условиях эксикаторным методом и в динамических условиях в потоке газа-носителя (гелия) адсорбционным методом с применением газовой хроматографии.

Сущность эксикаторного метода заключается в приведении предварительно высушенных до постоянной массы образцов материалов к равновесному состоянию в паровоздушной среде бензола замкнутого объема эксикатора с последующим определением сорбционной емкости путем взвешивания образцов.

Равновесное состояние насыщенных паров бензола в закрытом эксикаторе устанавливали по прекращению изменения массы оставшегося в чаше жидкого бензола. Установившееся равновесное давление паров бензола в закрытом эксикаторе достигалось в течение 18 ч при температуре окружающей среды.

Для параллельных измерений в эксикатор помещали по три образца каждого исследуемого материала и бензол в открытой чаше. После выдержки образцов в парах бензола в закрытом эксикаторе в течение 18 ч определяли абсолютное увеличение массы навески каждого материала Δm , мг.

Статическую сорбционную парофазную емкость a каждого материала рассчитывали по формуле

$$a = \Delta m / m_0, \quad (1)$$

где m_0 – исходная масса навески материала, г.

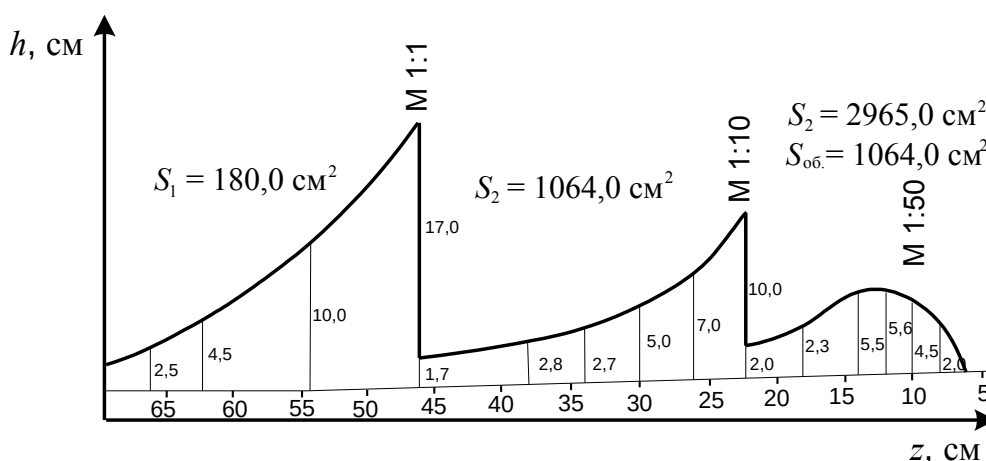
Наибольшие значения сорбционной парофазной емкости в статических условиях эксперимента достигнуты для двух образцов шлака котельного, опилок древесных хвойных пород и угля длиннопламенного газового (табл. 1).

Таблица 1

Значения статической сорбционной парофазной емкости материалов

Материал, место отбора	Статическая сорбционная парофазная емкость по бензолу $a \cdot 10^{-3}$
Уголь тощий, пласт k_5 , шахта № 22 «Коммунарская»	5
Уголь газовый, пласт l_6 , шахта «Белореченская»	9
Уголь коксовый, пласт l_1^B , шахта «Щегловская-Глубокая»	4
Уголь длиннопламенный газовый, пласт l_1 , шахта им. Челюскинцев	27
Уголь жирный коксовый, шахта им. А.А. Скочинского	6
Уголь марки А (антрацит), шахта «Прогресс»	1
Шлак отвальный металлургический, Донецкий металлургический завод	4
Шлак котельный (образец № 1), котельная Донецка	21
Шлак котельный (образец № 2), котельная Донецка	18
Кокс, ПАО «Ясиновский коксохимический завод» (Макеевка)	2
Зола-унос, Зуевская ТЭС	1
Зола-унос, Старобешевская ТЭС	2
Золошлак, Зуевская ТЭС	12
Золошлак, Старобешевская ТЭС	4
Зольные алюмосиликатные микросферы, Старобешевская ТЭС	3
Опилки древесные, отходы деревообработки	61
Уголь активированный СКТ (образец для сравнения)	287
Уголь активированный АГН (образец для сравнения)	173

Сорбционную парофазную емкость материалов в динамических условиях эксперимента определяли адсорбционным методом с применением газовой хроматографии на лабораторной установке для определения динамической сорбции твердых материалов. Основными узлами этой установки являются модернизированный портативный газовый хроматограф и электронный потенциометр. В динамических условиях эксперимента для каждого материала получены интегральные кривые сорбции паров бензола (см. рисунок).



Интегральная кривая сорбции паров бензола образцом каменного длиннопламенного газового угля

Исходные данные для расчета сорбционной парофазной емкости в динамических условиях эксперимента получены в результате обработки интегральной кривой сорбции для каждого исследуемого материала.

Сорбционную парофазную емкость рассчитывали методом Глюкауфа по основному уравнению, полученному из материального баланса хроматографического процесса с допущением о мгновенном установлении сорбционного равновесия:

$$a = \frac{K\omega}{mq} \int_0^h (z_h - z_0) dh = \frac{K\omega}{mq} S_{\text{адс}}, \quad (2)$$

где a – сорбционная парофазная емкость материала, $\text{см}^3/\text{г}$;
 K – калибровочная константа детектора, $\text{ммоль} \cdot \text{см}^{-4}$;
 ω – объемная скорость газа-носителя, $\text{см}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$;
 m – масса навески материала, г;
 q – скорость движения диаграммной ленты, $\text{см} \cdot \text{мин}^{-1}$;
 $z_h - z_0$ – расстояние на диаграммной ленте потенциометра от момента выхода газа-носителя с определенной концентрацией бензола до соответствующего отклонения h , см;
 h – отклонение пера потенциометра от нулевой линии, см;
 $S_{\text{адс}} = \int_0^h (z_h - z_0) dh$ – площадь, определяемая на диаграммной ленте потенциометра между осью h и интегральной кривой сорбции бензола, см^2 .

Калибровочную константу детектора вычисляли по формуле

$$K = \frac{m_a q}{S_{\text{пика}} \omega}, \quad (3)$$

где m_a – количество введенного в хроматограф бензола, см^3 ;
 $S_{\text{пика}}$ – площадь пика под всей выходной интегральной кривой сорбции, вычисляемой методом трапеции, см^2 .

Подставив формулу (3) в уравнение (2), получили упрощенную формулу для определения количества бензола, поглощенного 1 г исследуемого материала, т.е. сорбционную парофазную емкость, по полученной интегральной кривой сорбции на диаграммной ленте (табл. 2):

$$a = \frac{m_a S_{\text{адс}}}{m S_{\text{пика}}} \quad (4)$$

Таблица 2

Значения динамической сорбционной парофазной емкости материалов

Материал, место отбора	Динамическая сорбционная парофазная емкость по бензолу $a \cdot 10^{-3}$, см ³ /г
Уголь тощий, пласт k_5 , шахта № 22 «Коммунарская»	2,0
Уголь газовый, пласт l_6 , шахта «Белореченская»	3,4
Уголь коксовый, пласт l_1^B , шахта «Щегловская-Глубокая»	2,1
Уголь длиннопламенный газовый, пласт l_1 , шахта им. Челюскинцев	3,3
Уголь жирный коксовый, шахта им. А.А. Скочинского	1,6
Уголь марки А (антрацит), шахта «Прогресс»	0,8
Шлак отвалный металлургический, Донецкий металлургический завод	0,8
Шлак котельный (образец № 1), котельная Донецка	6,2
Шлак котельный (образец № 2), котельная Донецка	12,9
Кокс, ПАО «Ясиновский коксохимический завод» (Макеевка)	1,7
Зола-унос, Зуевская ТЭС	2,1
Зола-унос, Старобешевская ТЭС	1,5
Золошлак, Зуевская ТЭС	0,9
Золошлак, Старобешевская ТЭС	1,0
Зольные алюмосиликатные микросферы, Старобешевская ТЭС	4,1
Опилки древесные, отходы деревообработки	0,9
Уголь активированный СКТ (образец для сравнения)	117,3
Уголь активированный АГН (образец для сравнения)	98,7

Из данных табл. 2 следует, что наибольшую динамическую сорбционную парофазную емкость имеют два образца котельного шлака, зольные алюмосиликатные микросферы, газовый и длиннопламенный газовый уголь.

Необходимо отметить, что все исследованные образцы материалов не достигли сорбционной парофазной емкости образцов сравнения – активированного угля СКТ и АГН в одинаковых условиях эксперимента.

Значения сорбционной парофазной сорбции исследуемых материалов можно рассматривать как дополнительный вклад в сорбционную емкость жидкой фазы бензола, изученную в работе [6].

Выводы. Впервые исследована сорбция паров бензола образцами различных материалов в статических и динамических условиях эксперимента. Установлено, что наибольшие значения сорбционной паровфазной емкости по парам бензола имеют древесные опилки, котельный шлак и длиннопламенный газовый уголь.

В отличие от дефицитных дорогостоящих активированных углей и полимерных сорбентов, котельный шлак, древесные опилки и длиннопламенный газовый уголь можно рекомендовать как сырье для получения экономически выгодных сорбентов при ликвидации последствий масштабных аварийных разливов химически опасных веществ на химически опасных объектах и транспорте.

Список литературы / References

1. Определение сорбционной способности различных сорбентов по отношению к 5-оксиметилфурфуролу и родственным соединениям / Д.В. Компанцев, Э.Ф. Степанова, Л.П. Мыкоц и др. // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. – 2012. – № 10(129), вып. 18/3. – С. 34 – 39.

Kompantsev, D.V., Stepanova, E.F., Mykots, L.P. et al. *Opredeleniye sorbtzionnoy sposobnosti razlichnykh sorbentov po otnosheniyu k 5-oksimetilfurfuroлу i rodstvennym soyedineniyam* [Determination of the sorption ability of various sorbates with regard to 5-(hydroxymethyl)furfurol and analogous species. *Nauchnyye vedomosti BelGU. Meditsina. Farmatsiya* [Scientific vedomosti of the BelGU. Series:Medicine. Pharmacy]. 2012, no. 10(129), issue 18/3, pp. 34 – 39.

2. Сорбционная способность природных сорбентов / С.В. Беленова, В.И. Вигдорович, Н.В. Шель и др. // Вестник ТГУ. – 2015. – Т. 20, вып. 2. – С. 388 – 396.

Belenova, S.V., Vigdorovich, V.I., Shel', N.V. et al. *Sorbtsionnaya sposobnost' prirodnikh sorbentov* [Sorption ability of natural sorbates]. *Vestnik TGU* [Bulletin of the TGU]. 2015, vol. 20, issue 2, pp. 388 – 396.

3. Термодинамика сорбции токсичных компонентов органической природы из растворов на твердых сорбентах / Ф.Т. Махмудов, М.А. Рагимли, С.А. Алиева и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 338 – 345.

Makhmudov, F.T., Ragimli, M.A., Aliyeva, S.A. et al. *Termodinamika sorbtsii toksichnykh komponentov organicheskoy prirody iz rastvorov na tvyerdykh sorbentakh* [Thermodynamics of sorption of organic toxic components from solutions on solid sorbates]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy – Sorption and chromatographic processes*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 338 – 345.

4. Исследование пористой структуры активного угля из рисовой шелухи / Тху Аунг Си, Вин Мьинт Со, В.Н. Клушин, А.В. Нистратов и др. //

Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 102 – 109.

Thu Aung Si, Win Myint Saw, Klushin, V.N., Nistratov, A.V. et al. *Issledovaniye poristoy struktury aktivnogo uglya iz risovoy shelukhi* [Investigation of the porous structure of activated carbon from rice husks]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy – Sorption and chromatographic processes*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 102 – 109.

5. Сорока, М.Л. Применение текстильных отходов в качестве сорбентов для ликвидации разливов нефтепродуктов на транспорте / М.Л. Сорока, Л.А. Ярышкина // Автомобильный транспорт. – 2012. – Вып. 31. – С. 129 – 135.

Soroka, M.L., Yaryshkina, L.A. *Primeneniye tekstil'nykh otkhodov v kachestve sorbentov dlya likvidatsii razlivov nefteproduktov na transporte* [Use of textile waste as sorbates for elimination of oil products spill in transport]. *Avtomobil'nyy transport – Automobile transport*, 2012, issue 31, pp. 129 – 135.

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

Agarkov, An.V., Kozlitin, A.A., Lebedeva, V.V. Shcherbakova, O.N. *Sposobnost' poristyykh materialov pogloshchat' avariyno khimicheski opasnyye veshchestva* [Ability of porous materials to absorb chemically hazardous substances conductive to accidents]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator"]. Donetsk, 2019, no. 1(56), pp. 94 – 99.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым.
Дата поступления рукописи 15.05.2019

Andrey Viktorovich Agarkov, applicant; e-mail: mchs-dnr@mail.ru;

Aleksey Andreyevich Kozlitin, head of department; e-mail: kozlitin1942@mail.ru;

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

Oksana Nikolayevna Shcherbakova, engineer of the 1st category; e-mail: astra-jasmin@mail.ru

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

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

SORPTION ABILITY OF INDUSTRIAL WASTE AND HARD COALS

Purpose. Investigation and evaluation of the sorption ability of the industrial waste produced by enterprises of various industries and the hard coals of different ranks in order to choose the most perspective materials for the application as sorbates during the mitigation of the accidental spills of chemically hazardous substances.

Methods. The gravimetric exsiccator method for determination of the sorption vapor-phase capacity of the materials under static conditions and the adsorption method with the application of the gas chromatography under dynamic conditions of the experiment with the following mathematical processing of the experimental data by the Glueckauf method.

Results. The static and dynamic sorption vapor-phase capacity of coke, metallurgical slag and engine ash, ash-and-slad, fly-ash, ash silica-alumina microspheres, sawdust, coal samples of six ranks has been determined. It has been established that the maximum sorption vapor-phase capacity according to benzene possess engine ash, sawdust and long gas flaming coal under static conditions of the experiment. The vapors of benzene are absorbed by engine ash, ash silica-alumina microspheres, gas and long gas flaming coal under dynamic conditions of the experiment best of all.

Scientific novelty. For the first time the static and dynamic sorption vapor-phase capacity of various ranks of hard coals, industrial waste of the Donetsk region enterprises have been studied towards benzene, i.e. one of the chemically hazardous substances.

Practical value. The results of the investigations have shown that long gas flaming coal, engine ash as well as sawdust may be used as inexpensive carbonic sorbates for localization of the spill zone and lowering the time of evaporation of the chemically hazardous substances into the environment during man-caused accidents.

The involvement of inexpensive and available materials will considerably expand the raw materials base for production of the sorbates without use of the appreciably more expensive absorbent carbons and polymeric sorbates.

Keywords: *adsorption method; benzene; fly ash; ash silica-alumina microspheres; hard coal; saw dust; sorption vapor-phase capacity; engine ash; exsiccator method.*

УДК 614.84:355.58

Николай Юрьевич Чубучный, директор департамента МЧС ДНР; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР

283050, Донецк, ул. Щорса, 60. Тел. (+38 062) 340-62-28;

Елена Ивановна Добрякова, ведущий инж.; e-mail: kdom100@mail.ru

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

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-44

СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРАВИЛАМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель. Исследовать систему обучения населения правилам пожарной безопасности, выделить существующие противоречия и пути решения проблем.

Методика. Аналитические исследования системы обучения населения правилам пожарной безопасности путем применения системного анализа.

Результаты. На основе анализа определены цели создания системы обучения населения правилам пожарной безопасности.

Научная новизна. В ходе анализа информации о системе обучения правилам пожарной безопасности в Донецкой Народной Республике выделены существующие противоречия в сформированной системе обучения и количестве пожаров из-за человеческого фактора как следствия низкого качества обучения. Определена проблема в сбое передачи информации о мерах пожарной безопасности от ее носителя до конечного потребителя.

Практическая значимость. Повышение уровня знаний населения по вопросам пожарной безопасности и осознанности применения этих знаний человеком является наиболее экономически целесообразным путем сохранения жизни людей и имущества от пожаров. Изучение взаимосвязи системы обучения населения правилам пожарной безопасности как функции элементов системы обеспечения пожарной безопасности с уровнем знаний правил пожарной безопасности каждого гражданина позволит обеспечить своевременное корректирование форм и методов обучения.

Ключевые слова: пожар; обучение населения; правила пожарной безопасности; психологические особенности восприятия; информация об опасности.

Постановка проблемы. Потребность в проведении научных исследований психологических аспектов восприятия населением информации о причинах возникновения пожаров, в изучении современных методов обучения населения правилам пожарной безопасности диктуется государственной политикой, направленной на повышение уровня знаний правил пожарной безопасности населением. Это направление считается приоритетным как наиболее бюджетный и действенный способ положительного влияния на оперативную обстановку с пожарами.

Анализ последних исследований. В изученных литературных источниках [1 – 4] не решен вопрос совершенствования системы обучения, обеспечивающей необходимый уровень знаний правил пожарной безопасности. Актуально исследование этой проблемы с учетом сложившейся оперативной обстановки.

Изложение основного материала. Анализ пожаров за 2018 г. показал, что в среднем:

- ежедневно происходило 19 пожаров (загораний), материальный ущерб от которых 515 тыс. рублей, огнем уничтожено пять строений;
- каждые 2 дня погибал один человек и уничтожались две единицы автотранспортной техники.

В 2018 г. оперативная обстановка с пожарами в Донецкой Народной Республике, по сравнению с аналогичным периодом 2017 г., характеризовалась снижением количества пожаров на 19,1 %, а в сравнении с периодом 2014...2016 гг. наблюдался рост пожаров. Материальный ущерб от пожаров в 2018 г. 188 млн 76 тыс. рублей, что превышает материальный ущерб от пожаров в 2017 г. на 15,5 %. Как видно из диаграммы (рис. 1), основной причиной возникновения пожаров остается неосторожное обращение с огнем, т.е. человеческий фактор. Хотя следует признать, что каждая из приведенных в диаграмме причин имеет непосредственное отношение к этому фактору. Отличается только побудительный мотив действий человека, спровоцировавших возникновение пожара. К такой мотивации можно отнести злой умысел в деяниях человека, неосторожность при обращении с огнем (как следствие недооценки риска возникновения пожара) и отсутствие знаний правил пожарной безопасности в необходимом для соответствующей ситуации объеме. Принцип непрерывности процесса обучения правилам пожарной безопасности должен гарантировать высокий уровень знаний каждого гражданина. Однако оперативная обстановка с пожарами свидетельствует об обратном результате. Следует признать наличие сбоя передачи информации о мерах пожарной безопасности от ее носителя (системы обучения) до конечного потребителя (населения). В сложившейся ситуации В.Л. Семиков [1] рекомендует применить метод системного анализа для исследования организации обучения населения правилам пожарной безопасности (рис. 2). Обучение населения правилам пожарной безопасности – одна из основных функций системы ее обеспечения.

Цель системы обучения населения правилам пожарной безопасности – необходимость обеспечения:

- получения населением знаний правил пожарной безопасности в объеме, обеспечивающем недопущение возникновения пожаров и гибели людей в среде обитания каждого человека;
- ресурсных возможностей для проведения противопожарной пропаганды и обучения населения правилам пожарной безопасности и обеспечения выполнения нормативов.



Рис. 1. Причины возникновения пожаров в 2018 г.

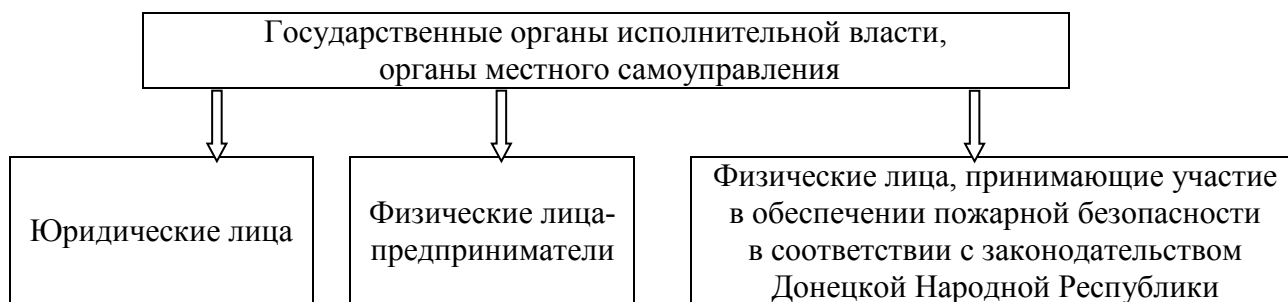


Рис. 2. Основные элементы системы обеспечения пожарной безопасности

Согласно теории Файоля, для организации системы обучения населения правилам пожарной безопасности управленческий орган должен использовать пять функций: предвидение, планирование, организацию, координирование и контроль. Под функциями управления будем понимать вклад органа управления в общую деятельность системы обучения правилам пожарной безопасности. Рассмотрим вклад каждого элемента системы обеспечения пожарной безопасности в организацию обучения населения ее правилам (рис. 3).

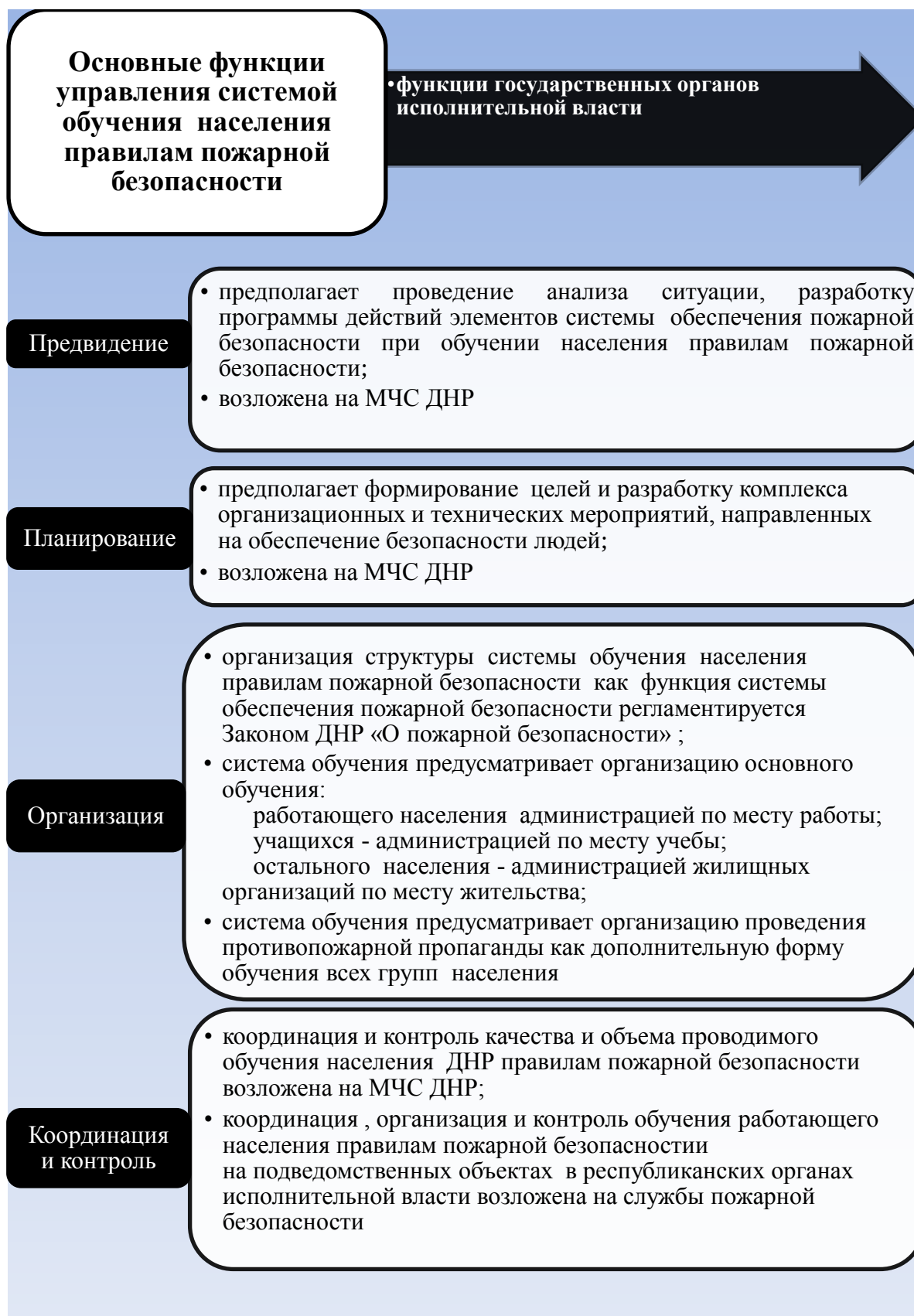


Рис. 3. Основные функции управления системой обучения населения вопросам пожарной безопасности

Как следует из вышеизложенного, система обучения населения правилам пожарной безопасности документально структурирована на уровне реализации полномочий государственных органов исполнительной власти и органов местного самоуправления. Очевидна линейная структура сочетания взаимодействующих элементов, целостность и иерархичность организации. Элемент системы обучения в виде юридических лиц занимает особое место в реализации общей цели создания системы обучения и имеет свою обособленную структуру организации. В ней как в подсистеме возникают проблемы управления, основанные на мотивации выполнения возложенных на администрацию функций и кадровых возможностей для их реализации. Человеческий ресурс является важнейшей частью внутренней среды организации. Согласно законодательству, ответственность за своевременность и качество обучения работающего населения по месту работы и контроль качества проводимого обучения возлагается на собственника (руководителя) предприятия и администрацию в рамках их полномочий.

В своей статье [2] О.И. Жилин отмечает очевидное противоречие, выявляемое в ходе анализа системы обучения правилам пожарной безопасности. С одной стороны, система документации по противопожарной пропаганде и обучению населения мерам пожарной безопасности на объектах документально сформирована. С другой стороны, большая часть пожаров возникает по вине людей вследствие незнания и (или) невыполнения правил пожарной безопасности. Данное противоречие является следствием формального подхода к обучению населения правилам пожарной безопасности со стороны администрации организаций, недостатка получаемой в ходе обучения информации и отсутствия учета психологических особенностей восприятия человеком информации в программах по обучению.

Исследования, проведенные в статье [3], подтверждают, что в условиях недостатка времени и наличия давления на психику через внешние раздражающие факторы человек способен принять правильное решение в том случае, если алгоритм поведения заложен заранее в подсознание путем неоднократных повторений и воздействий на различные рецепторы: зрение, слух и т.д. Возможным решением проблемы является заблаговременное, без установления сроков, планирование возможных вариантов спасения во время обучения. О.И. Жилин в работе [2] обосновал, что практическая отработка плана эвакуации – основная методика приобретения населением навыков безопасной эвакуации.

В.В. Кафидов в статье [4] отметил необходимость проведения исследований психологических особенностей в отношении населения к различным видам опасности, в том числе к пожарам. Следует согласиться с мнением автора, что применение на практике разработанных социологией безопасности принципов дает возможность установить, как общественное осознание требуемого уровня безопасности влияет на само общество в различные периоды его становления и развития. Не менее важно понять, как

закрепить в культуре ценность обеспечения безопасности личности посредством безопасности социума, как обеспечить заинтересованность государства и частного крупного капитала в общественной и личной безопасности граждан. В.В. Кафидов отметил, что законодательство должно ставить предпринимателя в такое положение, когда игнорирование вопросов охраны и безопасности труда невыгодно. Как бы ни относилось население и государственные органы к пожарным и пожарной безопасности в конкретный исторический момент и в конкретном месте, сознательно и подсознательно потребность в пожарной безопасности удовлетворяется на доступном для общества уровне. Удовлетворение социальных потребностей в пожарной безопасности и способы этого удовлетворения характеризуют образ жизни, качество и уровень жизни.

Учитывая, что человек восприимчив только к сильным и близким по времени стимулам, целесообразно:

- обучение проводить с использованием современных компьютерных технологий (в том числе компьютерных игр противопожарной тематики с учетом возрастных категорий населения);
- в программы учебного процесса включать (в виде шоковой терапии) просмотр видеорепортажей с мест возникновения пожаров и из ожоговых центров.

Такой подход позволит повысить уровень знаний правил пожарной безопасности у населения через осознанность вероятности возникновения пожара и его последствий.

Выводы. Существующий уровень документальной разработанности системы обучения способен обеспечить организацию инструктирования населения правилам пожарной безопасности на формальном уровне. Стратегическое управление процессом обучения этим правилам всех категорий населения со стороны государственных органов предполагает закрепление на законодательном уровне требований к порядку проведения обучения населения и осуществление координации и контроля качества и объема проводимого обучения населения правилам пожарной безопасности.

В ходе обучения должностных лиц необходимо аргументированно доказывать, что инвестиции в повышение уровня знаний правил пожарной безопасности у населения экономически целесообразны, а устранение формализма при проведении обучения и является источником устранения противоречия, проявляющегося в достаточном объеме обучения и низком уровне знаний населения.

Из сказанного выше следует, что необходимое преобразование системы обучения правилам пожарной безопасности находится в самой системе организации обучения на уровне юридических лиц. Самоорганизация этой системы связана с мотивацией целесообразного поведения работников организации и наличия потребности у должностных лиц обеспечить сохранность жизни людей и имущества от опасности

возникновения пожара путем повышения знаний правил пожарной безопасности у работников организации и осознанности их поведения.

Необходимость применения компьютерных обучающих программ в системе обучения правилам пожарной безопасности позволит учесть психологические особенности восприятия человеком информации о причинах возникновения и опасных последствий пожаров и наработать на подсознательном уровне навыки пожаробезопасного поведения. Обучение через увлекательную игру, а не посредством безликой информации является источником самоорганизации процесса образования человека независимо от возраста.

Целесообразно применять интерактивные методы обучения (участие в дискуссии, подготовку докладов) и использовать элементы шоковой терапии, драматизации, имитации реальной опасности в случае возникновения пожара.

Список литературы / References

1. Семиков, В.Л. Теория организации / В.Л. Семиков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 220 с.

Semikov, V.L. *Teoriya organizatsii* [The theory of organization]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Publ., 2003, 220 p.

2. Жилин, О.И. Системный подход к противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности – важнейшая составляющая деятельности по профилактике пожаров / О.И. Жилин // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18, № 8. – С. 33 – 37.

Zhilin, O.I. *Sistemnyy podkhod k protivopozharnoy propagande i obucheniyu meram pozharnoy bezopasnosti – vazhneyshaya sostavlyayushchaya deyatel'nosti po profilaktike pozharov* [A system approach to the fire-fighting propaganda and fire safety training as the key element of the fire prevention activity]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2009, vol. 18, no. 8, pp. 33 – 37.

3. Добрякова, Е.И. Психологические аспекты обучения людей действиям в условиях пожара / Е.И. Добрякова. – Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – №3(119). – С. 199 – 202.

Dobryakova, Ye.I. *Psikhologicheskiye aspekty obucheniya lyudey deystviyam v usloviyakh pozhara* [Psychological aspects of training the people to act in the event of a fire]. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Bulletin of the State Educational Institution of Higher Occupational Education "The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture"]. 2016, no. 3(119), pp. 199 – 202.

4. Кафидов, В.В. Инфраструктурный подход к оценке эффективности систем безопасности / В.В. Кафидов. – М., 2013. – 84 с.

Kafidov, V.V. *Infrastrukturnyy podkhod k otsenke effektivnosti sistem bezopasnosti* [Infrastructural approach to the efficiency assessment of safety systems]. Moscow, 2013, 84 p.

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 15.05.2019*

Nikolay Yuryevich Chubuchnyy, department chief; e-mail: 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;

Yelena Ivanovna Dobryakova, advanced engineer; e-mail: kdom100@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) 332-78-44

A SYSTEM OF TRAINING THE POPULATION IN FIRE SAFETY REGULATIONS

Purpose. To examine the system of training the population in fire safety regulations, to distinguish the existing contradictions and ways of troubleshooting.

Methodology. Analytical studies of the system of training the population in fire safety regulations by means of the systems analysis application.

Results. On the basis of the analysis the objectives for creation of the system of training the population in the fire safety regulations have been determined.

Scientific novelty. Over the course of the analysis of the information about the system of training the population in the fire safety regulations in the Donetsk People's Republic the existing contradictions in the formed training system and the number of fires caused by the human factor as a consequence of the low quality training have been stated. The problem of a failure in sharing the information about the fire safety measures by its carrier with the end-use customer has been detected.

Practical value. The raise of the fire safety awareness among the population and conscious application of this knowledge by a person is the most economically reasonable way to save the people's lives and to keep the property from fires. The study of interconnection between the system of training the population in fire safety regulations as a function of elements of the fire safety guaranteeing system and the level of fire safety awareness of each citizen will allow ensuring the timely correction of the training forms and methods.

Keywords: *fire; training the population; fire safety regulations; psychological peculiarities of perception; information about hazard.*

УДК 622.411.3:622.822.22

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

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

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ

Цель. Использование газоаналитических методов для определения температуры угля, характеризующей процесс самонагрева в подземных выработках.

Методика. Сравнительный анализ методов определения температуры угля по газовому составу на примере аварийной ситуации, имевшей место на шахте «Днепровская».

Результаты. Проанализированы существующие методы косвенного определения температуры угля, основанные на измерении концентраций различных газов в шахтном воздухе. На основании физико-химических свойств оксида и диоксида углерода показаны достоинства и недостатки их использования в качестве индикаторных компонентов. Рассмотрен разработанный метод определения температуры самонагрева угля по газовому составу, отличающийся от известных использованием соотношения концентраций оксида углерода и адсорбированного кислорода. Анализ нового метода в сравнении с известными методиками на конкретном примере расследования аварии, происшедшей на шахте «Днепровская», доказал его преимущества.

Научная новизна. Разработанный метод определения температуры самонагрева угля позволяет на основании результатов газового анализа и параметра, характеризующего реакционную сорбирующую поверхность, рассмотреть процесс окисления угля, влияющий на развитие его самонагрева.

Практическая значимость. Применение разработанного метода не требует дополнительных материальных и технических затрат для постоянного мониторинга температуры самонагрева угля и позволяет оперативно обнаружить возникновение пожароопасной ситуации.

Ключевые слова: самонагревание угля; температура; газовый анализ; пожароопасность; контроль окислительных процессов.

Постановка проблемы. Контроль процесса самонагрева угля лежит в основе профилактических мероприятий, направленных на предотвращение возникновения эндогенных пожаров. Один из основных источников информации о состоянии очага самонагрева или горения угля – состав шахтного воздуха, основу которого составляет атмосферный воздух, поступающий в горные выработки. Однако существует недостаточно методов контроля процесса самонагрева угля, основанных на газовом анализе, которые нашли практическое применение, что требует дальнейших исследований.

Анализ последних исследований. В соответствии с Уставом по организации и ведению горноспасательных работ ГВГСС МЧС ДНР процесс самонагрева угля контролируют с помощью газоаналитических методов, основанных на измерении объемной доли оксида углерода. В большинстве случаев считают, что объемная доля 0,01 % этого газа в выработке свидетельствует о развитом процессе горения. Однако практические результаты

анализа объемной доли оксида углерода в пробах воздуха выработанных пространств и дегазационных скважин шахт Кузбасса и Донецкого бассейна позволяют утверждать, что наличие в воздухе этого газа не может считаться надежным признаком самонагрева угля. Объясняется это тем, что объемная доля оксида углерода в горных выработках зависит от размеров зоны угольного скопления, подверженного самонагреванию, которые, как правило, не известны, поскольку очаг самонагрева в большинстве случаев недоступен для непосредственного наблюдения. Объемная доля оксида углерода находится также в прямой зависимости от объема воздуха, проходящего через очаг самонагрева, и удаленности его от места отбора проб шахтного воздуха. Кроме того, оксид углерода может появляться в шахтах как результат молекулярного обмена или других реакций, не выделяющих теплоту [1].

Особенно наглядно недостатки оксида углерода как индикаторного газа проявляются при принятии решения о списании пожаров в категорию потушенных. В соответствии с действующими нормативными документами признаками потушенного пожара являются: отсутствие оксида углерода в пробах воздуха, отобранных из пожарного участка, снижение температуры воздуха в изолированном участке до нормальных температур данного горизонта шахты, понижение температуры воды, вытекающей из изолированного пожарного участка, до температуры, характерной для данной выработки. После получения результатов, удовлетворяющих этим требованиям, за пожарным участком устанавливают контрольное наблюдение продолжительностью от одного до трех месяцев, в зависимости от технологии очистных работ. Когда полученные данные подтверждают отсутствие признаков пожара, последний подлежит списанию. Однако и при наличии всех перечисленных признаков, указывающих на отсутствие пожара, его списание может представлять опасность. С другой стороны, можно предположить случаи затягивания списания пожаров, что приносит значительный материальный ущерб шахтам [1].

На недостатки оксида углерода как индикаторного газа, характеризующего развитие процесса самонагрева и самовозгорания угля, указано и в работах немецких специалистов Р. Миллера и У. Куглера, которые отмечают, что появление в шахтном воздухе этого газа в тысячных долях процента характеризует часто не раннюю стадию, а развитой пожар.

Для объективной оценки состояния очага самовозгорания необходимо исключить фактор влияния расстояния от очага до точки измерения индикаторного компонента. Это утверждение основано на исследовании распространения оксида углерода по выработке с точки зрения теории конвективно-диффузионного переноса вещества. Поэтому правильное оценивать состояние очага пожара на основании данных о соотношении объемных долей нескольких компонентов.

Цель исследований. Рассмотреть возможность использования газоаналитических методов для определения температуры угля, характеризующей процесс самонагрева в подземных выработках.

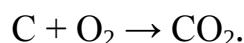
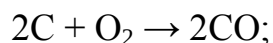
Материалы и результаты исследований. На угольных предприятиях Донбасса стадию самовозгорания угля определяют по соотношению объемных долей оксида углерода и водорода: на стадии самонагревания отношение газов превышает 10, а на стадии горения – менее 10 [1].

В некоторых странах для контролирования самонагревания угля применяют коэффициенты Грехема, основанные на соотношении изменения концентраций таких газов, как оксид и диоксид углерода, метан, кислород. Видоизмененный коэффициент Грехема, предложенный Гофбауером, предполагает дополнительное использование диоксида углерода в виде

$$F = \frac{CO_2 + 0,5CO}{O_2}, \quad (1)$$

где CO_2 , CO , O_2 – объемная доля соответственно диоксида, оксида углерода и кислорода в пожарных газах, %.

Использование в числителе этой формулы суммы газов основано на утверждении, что CO и CO_2 являются первичными продуктами окисления углерода:



Проведение экспериментальных исследований реакции окисления углерода при низком давлении, добавлении ингибиторов, которые тормозят реакцию горения CO , осуществления реакции при достаточно низких температурах, когда скорость окисления CO пренебрежимо мала, позволило ученым установить зависимость отношения CO/CO_2 от температуры [1]:

$$\frac{CO}{CO_2} = 10^{3,4} e^{-12400/(R_g T)}, \quad (2)$$

где R_g – универсальная газовая постоянная, равная 1,987 кал/(моль·К).

Используя это выражение, можно рассчитать температуру угля и тем самым контролировать протекание окислительных процессов.

Достоверность определения диоксида углерода в шахтном воздухе вызывает сомнения, обусловленные его физико-химическими свойствами. Этот газ в 1,5 раза тяжелее воздуха, поэтому скапливается в нижней части выработки, при комнатной температуре проявляет способности кислотного оксида: взаимодействует с водой – в одном объеме воды растворяется приблизительно один объем CO_2 . При высоких температурах проявляет способности окислителя: взаимодействует с углем ($CO_2 + C = 2CO$).

Источником образования CO_2 , кроме самовозгорания и горения угля, является гниение деревянной крепи (наиболее интенсивен процесс в условиях влажной шахтной среды), окисление других органических веществ, поэтому

использование диоксида углерода может вносить ошибку в расчеты определения температуры.

В 70-х годах прошлого столетия на основании обработки экспериментальных данных была найдена эмпирическая формула для определения температуры очага пожара по сумме концентраций углеродсодержащих газов в период возникновения пожара:

$$t_{o.п} = 758 \left(\ln \frac{30}{30 - \sum C} \right)^{0,4}, \quad (3)$$

где $\sum C = C_{CO} + C_{CO_2} + C_{CH_4}$, %.

При этом отмечено, что увеличение концентраций данных газов сопровождается уменьшением в газовых пробах шахтного воздуха концентрации кислорода, являющегося инициатором зарождения реакции окисления.

Известные методы определения температуры угля основаны на анализе продуктов реакции кислорода с углем, в то время как контроль концентрации кислорода дает возможность проследить весь процесс низкотемпературного окисления и, следовательно, является наиболее чувствительным индикатором раннего появления очага самонагревания угля. Влияние концентрации кислорода резко возрастает с повышением температуры: чем она выше, тем при меньшей концентрации кислорода может протекать процесс окисления.

В связи с этим на основании теоретических и экспериментальных исследований окислительной способности угля разработан метод определения температуры его самонагревания, основанный на соотношении концентраций оксида углерода и адсорбированного кислорода, при этом концентрацию кислорода, адсорбированного очагом окисления, определяем произведением значения концентрации кислорода в исходящей струе и параметра, характеризующего долю реакционной поверхности угля [2, 3].

В качестве индикаторных компонентов использован оксид углерода, который ядовит и представляет наибольшую опасность для человека (ПДК = 20 мг/м³ или 0,0017 %), химически инертен, образуется в основном в результате процесса самонагревания угля и других окислительных процессов, протекающих при недостатке кислорода. Расчет термодинамических параметров реакции окисления углерода позволил установить, что с увеличением температуры возрастает самопроизвольное осуществление реакции образования оксида углерода по сравнению с другими реакциями, то есть повышение температуры приводит к более заметному увеличению концентрации этого газа [4].

В качестве одного из компонентов использован кислород, адсорбированный на поверхности угля и выступающий инициатором реакций окисления, протекающих по радикально-цепному механизму [5].

Исследования низкотемпературного окисления угольной поверхности позволили рассмотреть процесс самонагрева в слое зернистого вещества и определить долю реакционной поверхности твердого топлива, которая связана с его стадией метаморфизма [6]. Установлены аналитические зависимости интенсивности тепловыделения от кинетических параметров процесса окисления угля [7].

На основании результатов экспериментальных исследований определения объемной доли оксида углерода, образующегося в результате окисления, и адсорбированного кислорода установлены зависимости температуры скопления угля от соотношения $C_{CO}/C_{O_2}^c$ для углей различной стадии метаморфизма, имеющие общий вид

$$T = a \left(\frac{C_{CO}}{C_{O_2}^c} \right)^b, \quad (4)$$

где C_{CO} – объемная доля оксида углерода в шахтном воздухе, %;

$C_{O_2}^c$ – объемная доля адсорбированного кислорода в шахтном воздухе, %;

a и b – коэффициенты, зависящие от доли летучих веществ угля.

Соотношение $C_{CO}/C_{O_2}^c$ для каждого типа угля установлено в лабораторных условиях газодинамическим методом путем пропускания кислорода через слой угля с такой же скоростью, которая характерна для подземных условий его самонагрева.

Для апробации предложенного метода определения температуры самонагрева углей было выполнено сравнение результатов вычисления температуры на аварийном участке по соотношению концентраций $C_{CO}/C_{O_2}^c$ и непредельных углеводородов (этилена и ацетилена) $C_{эт}/C_{ац}$, представленному в работе [3]. Однако использование специальных трубок-концентраторов для отбора газовой пробы и проведение анализа только в условиях лаборатории, оснащенной хроматографическим оборудованием, не позволяют проводить постоянный мониторинг шахтного воздуха.

На примере расследования аварии, происшедшей на шахте «Днепровская» 08.10.2017, рассмотрим использование разработанного метода определения температуры самонагрева углей с другими, основанными на анализе оксидов углерода и метана.

Для ликвидации подземного пожара на шахте было принято решение об изоляции аварийного участка гипсовыми взрывоустойчивыми перемычками. Контроль пожароопасной ситуации осуществляли на основании результатов определения концентрации CO , CO_2 , CH_4 и O_2 в пробах воздуха, отобранных за перемычками в изолированном пространстве (рис. 1).

Используя формулы (2) – (4), рассчитаем температуру угля марки ДГ с долей летучих веществ 40,9 % (рис. 2).

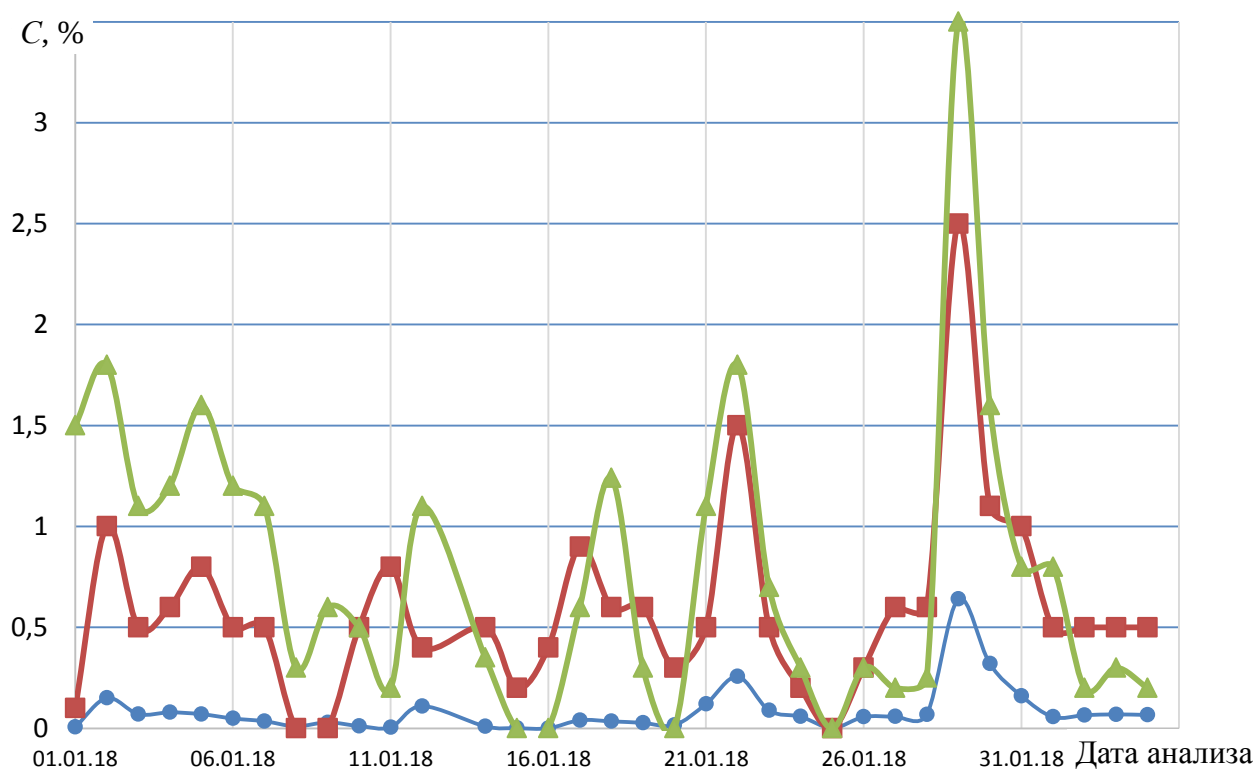


Рис. 1. Объемная доля пожароопасных газов за перемычкой № 1:

● – CO; ■ – CO₂; ▲ – CH₄

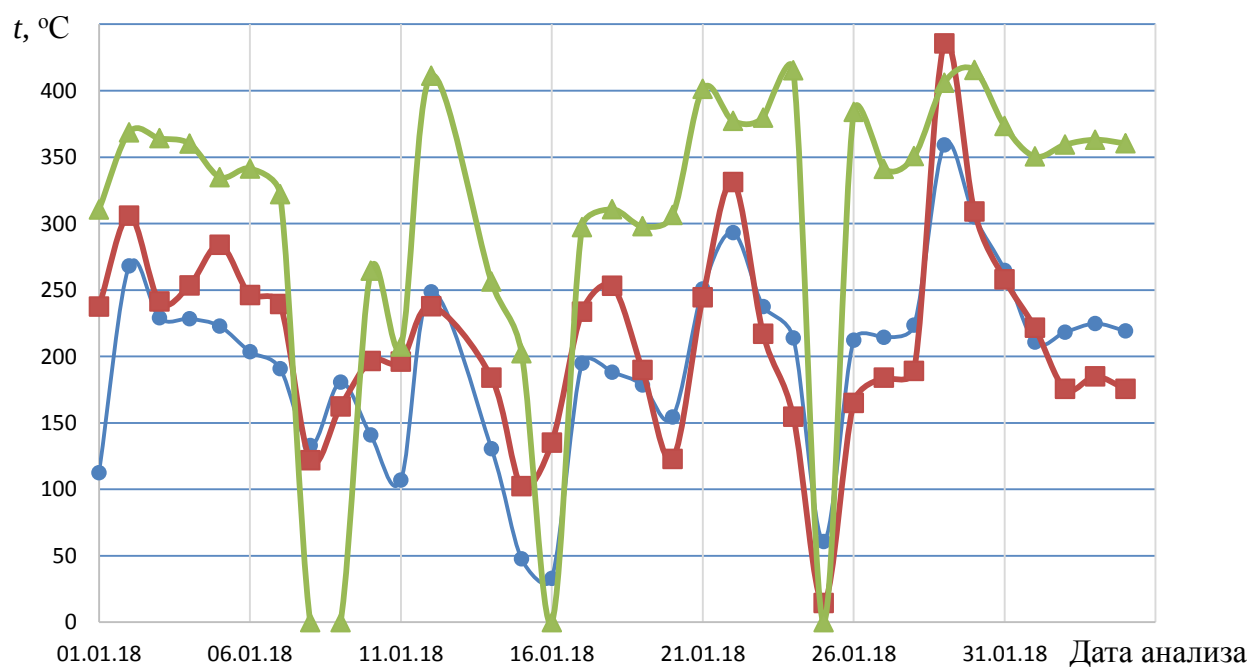


Рис. 2. Температура угля, рассчитанная по соотношению объемных долей различных пожароопасных газов за перемычкой № 1:

● – по формуле (4); ■ – по формуле (3); ▲ – по формуле (2)

Анализ рис. 2 показывает, что в четырех случаях по формуле (2) невозможно получить значение температуры, так как в газовых пробах не обнаружен CO_2 . Однако по формулам (3) и (4) данный расчет выполнен, кроме того значения температуры, полученные по этим формулам, отличаются в среднем на 18,7 %.

На рис. 3 представлена кривая, соединяющая усредненные значения температуры угля, полученные по соотношению $C_{\text{CO}}/C_{\text{O}_2}^c$, что наглядно показывает динамику процесса в изолированном пространстве.

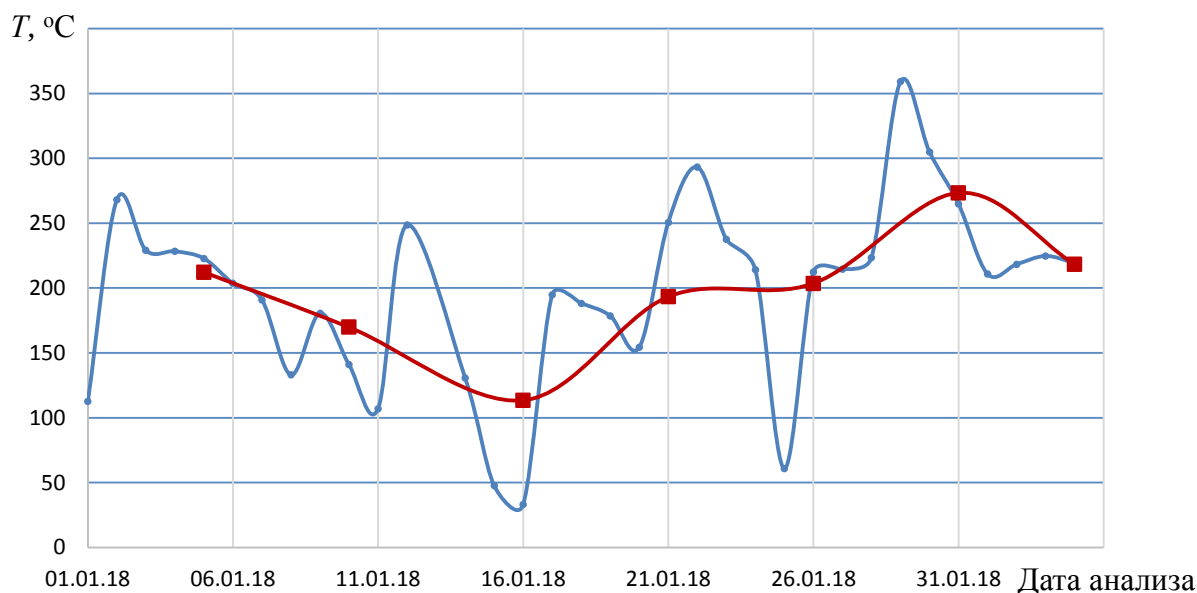


Рис. 3. Динамика температура угля, рассчитанная по соотношению объемных долей $C_{\text{CO}}/C_{\text{O}_2}^c$ за перемычкой № 1:

■ – усредненные значения температуры

Промежуток времени от получения данных газового анализа до расчета температуры угля по соотношению оксида углерода к адсорбированному кислороду минимален по сравнению с применяемым в настоящее время методом по неопредельным углеводородам.

Выводы. Применение разработанного метода не требует дополнительных материальных и технических затрат для постоянного мониторинга температуры самонагрева угля и позволяет оперативно обнаружить возникновение пожароопасной ситуации.

Список литературы / References

1. Пашковский, П.С. Эндогенные пожары в угольных шахтах [Текст] / П.С. Пашковский. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2013. – 792 с.
Pashkovskiy, P.S. *Endogennyye pozhary v ugol'nykh shakhtakh* [Tekst] [Spontaneous fires in coal mines] [Text]. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk branch), 2013, 792 p.

2. Греков, С.П. Реакционная активность углей [Текст] / С.П. Греков, В.П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 78 – 90.

Grekov, S.P., Orlikova, V.P. *Reaktsionnaya aktivnost' ugley [Tekst]* [Reaction activity of coals] [Text]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator"* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator"]. Donetsk, 2015, issue 52, pp. 78 – 90.

3. Греков, С.П. Определение температуры самовозгорания угля по соотношению оксида углерода и убыли кислорода на аварийном участке [Текст] / С.П. Греков, П.С. Пашковский, В.П. Орликова // ВiTP. Безопасность и пожарная техника. – Польша, 3(2015). – С. 119 – 127.

Grekov, S.P., Pashkovskiy, P.S., Orlikova, V.P. *Opredeleniye temperatury samovozgoraniya uglya po sootnosheniyu oksida ugleroda i ubyli kisloroda na avariynom uchastke [Tekst]* [Determination of the coal spontaneous combustion temperature according to the ratio of carbon monoxide and oxygen decrease at an emergency district] [Text]. *BiTP. Bezpieczeństwo i technika pożarnicza - Safety & Fire technique*, Poland, 2015, issue 3, pp. 119 – 127.

4. Орликова, В.П. Параметры адсорбции кислорода на поверхности угля / В.П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – 2018. – № 4(55). – С. 36 – 43.

Orlikova, V.P. *Parametry adsorbtsii kisloroda na poverkhnosti uglya* [Parameters of oxygen adsorption on the coal surface]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator: nauch.-techn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. Donetsk, 2019, issue 55, no. 4, pp. 36 – 43.

5. Захаров, Е.И. Механизм процесса самонагрева угля и перехода его в самовозгорание / Е.И. Захаров, Н.М. Качурин, Д.Д. Малахова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – Тула: ТулГУ, 2013. – № 2. – С. 42 – 51 [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23050511_24924600.pdf (дата обращения: 17.05.2019).

Zakharov, Ye.I., Kachurin, N.M., Malakhova, D.D. *Mekhanizm protsessa samonagrevaniya uglya i perekhoda yego v samovozgoraniye [Elektronnyy resurs]* [The mechanism of the coal spontaneous heating process and its transition to the spontaneous combustion] [Electronic resource]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Proceedings of the Tula state university. Geoscience]. Tula, TulGU, 2013, no. 2, pp. 42 – 51. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_23050511_24924600.pdf (accessed 17.05.2019).

6. Греков, С.П. Сорбционные процессы при низкотемпературном окислении угля [Текст] / С.П. Греков, В.П. Орликова // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журн. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2017. – № 3. – С. 398 – 401.

Grekov, S.P., Orlikova, V.P. *Sorbtsionnyye protsessy pri nizkotemperaturnom okislenii uglya [Tekst]* [Sorption processes during the low-temperature oxidation of

coal] [Text]. *Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: nauch. zhurn.; pod obshch. red. Fryanova V.N.* – Science intensive technologies of development and application of mineral resources: scientific journal: Fryanov, V.N., ed. Novokuznetsk, Sibirskiy gosudarstvennyy industrial'nyy universitet, 2017, no. 3, pp. 398 – 401.

7. Орликова, В.П. Гетерогенные процессы при низкотемпературном окислении угля [Текст] / В.П. Орликова // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: материалы X Междунар. конф. – Тирасполь, 2017. – С. 152 – 157.

Orlikova, V.P. *Geterogennyye protsessy pri nizkotemperaturnom okislenii uglya [Tekst]* [Heterogeneous processes during the low-temperature oxidation of coal [Text]. *Matematicheskoye modelirovaniye v obrazovanii, nauke i proizvodstve: materials X Mezhdunar. konf.* [Mathematical modeling in education, science and production: materials of the 10th International conference]. Tiraspol, 2017, pp. 152 – 157.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 20.05.2019

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

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-81

OPERATIVE CONTROL OF A FIRE-HAZARDOUS SITUATION IN A MINE WORKING

Purpose. Use of gas-analysis methods for determination of a coal temperature that characterizes the process of spontaneous heating in underground workings.

Methods. Comparative analysis of the coal temperature determination methods according to the gas composition in terms of an emergency situation that took place at the “Dneprovskaya” mine.

Results. The existing methods of the coal temperature indirect determination based on measurement of concentrations of various gases in the mine air have been analyzed. On the ground of physical and chemical properties of carbon oxide and carbon dioxide the pros and cons of their application as indicator components have been shown. The devised method of determination of the coal spontaneous heating temperature according to the gas composition has been examined. It distinguishes itself from the known methods by the use of the concentration ratio of carbon oxide and adsorbed oxygen. The analysis of the new method has proved its benefits in comparison with the known methodologies in terms of the concrete example of investigation of the accident that took place at the “Dneprovskaya” mine.

Scientific novelty. The devised method of determination of the coal spontaneous heating temperature allows examining the coal oxidation process that has an effect on development of its spontaneous heating on the ground of the gas analysis results and a parameter characterizing the reactionary sorption surface.

Practical value. The application of the devised method doesn't require the additional material and technical costs for the permanent monitoring of the coal spontaneous heating temperature and permits to operatively detect the origin of the fire hazardous situation.

Keywords: spontaneous heating of coal; temperature; gas analysis; fire hazard; control of oxidizing processes.

УДК 622.411.33:622.817.47

Александр Викторович Мавроди, ведущий 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*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗЕРВА ВОЗДУХА НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ

Цель. Оценка газовой обстановки и формирование резерва воздуха на выемочных участках при отключении систем дегазации.

Методы. Аналитические исследования процесса поступления метана в исходящую струю выемочного участка при отключении системы дегазации.

Результаты. Анализ состояния проветривания угольных шахт Донбасса, применяемых систем дегазации и их эффективности, процесса нарастания метановыделения позволил предложить расчетные формулы для определения газовой обстановки на выемочных участках при отключении дегазации. Приведены основные причины остановок систем дегазации и их частота, определены возможные резервы подачи воздуха на выемочные участки путем изменения аэродинамических сопротивлений регуляторов расхода воздуха на второстепенных объектах и изменения режимов работы вентиляторов главного проветривания.

Научная новизна. Предложены простые и надежные методы оценки газовой обстановки, способы управления метановыделением в выемочных участках с помощью средств вентиляции и комплексной дегазации для создания безопасных условий ведения горноспасательных работ при неработающей системе дегазации.

Практическая значимость. Разработанные методы оценки и способы нейтрализации увеличения метановыделения будут способствовать повышению безопасности ведения горноспасательных работ. Предложенные методы расчета прироста метановыделения и резервов воздуха можно использовать при разработке программного комплекса для использования службами депрессионных, газовых и тепловых съемок подразделений горноспасательной службы.

Ключевые слова: угольная шахта; выемочный участок; системы дегазации; причины и результаты остановки систем дегазации; увеличение метановыделения; методы оценки газовой обстановки; возможные резервы воздуха.

Постановка проблемы. Для безопасного ведения горных работ на газовых шахтах Донбасса и за рубежом широко применяют системы дегазации с различными схемами и способами извлечения метана. Дегазация – один из основных и эффективных способов борьбы с метаном на выемочных участках.

Согласно работе [1], при отключении системы дегазации на выемочном участке интенсивность метановыделения из выработанного пространства увеличивается в 1,3...3 раза. Переходный процесс длится в течение нескольких часов и в дальнейшем стабилизируется на уровне фактического метановыделения участка без дегазации. Известны случаи [2], когда при отключении дегазации (выходе из строя вакуум-насосов) метановыделение на выемочном участке увеличилось в несколько раз, что привело к образованию взрывоопасных концентраций метана на исходящей вентиляционной струе участка. Соответственно оперативные действия, предотвращающие образование

повышенных концентраций метана в исходящих вентиляционных струях выемочных участков, – актуальный вопрос обеспечения безопасности ведения горноспасательных работ в период отключения систем дегазации.

Анализ последних исследований. В процессе эксплуатации систем дегазации происходят случаи снижения эффективности ее работы или полное отключение. При этом метановыделение в выработки довольно резко увеличивается и растет объемная доля метана в исходящих вентиляционных струях участков, что снижает безопасность ведения горных работ [3].

Безопасность систем дегазации полностью не решена, данная проблема включает в себя вопрос взрывобезопасности выемочных участков при авариях систем дегазации и разработке эффективных способов управления газовой обстановкой участка средствами вентиляции [4].

В этих условиях вопросы выбора и обоснования параметров аварийных вентиляционных режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации приобретают весьма важное значение для обеспечения безопасности ведения горных работ.

Материалы и результаты исследований. С целью исследования процесса метановыделения и оценки газовой обстановки при отключении системы дегазации выполнен анализ состояния проветривания 10 шахт Донбасса и 18 выемочных участков, применяющих дегазацию (см. таблицу).

Основные параметры шахт, применяющих дегазацию

Шахта	Обеспеченность шахты воздухом, %	Газообильность шахты, м ³ /мин	Средне-суточная добыча, т/сут	Расход метана, удаляемого дегазацией, м ³ /мин
Им. А.Ф. Засядько	126,0	81,4	3590	48,4
Им. М.И. Калинина	142,0	14,5	245	2,7
«Комсомолец Донбасса»	110,3	200,1	4618	55,7
«Ждановская»	113,1	36,7	2400	10,4
«Калиновская-Восточная»	105,0	12,0	388	2,1
Им. С.М. Кирова	101,0	18,2	705	8,1
«Холодная Балка»	122,0	58,6	987	14,2
«Ясиновская-Глубокая»	107,0	20,6	564	0,6
«Щегловская-Глубокая»	136,0	41,1	2109	17,3
№ 22 «Коммунарская»	104,0	60,8	3504	36,5

Газообильность шахт Донбасса находится в пределах от 12 до 200 м³/мин и зависит в основном от газоносности пластов, количества работающих лав и нагрузки на очистные забои. С помощью систем дегазации из пластов-спутников и выработанного пространства выемочных участков суммарно отводится в среднем 35 % выделяющегося метана. В отдельных случаях

эффективность дегазации достигает 60 %, а при комплексной дегазации – 82 % [3]. Анализ показал, что на девяти выемочных участках применяют возвратноточную схему проветривания при сплошной системе разработки (рис. 1,а) с невысокими нагрузками на очистные забои (порядка 245...564 т/сут). Вынос метана из выработанного пространства при использовании этой схемы небольшой ($0,6...2,7 \text{ м}^3/\text{мин}$) и происходит непосредственно в вентиляционную выработку рассредоточено на расстоянии 10...120 м от лавы, что снижает вероятность образования местных скоплений метана.

Наиболее прогрессивные прямоточные схемы проветривания (восемь участков) с частичным разбавлением вредных веществ (рис. 1,б; небольшое количество метана, выделяющегося в конвейерную выработку, поступает в лаву) или полным обособленным разбавлением вредных веществ при столбовой системе разработки (рис. 1,в; метан, выделяющийся в конвейерную выработку, не поступает в лаву) применяют на выемочных участках с нагрузками до 4000 т/сут. В этих схемах проветривания вынос метана из выработанного пространства удален на значительное расстояние от очистного забоя (что весьма существенно для безопасности работ), рассредоточен по длине вентиляционной выработки и для разбавления метана подается дополнительный расход воздуха по выработке с подсвежающей струей. В связи с этим вероятность образования местных скоплений метана в вентиляционной выработке гораздо меньше, чем при возвратноточных схемах проветривания, а увеличение концентрации метана имеет меньшее значение и менее выраженный характер всплеска.

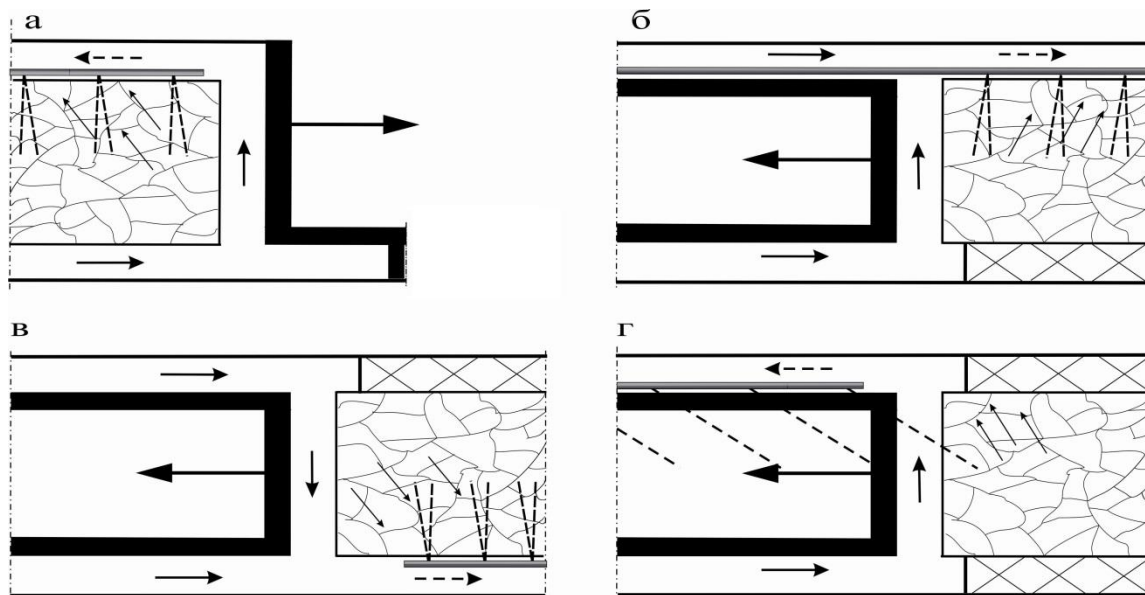


Рис. 1. Основные схемы проветривания выемочных участков шахт, применяющих дегазацию:

а – возвратноточная схема проветривания; б – прямоточная схема проветривания с частичным разбавлением вредных веществ; в – прямоточная схема проветривания с полным обособленным разбавлением вредных веществ; г – возвратноточная схема проветривания

Возвратноточную схему проветривания при столбовой системе разработки (рис. 1,г) применяют только на одном выемочном участке и она наиболее опасна из-за образования повышенных концентраций метана при отключении системы дегазации. При этой схеме проветривания вынос метана из выработанного пространства сосредоточен на небольшой площади тупика погашения вентиляционной выработки и в верхней части лавы, примыкающей к нему (порядка 10...20 м), а выделение метана сопровождается существенным всплеском его концентрации до взрывоопасных значений [5]. Разбавление метана практически осуществляется только утечками воздуха через выработанное пространство, которые примерно на 22 % меньше, а эффективность дегазации скважинами в два раза ниже, чем в возвратноточных схемах (см. рис. 1,а).

Несмотря на полную практическую обеспеченность шахт расчетным количеством воздуха, периодически имеет место загазованность очистных забоев.

При этом количество загазований достигало нескольких десятков на шахте № 22 «Коммунарская» и более сотни на шахтах им. А.Ф. Засядько, «Щегловская-Глубокая» в течение года. Одной из основных причин загазований и образований местных скоплений метана в исходящих вентиляционных струях, на сопряжении очистных забоев с вентиляционными выработками и в тупиках погашения является отключение систем дегазации и выпуск воды из дегазационных газопроводов [6, 7]. Так, доля загазования исходящей струи выемочного участка одной из шахт Донбасса из общего количества 110 случаев при сливе воды из газопровода составила 32,7 %, отсутствие электроэнергии на вакуум-насосах 24,5 %, переход с рабочего вакуум-насоса на резервный 21 %, ремонт вакуум-насосной станции 19 % и другие причины 7 %.

По результатам обработки экспериментальных данных и принятия нормального закона распределения колебаний концентрации метана максимальную долю метана, выносимого из выработанного пространства $C_{\max}$, %, можно определять по формуле

$$C_{\max} = C_0 + \frac{I_{\text{вп}}}{Q_{\text{ут.в}}} (1,72 + 0,24y), \quad (1)$$

где C_0 — доля метана в поступающей в лаву струе, %;
 $I_{\text{вп}}$ — метановыделение из выработанного пространства, м³/мин;
 $Q_{\text{ут.в}}$ — утечки воздуха через выработанное пространство, м³/мин;
 y — значение аргумента функции $f(y)$ при заданной надежности.

Исходя из этой формулы ориентировочное минимальное газовыделение из выработанного пространства, не приводящее к образованию местных скоплений метана $I_{\text{вп.мин}}$, определяют по формуле

$$I_{\text{вп. min}} = 0,01163Q_{\text{ут. в}}. \quad (2)$$

То есть на каждые 100 м³/мин утечек воздуха безопасное метановыделение из выработанного пространства 1,16 м³/мин.

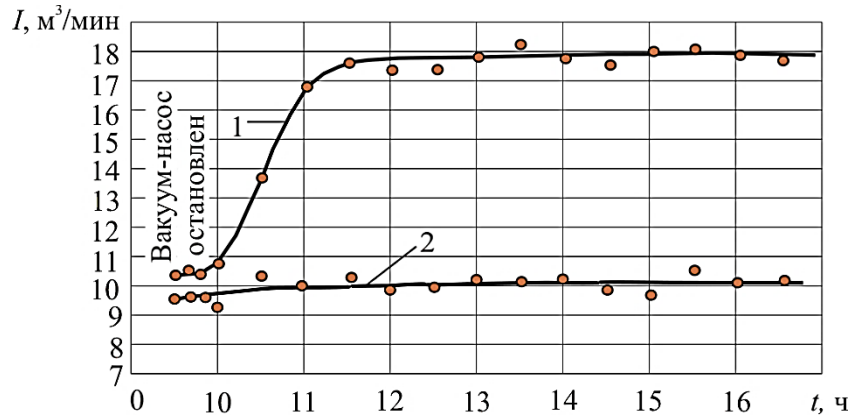


Рис. 2. Результаты наблюдения за газовыделением на участке коренной северной лавы шахты «Чайкино»:

1 – исходящая струя участка; 2 – исходящая струя лавы

Наращение метановыделения после отключения дегазации происходит равномерно на протяжении 2...8 ч, а затем стабилизируется на уровне, определяемом горно-геологическими условиями и нагрузкой на очистной забой (рис. 2). Метановыделение в лаву при сплошной системе разработки, неплотных изоляторах у вентиляционной выработки (кривая 2) и отключении дегазации практически не изменяется (не поступает в лаву). Метановыделение в исходящую струю участка существенно возрастает (кривая 1).

На основании многочисленных экспериментов установлено, что выделение метана на участке после отключения дегазации изменяется по закону, определяемому показательной функцией. Значение метановыделения при отключенной дегазации определяют по формуле

$$I_{\text{откл}} = I_{\text{уч.н}} + k_{\text{вл}} I_{\text{д}} (1 - e^{-a_{\text{п}} t_{\text{дег}}}), \quad (3)$$

где $I_{\text{уч.н}}$ – усредненное значение газовыделения за период не менее одного месяца стабильной работы лавы при нормальной работе системы дегазации, м³/мин;

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

$I_{\text{д}}$ – расход метана, отводимого дегазацией, м³/мин;

$a_{\text{п}}$ – коэффициент, характеризующий интенсивность прироста метановыделения в исходящей струе участка при отключении системы дегазации;

t – время после отключения системы дегазации, ч.

Снижения концентрации метана в исходящей вентиляционной струе и обеспечения безопасности ведения горноспасательных работ можно достичь увеличением подачи воздуха на выемочный участок.

Эффективным способом увеличения расхода воздуха на выемочном участке является изменение аэродинамического сопротивления регулятора расхода воздуха.

На практике, как правило, изменение аэродинамического сопротивления регулятора воздуха может уменьшать общее аэродинамическое сопротивление выемочного участка от 4 до 10 раз, а расход воздуха в исходящей струе участка может увеличить на 40...50 %.

Фактическое поступление воздуха на выемочный участок при изменении аэродинамического сопротивления регулятора расхода воздуха можно определить путем проведения шахтного эксперимента или расчетом воздухораспределения по выработкам вентиляционной сети шахты на персональной электронно-вычислительной машине (далее – ПЭВМ) с использованием компьютерной модели. Компьютерную модель вентиляционной сети разрабатывают при проведении депрессионной съемки и постоянно поддерживают в рабочем состоянии, соответствующем фактическому распределению воздуха.

Полученное расчетом значение расхода воздуха, которое может поступить на участок при открытом регуляторе, сравнивается с необходимым минимальным расходом воздуха. Если условие ($Q_{\text{расч}} \geq Q_{\text{min}}$) удовлетворяется, то средняя объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе участка не превысит предельно допустимых значений.

В случае, если расчетное значение расхода воздуха меньше необходимого минимального расхода воздуха ($Q_{\text{расч}} \leq Q_{\text{min}}$), тогда определяется средняя объемная доля метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка. При значении средней объемной доли метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка больше 1,3 % необходимо увеличить подачу воздуха на выемочный участок.

Увеличить расход воздуха на выемочном участке, где произошло отключение системы дегазации, также возможно за счет снижения подачи воздуха на второстепенные объекты проветривания (обособленно проветриваемые камеры, поддерживаемые выработки и т.п.). Согласно депрессионным съемкам, обеспеченность воздухом второстепенных объектов находится в пределах от 120 до 226 %. Второстепенные объекты, которые находятся в непосредственной близости от аварийного участка, дают большее увеличение расхода воздуха.

Оценку увеличения расхода воздуха лучше всего давать, предварительно рассчитав вентиляционную сеть на ПЭВМ.

В качестве временных регуляторов воздуха на второстепенных объектах можно использовать специальные двери или парашютные перемычки.

Для усиления проветривания и ликвидации местных скоплений метана на аварийном участке используют сжатый воздух. Данный способ отличается простотой применения, так как нет необходимости в сложной и трудоемкой установке специального вентиляционного оборудования.

Более эффективно проветривается аварийный участок с помощью сжатого воздуха при отключении от воздушной магистрали всех остальных потребителей воздуха. В зависимости от применяемых компрессоров дополнительная подача сжатого воздуха может быть 70...150 м³/мин, а в отдельных случаях – до 300 м³/мин с использованием для этих целей различных турбулизаторов («Ветерок», «Прохлада»), аэраторов, эжекторов. Они имеют небольшую массу, малые габариты и надежное фиксирование к крепи выработок, что позволяет эффективно использовать эти аппараты для ликвидации местных скоплений метана. Применение эжекторов необходимо в районах ведения ремонтных и аварийных работ для исключения образования опасных концентраций метана. Достоинства эжекторов – высокая эффективность эжекции воздуха созданием факела длиной 12...18 м и возможность использования распыленной воды для снижения опасности воспламенения метановоздушной смеси.

При отсутствии внутренних резервов воздуха в горных выработках определяют возможное увеличение расхода воздуха за счет изменения углов установки лопаток рабочих колес вентилятора (для осевых вентиляторов) или направляющего аппарата вентилятора (для центробежных вентиляторов).

Значение возможного увеличенного расхода воздуха на выемочном участке можно определить расчетом вентиляционной сети на ПЭВМ или графически по характеристикам сети и вентилятора.

При расчете на ПЭВМ в математическую модель вносят параметры новой, более высокой аэродинамической характеристики вентилятора.

В случае, если на аварийном участке применена комплексная дегазация и выходит из строя один из ее видов, увеличение расхода каптируемой метановоздушной смеси можно компенсировать работающей дегазацией. Для этого необходимо отключить или частично перекрыть дегазацию на других объектах с учетом наличия на них резервов воздуха.

Проверку предложенных способов формирования резервов воздуха на выемочных участках следует производить экспериментально в нерабочие или праздничные дни с соблюдением всех необходимых мер безопасности.

Выводы. По результатам исследований предложены формулы для определения газовой обстановки на выемочных участках при отключении дегазации;

способы создания безопасных условий ведения горноспасательных работ на выемочных участках при отключении систем дегазации за счет:

- заранее предусмотренных резервов воздуха;
- открывания дверей регуляторов на исходящей или подсвежающей вентиляционных струях участка, увеличивающих подачу воздуха на 30...50 %;

- снижения подачи воздуха на второстепенные объекты проветривания, расположенные в параллельных ветвях и имеющие сверхнормативную обеспеченность воздухом. Увеличение расхода воздуха 20...60 %;
- использования сжатого воздуха для усиления проветривания, предупреждения и ликвидации местных скоплений метана. Прирост расхода воздуха 70...300 м³/мин, а местные скопления метана могут быть ликвидированы на протяжении выработки в пределах 12...18 м;
- перевода вентилятора главного проветривания на более высокую характеристику. Прирост расхода воздуха на участке до 30 %;
- усиления одного из видов дегазации при применении комплексной дегазации и отключении только одного из применяемых ее видов.

Разрабатывается компьютерная программа для расчетов прироста метановыделения и резервов воздуха.

Список литературы / References

1. Воронов, П.С. Определение изменения метановыделения на выемочном участке при остановке системы дегазации / П.С. Воронов, А.В. Мавроди // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сб. материалов XII Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово. – 2017. – С. 107.

Voronov, P.S., Mavrodi, A.V. *Opredeleniye izmeneniya metanovydeleniya na vyyemochnom uchastke pri ostanovke sistemy degazatsii* [Detection of the methane release change in an extraction district during the stopping of a degassing system]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti predpriyatiy v promyshlennno razvitykh regionakh: sb. materialov XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Life safety of enterprises in industrially developed regions: collection of materials of the 12th International theoretical and practical conference]. Kemerovo, 2017, p. 107.

2. 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 vyyemochnykh uchastkov pri otklyuchenii sistem degazatsii* [Ventilation of excavation districts by cutout 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.

3. Ефремов, И.А. Основы комплексной дегазации и использования метана угольных шахт / И.А. Ефремов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 166 с.

Yefremov, I.A. *Osnovy kompleksnoy degazatsii i ispol'zovaniya metana ugol'nykh shakht* [Basic foundations of the complex degassing and methane use of coal mines]. Donetsk, DonNTU Publ., 2013, 166 p.

4. 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 – 26.

Pashkovskiy, P.S., Ivannikov, A.L. *Upravleniye degazatsiyey na vuyemochnykh uchastkakh ugol'noy shakhty v normal'nykh i avariynykh usloviyakh* [Degassing control at extraction districts of a coal mine under normal and emergency conditions]. *Gornospasatelnoye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2013, issue 50, pp. 16–26.

5. Контроль газовой обстановки в шахте [Электронный ресурс]. URL: <http://coalguide.ru/ventilyaciya-i-tb/204-kontrol-gazovoj-obstanovki-v-shakhte/> (дата обращения: 08.05.2019).

Kontrol' gazovoy obstanovki v shakhte [Elektronnyy resurs] [Control of gas conditions in a mine] [Electronic resource]. Available at: <http://coalguide.ru/ventilyaciya-i-tb/204-kontrol-gazovoj-obstanovki-v-shakhte/> (accessed 08.05.2019).

6. 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 during underground fires]. Donetsk, Arpi Publ., 2012, 448 p.

7. 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 ventilyatsionnymi vyrabotkami* [Conditions for formation of local methane accumulations at connections of longwall faces with ventilation mine workings]. *Ugol' Ukrainy – Coal of Ukraine*, 2004, no. 7, pp. 30 – 31.

Aleksandr Viktorovich Mavrodi, advanced engineer; e-mail: 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

USE OF AN AIR RESERVE AT EXTRACTION DISTRICTS DURING DISCONNECTION OF DEGASSING SYSTEMS

Purpose. Estimation of gas conditions and forming the air reserve at the extraction districts during disconnection of the degassing systems.

Methods. Analytical investigations of the process of methane entering into an upcast of the extraction district during disconnection of the degassing system.

Results. The analysis of the ventilation state of the Donets Basin coal mines, degassing systems being used and their efficiency, methane release increase process has allowed offering the design equations for determination of the gas conditions at the extraction districts during disconnection of the degassing system. The primary reasons for stopping the degassing systems and their frequency have been adduced, the possible reserves of air delivery to the extraction districts by means of change of aerodynamic resistances at the secondary objects, opening the doors of air regulators and change of main fans modes of operation have been determined.

Scientific novelty. The simple and positive-acting methods for estimation of the gas conditions, methane release control modes at the extraction districts by means of ventilation equipment and complex degassing have been proposed to create the safe conditions of carrying-out the mine-rescue operations when the degassing system is down.

Practical value. The devised methods of estimation and neutralization modes of the methane release increase will promote the higher safety of carrying-out the mine-rescue operations. The proposed methods of calculation of methane release and air reserves increase may be used during the bundled software development for the application by the depression, gas and thermal surveys services of the mine-rescue service subdivisions.

Keywords: *coal mine; extraction district; degassing systems; reasons and results of the stopping of degassing systems; methane release increase; methods of estimation of gas conditions; possible air reserves.*

III. Охрана труда и экологическая безопасность

УДК 614.891

*Анатолий Филиппович Долженков, д-р техн. наук, нач. отд.; e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;
Татьяна Олеговна Мороз, инж.; e-mail: tatiana.moroz@rambler.ru
Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной
безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 332-78-43*

ЗАЩИТА ГОЛОВЫ ПОЖАРНОГО ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Цель. Исследование параметров защитных свойств касок пожарных и оценка эффективности касок при эксплуатации в условиях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Методика. Анализ, обобщение и статистическая обработка результатов экспериментальных исследований защитных свойств касок.

Результаты. Исследовано влияние ударных нагрузок на голову пожарного и установлена прямая зависимость степени ее повреждения от действующей энергии.

Научная новизна. Найдены подходы к решению вопроса повышения уровня защиты каской головы пожарного от механических и других неблагоприятных воздействий, основанные на установлении зависимости степени ее повреждения от действующей энергии.

Практическая значимость. Предложенный метод расчета поглощения энергии удара и жесткости корпуса каски позволяет разработать требования к средствам индивидуальной защиты головы пожарного для снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Ключевые слова: травма головы; защитные свойства каски пожарного; поглощение энергии удара; жесткость корпуса каски; средство индивидуальной защиты.

Постановка задачи. Основными причинами, приводящими к травме головы и сотрясению головного мозга, являются удары: падающими предметами; головой о выступающие части машин и механизмов, элементов зданий и сооружений гражданского и промышленного строительства, разрушенных при пожаре. Повреждение механическим воздействием снижает защитные свойства каски при других опасных и вредных производственных факторах, таких, как термические воздействия и влияние агрессивных сред на голову пожарного.

Анализ последних исследований. По литературным данным [1], максимальный уровень энергии, приводящей к сотрясению головного мозга, равен 22...23 Дж, переломам костей черепа 45...52,5 Дж при деформации черепа в 1 см, что приводит к травмам различной степени тяжести.

Анализ травм, полученных при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и классифицируемых по степени тяжести, показал [2], что из расследованных случаев травм головы 64,3 % составили лёгкие травмы (ссадины, ушибы, контузии), 20,7 % – сотрясение или ушиб головного мозга, повреждение органа зрения и 16 % – случаи с летальным исходом, в которых

наиболее весома доля тяжелых черепно-мозговых травм (закрытых, открытых), сопровождающихся разрушением костей черепа.

Поэтому каска пожарного, оснащенная лицевым щитком и пелериной, предназначена для защиты головы, шеи и лица человека от механических и термических воздействий, влияния агрессивных сред, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и воды при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, а также от неблагоприятных климатических воздействий. Требования, предъявляемые к средствам индивидуальной защиты головы пожарного, сводятся к тому, что они должны обладать механической прочностью, позволяющей выдерживать вертикальный удар тупого предмета с энергией 80 Дж и острого предмета с энергией 30 Дж, исключая при этом его касание поверхности головы. Лицевой щиток должен выдерживать одиночные удары груза с энергией 1,2 Дж с сохранением работоспособности поворотного-фиксирующего устройства.

Цель исследования. Изучение параметров защитных свойств касок пожарного при эксплуатации в условиях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и оценка эффективности их защиты.

Результаты исследования. При оценке конструкции каски с точки зрения защиты головы пожарного от ударных воздействий возникает необходимость установления зависимости степени повреждения от действующей энергии. Решение этой задачи позволит прогнозировать необходимый уровень защиты и дать оценку ее эффективности.

В данном случае рассматриваем удар как материальную причину травмы, о чем упоминалось выше. Выделение удара как фактора, приводящего к травме, позволит количественно выразить механическое влияние, более четко охарактеризовать свойства средств защиты головы пожарного, состоящих, как правило, из защитной каски, лицевого щитка и пелерины, с целью установления их зависимости от энергии удара.

Оценку эффективности защиты головы от удара касками различных конструкций и изготовленных из различных материалов давали по результатам лабораторных экспериментов на стенде с вертикальным ударом. Устойчивость и амортизационную способность к вертикальной ударной нагрузке определяли по результатам испытаний касок на ударную прочность (разрушение) одним вертикально направленным ударом груза с энергией 80 Дж и трехкратным вертикально направленным ударом с энергией 50 Дж с измерением высоты безопасного зазора в момент удара. В качестве показателя эффективности защиты от удара принят процент амортизации A , %, т.е. способность средств защиты головы пожарного поглощать определенную часть воздействующей энергии, определяемый по формуле

$$A = \frac{F_0 - F_{n.ср}}{F_0} \cdot 100, \quad (1)$$

где F_0 – усилие, переданное на основание стенда без средства защиты, Н;

$F_{n.ср}$ – среднее усилие, переданное на основание стенда через средство защиты, Н.

Чтобы понять, каким образом достигается эффект защиты головы каской от удара, рассмотрим динамические процессы, построенные на основе моделирования поведения средств защиты головы пожарного в момент его соударения с грузом.

Для достижения указанных параметров при исследовании ударных воздействий необходимо, прежде всего, раскрыть условия взаимодействия материальных тел с организмом человека, поскольку с ним связаны основные физические характеристики, используемые при обосновании параметров защиты. Предъявляемые действующими нормативными документами требования к защитной каске пожарного сводятся к определению механической прочности корпуса и оснастки и способности их перераспределять и поглощать энергию удара (амортизация энергии удара) за счёт физико-механических свойств материала и конструкторских особенностей. Анализ результатов проведенных исследований показал малую информативность показателей механической прочности и амортизации каски с точки зрения риска травмирования человека. По показателям механической прочности можно определить лишь энергию, при которой каска остаётся неразрушенной. При разработке конструкции каски с точки зрения защиты головы пожарного от ударных воздействий возникает задача установления зависимости степени повреждения от действующей энергии, решение которой позволит прогнозировать необходимый уровень защиты и дать оценку ее эффективности. Наиболее информативным показателем является энергия, переданная на голову человека $E_{\text{пер}}$, Дж, определяющая разницу между энергией внешнего удара и поглощением энергии удара, рассчитываемая по формуле

$$E_{\text{пер}} = E_0 - K, \quad (2)$$

где E_0 – действующая энергия удара, Дж;

K – поглощенная энергия удара, Дж.

Интенсивность и локализация энергии удара, переданной непосредственно на голову $E_{\text{пер}}$, впервые оценивали по критериям тяжести травмирования.

Исходя из формулы (2) наиболее важными требованиями, предъявляемыми к средствам защиты головы пожарного, являются механическая прочность и способность перераспределять и поглощать энергию удара. Эти свойства в значительной степени определяют способность каски исключить травмирующее воздействие опасного фактора или снизить уровень этого воздействия.

Если выразить кинетическую энергию падающего груза W , Дж, и остаточную энергию после соударения W_1 , Дж, через потенциальную при соответствующих неизвестных положениях груза (до падения и при отскоке), то коэффициент остаточной энергии ρ будет равен

$$\rho = \frac{W_1}{W} = \frac{Ph}{PH} = \frac{h}{H}, \quad (3)$$

где H – высота падения груза, м;

h – высота отскока груза после удара, м.

При ударе, не вызывающем разрушения, каска совместно с грузом совершает свободное колебательное движение, описываемое линейным дифференциальным уравнением второго порядка [3].

Полученные из решения дифференциального уравнения формулы позволяют рассчитать жесткость и поглощение энергии удара K , Дж [1].

Поглощенную энергию удара K , Дж, определяем по формуле

$$K = (G + G_0) \frac{\tau_0}{\tau_{\Pi}} g h \ln \frac{H}{h}, \quad (4)$$

где G – масса падающего груза, кг;

G_0 – масса каски, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

τ_0 – продолжительность отскока груза, с;

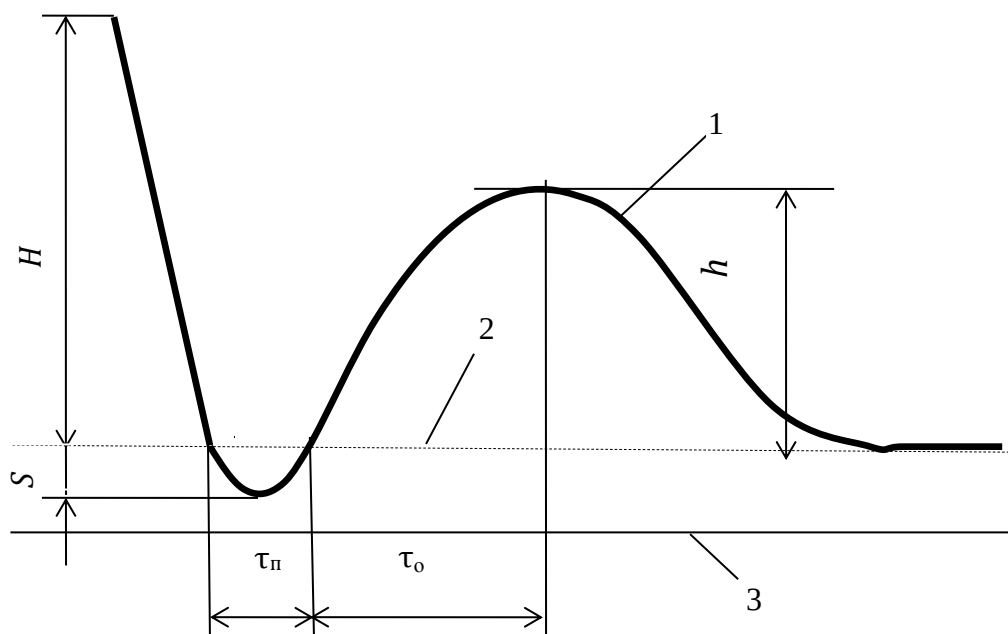
τ_{Π} – продолжительность прогиба каски, с.

Расчетную жесткость корпуса каски C , кг/м, определяем по формуле

$$C = (G + G_0) \frac{\pi^2 \tau_0^2}{8h \tau_{\Pi}^2} \left[1 + \left(\frac{\ln \frac{H}{h}}{2\pi} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Полученные формулы позволяют произвести расчет жесткости и поглощения энергии удара для каски пожарного, если будут измерены следующие параметры соударения системы «каска – падающий груз»: высота падения груза H , высота отскока h , продолжительность прогиба τ_{Π} и продолжительность отскока τ_0 . В этом случае задача получения данных для расчета поглощения удара и жесткости сводится к практическому определению значений вышеперечисленных параметров соударения (см. рисунок).

Жесткость, поглощение энергии удара и усилие, передаваемое средствами защиты на голову, являются суммирующим результатом взаимодействия основных звеньев каски – корпуса, подвески и внутренней оснастки. Поэтому определение этих характеристик необходимо не только для средств защиты головы пожарного в целом, но и для отдельных его звеньев. В связи с трудностями в определении этих величин отдельно для внутренней оснастки и подвески они приняты за одно упругое звено и впредь считается, что их значения выражаются как разность соответствующих показателей средств защиты головы пожарного в сборе и отдельно корпуса.



Движение испытательного груза в координатах «путь – время»:

1 – диаграмма движения; 2 – «линия встречи»; 3 – граница максимального прогиба;
 H – высота падения груза; h – высота отскока груза; S – прогиб; $\tau_{п}$ – время прогиба;
 $\tau_{о}$ – время отскока груза

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Таким образом, поглощение энергии и жесткость конструкции можно рассматривать как упругие характеристики средств защиты головы пожарного. Решение дифференциального уравнения, описывающего соударение испытательного груза с каской, позволило получить формулы для расчета поглощения энергии удара и жесткости корпуса каски пожарного, которые могут быть использованы на стадии их конструирования. Предложенный метод расчета поглощения энергии удара и жесткости корпуса каски позволит разработать защитные каски с высокими показателями защиты от опасных производственных факторов (механических, термических, водных и климатических воздействий) при ведении аварийно-спасательных работ.

Список литературы / References

1. Долженков, А.Ф. Характеристика степени защиты головы работающего каской шахтерской при вертикальном ударе в зависимости от величины действующей энергии / А.Ф. Долженков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка: МакНИИ, 2006. – Вып. 18. – С. 155 – 161.

Dolzhenkov, A.F. *Kharakteristika stepeni zashchity golovy rabotayushchego kaskoy shakhtyerskoy pri vertikal'nom udare v zavisimosti ot velichiny deystvuyushchey energii* [Characterization of the level of protection of the operating man's head with a miner's helmet under the vertical shock depending on the acting

energy scale]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: sb. nauch. tr.* [Methods and means of creation of safe and healthy work conditions in coal mines: collected scientific papers]. Makeyevka, MakNII, 2006, issue 18, pp. 155 – 161.

2. Мاستрюков, Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них / Б.С. Мастрюков. – М.: Академия, 2009. – 320 с.

Mastryukov, B.S. *Opasnyye situatsii tekhnogennoyo kharaktera i zashchita ot nikh* [Man-caused hazardous situations and protection against them]. Moscow, Akademiya Publ., 2009, 320 p.

3. Пути совершенствования защитных касок в свете требований европейского стандарта ЕН 397-95 / А.Ф. Долженков, Р.А. Долженков, А.Г. Квитко, Ю.В. Клименко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. – Макеевка: МакНИИ, 2003. – С. 227 – 230.

Dolzhenkov, A.F., Dolzhenkov, R.A., Kvitko, A.G., Klimenko, Yu.V. *Puti sovershenstvovaniya zashchitnykh kasok v svete trebovaniy yevropeyskogo standarta EN 397-95* [Ways of improvement of protective helmets in the light of the European standard EN 397-95]. *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh usloviy truda v ugol'nykh shakhtakh: sb. nauch. tr.* [Methods and means of creation of safe and healthy work conditions in coal mines: collected scientific papers]. Makeyevka, MakNII, 2003, pp. 227 – 230.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 26.03.2019

Anatoly Filippovich Dolzhenkov, Dr. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru;

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

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

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

FIRE-FIGHTER’S HEAD PROTECTION DURING CARRYING-OUT THE EMERGENCY-RESCUE OPERATIONS

Purpose. Investigation of protective properties of the fire-fighter’s helmets and assessment of their efficiency during the mitigation of emergencies.

Methodology. Analysis, generalization and statistical processing of results of the experimental investigations of the fire helmets protective properties.

Results. The influence of the impact loads on the fire-fighter’s head has been investigated, and the direct dependence of the degree of its trauma on the acting energy has been established.

Scientific novelty. The approaches to solving the problem of the fire-fighter’s head protection level from mechanical and other traumatic impacts with the helmet which are based on establishing the dependence of head trauma on the acting energy have been found.

Practical value. The proposed method of calculation of the impact energy absorption and the helmet case structural stiffness allow composing the requirements for the fire-fighter’s head individual protective equipment in order to reduce the impact of hazardous and harmful production factors.

Keywords: head trauma; fire-fighter’s helmet protective properties; impact energy absorption; structural stiffness of helmet case; individual protective equipment.

УДК 628.165:66.081.63

Сергей Павлович Высоцкий, д-р техн. наук, завкафедрой; e-mail: sp.vysotsky@gmail.com

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел. +38 071-391-35-97;

Олег Юрьевич Ятченко, бакалавр; e-mail: motakudji@list.ru

Автомобильно-дорожный институт Государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

284646, Горловка, ул. Кирова, 51. Тел. +38 (0624) 55-29-67

МЕМБРАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ В ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Цель. Построение динамических математических моделей работы обратноосмотических мембранных установок, подходящих для использования в современном программном обеспечении объектно-ориентированного моделирования с автоматическим выбором связей.

Результаты. Предложена динамическая математическая модель установки обратного осмоса с целью оптимизации эффективности процессов опреснения воды с повышенной минерализацией. Мембраны обратного осмоса имеют развитую поверхность с поперечным потоком в одном из основных направлений; поэтому для моделирования предположено, что они могут быть разделены на N участков, следующих за направлением потока.

Научная новизна. Обоснована модель переноса солей в мембранных установках, учитывающая многообразие факторов, влияющих на процессы опреснения. Модель проверена с помощью программы EcoSimPro, поскольку это программное обеспечение предлагает эффективное объектно-ориентировочное решение промышленных проблем.

Практическая значимость. По сравнению с предыдущими моделями особое внимание уделено динамическому моделированию системы переноса воды при изменении концентрации загрязняющих веществ. Для этого считается, что мембрана разделена на несколько секций с различными характеристиками загрязнения. Модель была разработана таким образом, чтобы ее можно было применить в рамках готового программного обеспечения, а параметры просты для получения с использованием доступных измерений установки. Она эффективно воспроизводит ожидаемое поведение установки, поэтому ее можно использовать для быстрого тестирования алгоритмов управления такого рода процессами. Расчет по предлагаемой модели показывает, что она правильно отражает ожидаемые реакции и может быть использована для оценки эффективности процесса опреснения при различных параметрах работы установки.

Ключевые слова: обратный осмос; опреснение; рН; мембрана; моделирование переноса.

Постановка проблемы. В связи с дефицитом пресных вод интенсивно внедряют технологии опреснения на основе обратного осмоса, поскольку они обеспечивают экономически эффективное решение проблемы получения питьевой воды из вод повышенной минерализации, например шахтных вод. Новые подходы, используемые в этой работе, основаны на построении моделей, подходящих для использования в современном программном обеспечении объектно-ориентированного моделирования с автоматическим выбором связей. Это позволяет сосредоточиться на вопросах моделирования, а не на задачах реализации, поскольку математическая модель, описывающая поведение

системы, может быть задана непосредственно в терминах алгебраических и дифференциальных уравнений, которые представлены и решены автоматически программным обеспечением. В частности, это позволяет использовать программное обеспечение для аппроксимации уравнений в частных производных простым способом. В нашем случае EcoSimPro позволяет эффективно моделировать задачи аналогичного уровня сложности.

Анализ последних исследований. Значительные достижения в мембранной технологии привели к улучшению качества фильтрации и общему снижению затрат. Установки обратного осмоса требуют меньших затрат энергии, инвестиций и технического обслуживания, по сравнению с другими процессами. Совершенствование системы обратноосмотического обессоливания воды и основные факторы, влияющие на этот процесс, рассмотрены в работе [1].

К сожалению, снижение затрат и экономия энергии на установках обратного осмоса до сих пор осуществлялись почти исключительно технологическим улучшением основных компонентов установки: мембран и насосов [2]. Процесс обратного осмоса по своей природе – энергоемкий, поэтому хороший контроль является основополагающим для поддержания затрат на производство воды на приемлемых уровнях и повышения доступности установки. Тем не менее существует несколько возможностей расширенного контроля такого рода процессов [3]. Усовершенствованное управление на установках обратного осмоса требует адекватных моделей для сравнения различных конструкций. Наличие представительных моделей для этих сложных систем позволяет установить влияние конструкции установки на экономию энергии и увеличение ее производительности. Существует несколько подходов к системам моделирования, обычно предоставляемых производителями мембран. Однако эти системы представляют собой только статическое моделирование, поэтому они очень полезны для выбора конфигурации и макета системы, но не учитывают динамики процесса. Отсутствие динамических моделей ограничивает применение усовершенствованного управления на установках обратного осмоса [2].

Изложение основного материала. Концентрация солей в питьевой воде, рекомендованная Всемирной организацией здравоохранения, 500 мг/дм^3 , а концентрация солей в поверхностных водах промышленных регионов обычно равна от 1500 до 2500 мг/дм^3 , поэтому до 80% солей должно быть удалено из воды. Подобная ситуация возникает и при очистке морской воды. Основным отличием является более высокая концентрация солей, которая требует более высоких давлений.

Процессы переноса пермиата через мембраны контролируются следующими факторами: плотность потока J , кг/м^2 , давление P , Па, концентрация солей C_c (соли, обуславливающие повышение осмотического давления: ионы Na^+ , Cl^- , и т.д.), уровень pH, бактерии C_b (включает другие микроорганизмы, которые загрязняют фильтры), массовая доля соединений,

способствующих образованию отложений на поверхности мембран, C_o , $C_{вв}$ (массовая доля взвешенных веществ), массовая доля активного хлора C_{Cl^+} , средства против накипи $C_{нф}$ (натрийгексамета-фосфат или др.), средство дехлорирования C_m (метабисульфит).

Для описания переноса воды через обратный осмос мембраны принята модель динамического равновесия. Следует отметить, что в литературе имеется несколько подробных динамических моделей, которые можно легко включить в предлагаемый подход: например, модели ступенчатых изменений давления [2]. Однако временные процессы, участвующие в этой динамике, настолько быстры по сравнению с динамикой потока по всей установке, что с точки зрения управления эффект этого влияния незначителен, поэтому они не включены в предложенную модель. Это позволяет быстрее моделировать алгоритмы управления на протяжении всего срока службы мембран. Исключение быстрых изменений позволяет сократить количество экспериментов, необходимых для получения параметров, описывающих процессы переноса. Параметризация предложенной модели может осуществляться путем измерения расхода, давления и концентраций солей (при различных температурах), влияющих на осмотическое давление.

Для разработки модели предполагаем, что мембраны обратного осмоса разделяют потоки, влияющие на концентрацию и давление, но не оказывающие влияния на температуру. Предлагаемый подход основан на том, что мембраны обратного осмоса имеют развитую поверхность с потоком в одном из основных направлений; поэтому для моделирования предполагается, что они могут быть разделены на N участков, следующих за направлением потока (рис. 1). В каждом из этих разделов (обозначенных $[i]$) переменные с обеих сторон мембраны считаются постоянными при условии одинакового входного и выходного давлений (соответственно $P_{вх}$ и $P_{вых}$).

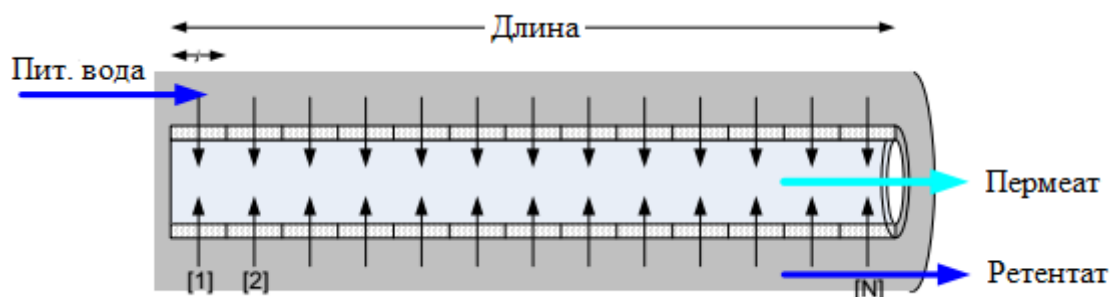


Рис. 1. Разделение мембраны на N секций для моделирования

Для каждого из этих разделов закон Фика для потока воды J_e через мембрану связан с градиентами давления и концентрации следующим уравнением:

$$J_{e[i]} = A_{[i]}(\Delta p - \Delta \pi_{[i]}), \quad (1)$$

где A – постоянная проницаемости воды (которая зависит от состава воды, количества отложений, старения мембраны, температуры и т. д.);

Δp – разность давлений по мембране;

$\Delta \pi$ – осмотическое давление;

$$\Delta \pi_{[i]} = \gamma M_{[i]} RT ; \quad (2)$$

γ – коэффициент Вант-Гоффа (среднее количество растворенного вещества в растворе на моль твердой соли);

M – средняя молярная концентрация растворенных солей;

$R = 8,314$ Дж/(моль·К);

T – температура, К.

Аналогично поток солей через сечение мембраны обратного осмоса J_c описывается как

$$J_{c[i]} = B_{[i]} (C_c^p - C_{c[i]}), \quad (3)$$

где B – константа солепроницаемости (которая зависит от состава мембраны, степени отложения загрязнений, старения и т.д.);

$C_{c[i]}$ и C_c^p – соответственно массовая доля соли на питающей и проницаемой стороне мембраны.

Константы водопроницаемости и солепроницаемости в уравнениях (1) и (3) обычно определяют экспериментально [3]. Предполагается, что они зависят от температуры и загрязнения:

$$A_{[i]} = A_0 A_{t[i]} \exp \left(a_T \frac{T - T_0}{T} \right); \quad (4)$$

$$B_{[i]} = B_0 B_{t[i]} \exp \left(b_T \frac{T - T_0}{T} \right), \quad (5)$$

где A_0 и B_0 – мембранные коэффициенты при эталонной температуре $T_0 = 291$ К;

A_t и B_t – коэффициенты, соответствующие мембранному загрязнению, подверженному старению и масштабированию; следующие уравнения (8) и (9) соответственно;

a_T и b_T – безразмерные эмпирические константы.

Селективность мембраны S , %, которая соответствует проценту задержания соли, определяется как

$$S = \left[1 - \frac{C_c^p}{C_c^{ex}} \right] \cdot 100. \quad (6)$$

Массовая доля соли на проникающей стороне мембраны может быть связана с потоками мембраны выражением

$$C_c^p = \frac{\sum J_{c[i]}}{\sum J_{\theta[i]}} p_{\theta}, \quad (7)$$

где p_{θ} – плотность воды, кг/м³.

Принято, что константа водопроницаемости постоянна по всей мембране (то есть загрязнение мембраны и старение равномерны) и мембрана имеет форму полого цилиндра (обычно в мембранах обратного осмоса), при этом можно получить модель образования отложений и очистки мембран.

Основным препятствием в применении мембранной технологии обратного осмоса для опреснения солоноватой воды является мембранное загрязнение. В большинстве случаев режим очистки основан на промывании мембранных модулей путем рециркуляции моющего раствора с высокой скоростью через модуль с последующим периодом выдержки. Этот процесс повторяется несколько раз [3].

Мембранное загрязнение моделируется при условии экспоненциального снижения проницаемости воды с течением времени с неполным восстановлением:

$$A_{t[i]} = (1 - \varphi_{1[i]} t_2) \exp\left(-\frac{t_1}{\lambda_{1[i]}}\right); \quad (8)$$

$$B_{t[i]} = (1 - \varphi_{2[i]} t_2) \exp\left(-\frac{t_1}{\lambda_{2[i]}}\right), \quad (9)$$

где t_1 – время с момента последней очистки, с;

t_2 – время с момента последней замены, с;

φ_1 и φ_2 – константы обозначают степень деструкции мембраны;

λ_1 и λ_2 – константы снижения производительности мембраны.

Следует отметить, что модель, предложенная до настоящего времени в уравнениях (1) – (9), воспроизводит обычные модели, принятые в литературе по обратному осмосу при использовании одного модуля. Таким образом, при $N=1$ он полностью проверяется и константы часто известны. Предположение о том, что мембрана разделена на секции с различными параметрами, исходит из того, что «константы» A , B , M , φ_1 , φ_2 , λ_1 и λ_2 экспериментально известны в зависимости от масштабного фактора, которой отличается в разных частях мембраны.

Таким образом, чтобы включить эффект масштабирования (и старения в результате гидролиза), в настоящей работе предложено эти константы получать

эмпирически из простой линейной модели, поскольку она может быть легко установлена из экспериментальных данных:

$$\varphi_{1[i]} = \varphi_{10} - k_{xs1}(C_{ch[i]} - C_{ch.ном}) + k_{xh1}\alpha; \quad (10)$$

$$\varphi_{2[i]} = \varphi_{20} - k_{xs2}(C_{ch[i]} - C_{ch.ном}) + k_{xh2}\alpha; \quad (11)$$

$$\lambda_{1[i]} = \lambda_{10} - k_{gs1}(C_{ch[i]} - C_{ch.ном}) + k_{gh1}\alpha; \quad (12)$$

$$\lambda_{2[i]} = \lambda_{20} - k_{gs2}(C_{ch[i]} - C_{ch.ном}) + k_{gh2}\alpha, \quad (13)$$

где φ_{10} и φ_{20} соответствуют среднему значению деструкции и деградации мембраны при образовании накипи в новых мембранах и отсутствии гидролиза, когда массовая доля солей накипи $C_{ch.ном}$, а α соответствует степени гидролиза, определенной в уравнении (14). Эта модель показывает, что массовая доля отложений C_{ch} различна на каждом участке, поэтому отложения будут различными: концентрация солей, вызывающих отложения, увеличивается вблизи выхода из-за потери воды через мембрану.

Характеристики мембранной фильтрации ухудшаются со временем, в процессе, называемом старением. Среди других факторов важна химическая деградация. Например, целлюлозно-ацетатные мембраны для процесса обратного осмоса разрушаются в результате гидролиза в быстром процессе в кислой или щелочной среде (рис. 2). Таким образом, для pH 4...5 срок службы мембраны может легко достигать 4 лет, тогда как срок службы мембраны с pH 1 или 9 – всего несколько дней. Следовательно, для мембраны из ацетата целлюлозы крайне важно контролировать pH питьевой воды.

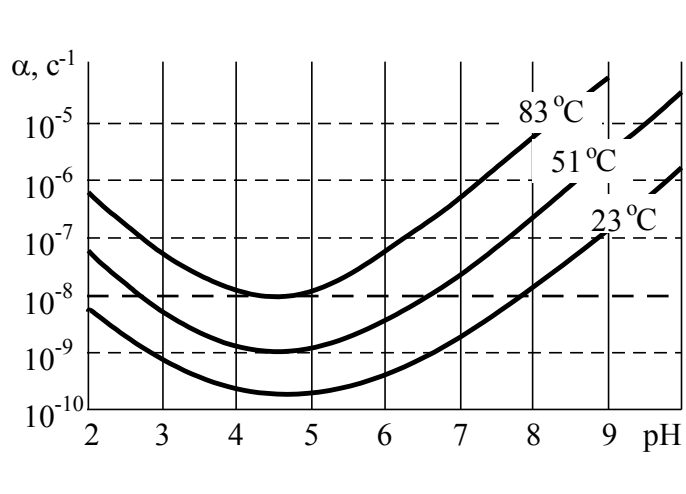


Рис. 2. Влияние pH и температуры на константу гидролиза

Для моделирования константа гидролиза α , с^{-1} , экстраполируется непосредственно из измерений температуры и pH входного потока через уравнение

$$\alpha = \alpha_0 T (pH - pH_0)^2. \quad (14)$$

Эффект также включен в параметр старения путем гидролиза, который дает ожидаемый срок службы мембраны:

$$\frac{d(c.c.)}{dt} = I_0 T (e^{|pH - pH_0|} - 1) + \kappa C_{Cl}, \quad (15)$$

где κ – константа (значение по умолчанию $\kappa = 36000 \text{ м}^3/\text{кг}$);

C_{Cl} – массовая доля окислителей (хлора);

$c.c.$ – срок службы.

Конечно, модель в уравнении (14) может быть расширена, чтобы включить изменения pH по всей мембране, но эти изменения обычно очень малы.

Выводы. Рассмотрены модели работы установок обратного осмоса для оптимизации эффективности процессов опреснения воды с повышенной минерализацией. Обоснована модель переноса солей в мембранных установках, учитывающая многообразие факторов, которые влияют на процессы опреснения. Модель проверена с помощью программы EcoSimPro, поскольку это программное обеспечение предлагает эффективное объектно-ориентировочное решение промышленных проблем.

По сравнению с предыдущими моделями особое внимание уделено динамическому моделированию системы тестирования при изменении концентрации загрязняющих веществ. Для этого считаем, что мембрана разделена на несколько секций с различными характеристиками загрязнения. Модель эффективно воспроизводит ожидаемое поведение установки, поэтому ее можно использовать для быстрого тестирования алгоритмов управления такого рода процессами.

Список литературы / References

1. Высоцкий, С.П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько. – Донецк: Каштан, 2014. – 316 с.

Vysotskiy, S.P., Gul'ko, S.Ye. *Ochistka, konditsionirovaniye i ispol'zovaniye vod povyshennoy mineralizatsii* [Cleaning, conditioning and use of waters with high salinity]. Donetsk, Kashtan Publ., 2014, 316 p.

2. Luo, Y. Simulation of osmotic pressure in concentrated aqueous salt solution. The journal of physical chemistry letters, 1(1), 2010, pp. 183 – 189.

3. Lee, C. J. Dynamic modeling and control of an industrial multistage flash desalination process. M.S. Thesis of Dept. of Chemical and Materials Engineering, Chang Gung University, Tao-Yuan, Taiwan, 2009, pp. 176 – 283.

*Рекомендовано к публикации д-ром хим. наук А.И. Сердюком.
Дата поступления рукописи 14.05.2019*

Sergey Pavlovich Vysotskiy, Dr. Sci. (Tech.), department chair; e-mail: sp.vysotsky@gmail.com

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture”

286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone (+38 071) 391-35-97;

Oleg Yuryevich Yatchenko, bachelor; e-mail: motakudji@list.ru

The Automobile Engineering Institute of the State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Donetsk National Technical University”

284646, Gorlovka, 51, ulitsa Kirova. Phone (+38 0624) 55-29-67

MEMBRANE MODELING AND CONTROL OF REVERSE OSMOSIS IN WATER-DESALINATING PLANTS

Purpose. Making of the dynamic mathematical models of operation of the reverse osmosis membrane plants compatible with up-to-date software for the object-oriented modeling with automatic link selection.

Results. The dynamic mathematical model of the reverse osmosis plant has been suggested with the objective to optimize the efficiency of desalination processes of water with high salinity. The reverse osmosis membranes have the extended surface with a transverse stream in one of the main directions; so, for the modeling we assume that they may be divided into N sections following the direction of the stream.

Scientific novelty. The model of the salts transport in the membrane plants has been substantiated taking into account the variety of factors influencing the desalination processes. The model has been tested by means of the EcoSimPro program as this software suggests the effective object-oriented solution of industrial problems.

Practical value. In comparison with the previous models the special attention has been paid to the dynamic modeling of a system for transport of water during the change in the contaminants concentration. For that it is assumed that the membrane is divided into several sections with different contaminant characteristics. The model has been designed so that it may be applied within the framework of existing computer software, and its parameters are easy to be acquired with the use of the available measurements of the plant. It simulates effectively the expected behavior of the plant that is why it may be used for the quick testing of the control algorithms for the similar processes. The calculation according to the suggested model shows that it reproduces correctly the expected reactions and may be applied for estimation of the efficiency of the desalination process by various parameters of the plant operation.

Keywords: *reversed osmosis; desalinization; pH level; membrane; modeling of transport.*

УДК 621.577.4

Сергей Павлович Высоцкий, д-р техн. наук, завкафедрой; e-mail: sp.vysotsky@gmail.com

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

286123, Макеевка, ул. Державина, 2. Тел. +38 071-391-35-97;

Руслана Владимировна Рыжова, бакалавр; e-mail: rusya.ryzhova@gmail.com

Автомобильно-дорожный институт Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

284646, Горловка, ул. Кирова, 51. Тел. +38 071-411-56-70

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ОБРАБОТКА ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Цель. Анализ применения тепловых насосов для отбора теплоты из шахтных или морских вод и оценка потенциала повышения коэффициента преобразования энергии.

Методика. Экспериментальные исследования функционирования тепловых насосов.

Результаты. Дана оценка энергетической эффективности действующей системы теплоснабжения и упаривания минерализованных вод с применением тепловых насосов, отбирающих теплоту из шахтной или морской воды. Проанализирован и оценен потенциал повышения энергоэффективности работы теплового насоса. С учетом концепции термодинамического предпочтения проанализирован и рассчитан потенциал повышения коэффициента преобразования энергии.

Научная новизна. Обоснована целесообразность использования теплоты шахтных или морских вод для систем теплоснабжения, а также упаривания минерализованных вод с применением тепловых насосов. С учетом повышенной минерализации указанных вод при их использовании для подпитки теплосети, а также в качестве источника теплоты для защиты поверхностных водных источников обосновано применение обратноосмотического или нанофильтрационного обессоливания с упариванием ретентата и использованием термокомпрессоров.

Практическая значимость. Тепловые насосы позволяют повысить экологическое совершенство систем теплоснабжения и опреснения вод повышенной минерализации за счет их применения в схемах отбора теплоты из шахтных или морских вод, а также для упаривания концентрированных водных растворов с использованием термокомпрессоров.

Ключевые слова: теплоснабжение; радиационный теплообмен; производительность; тепловой насос; термокомпрессор.

Постановка проблемы. Система централизованного теплоснабжения с применением тепловых насосов и использованием шахтной или морской воды в качестве источника теплоты является примером получения возобновляемой энергии. В этом случае используют тепловую энергию, содержащуюся в шахтной или морской воде. Страны Северной Европы, такие, как Норвегия и Швеция, занимают ведущие позиции в инженерном применении систем нагрева и охлаждения с использованием тепловых насосов для отбора теплоты из шахтной или морской воды [1, 2]. Значительный объем исследований применения тепловых насосов для указанных целей выполнен в Соединенных Штатах, Канаде, Китае и Японии [3-6]. Проанализированы применение тепловых насосов с отбором теплоты из шахтной или морской воды и потенциал повышения коэффициента преобразования энергии.

Шахтная вода, с одной стороны, является средой для переноса энергии и в таком качестве может быть использована в системах теплоснабжения [7, 8] и, с другой стороны, является источником тепловой энергии. Однако с учетом относительно низкого потенциала (температуры шахтной воды) требуется применение устройств для повышения этого потенциала.

Таковыми устройствами могут быть тепловые насосы. Указанные технические решения показывают, что комплексный подход позволяет снизить вредное воздействие горных предприятий на окружающую среду [9].

Анализ последних исследований. Изученные литературные источники [1 – 12] не дают ответа на вопрос, как результативно применять тепловые насосы для отбора теплоты из шахтных и морских вод и оценивать потенциал повышения коэффициента преобразования энергии. Поэтому актуально исследование тепловых насосов для увеличения их энергетической эффективности.

Изложение основного материала. Система использования энергии с отбором теплоты из возобновляемых источников (морская вода, почва) особенно эффективна в случае размещения потребителя на удаленных от первичных источников энергии (уголь, нефть, газ и прочее) территориях. Проанализирована система централизованного теплоснабжения для потребителей с общей площадью застройки 130000 м² (рис. 1).

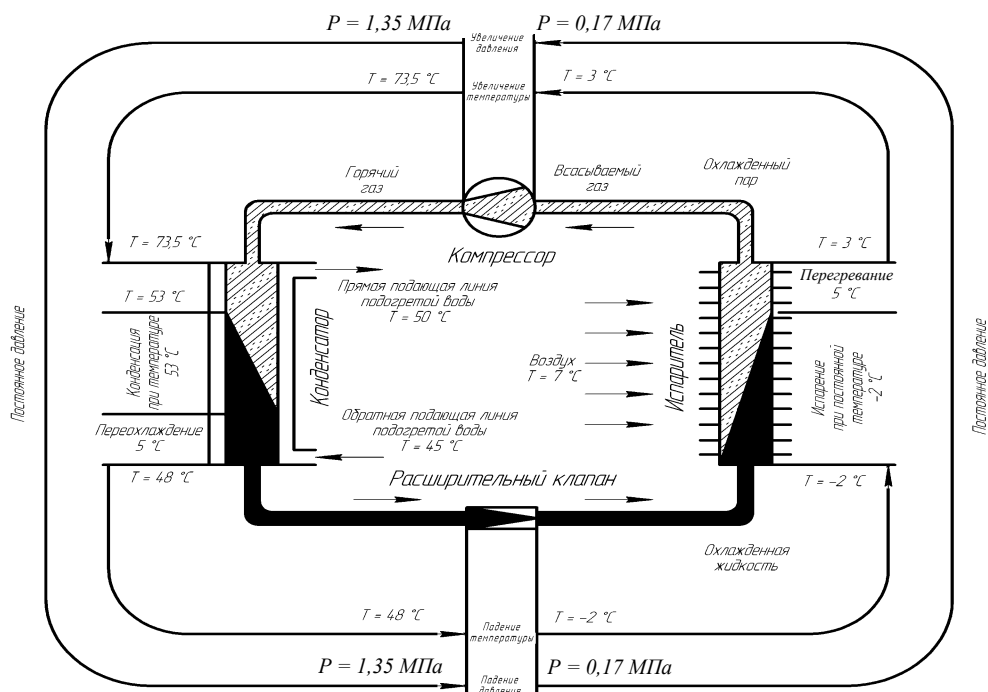


Рис. 1. Схема теплового насоса

Измерения выполнены в самый холодный период времени в данной местности. Самая низкая измеренная температура наружного воздуха минус 11 °C, а средняя температура наружного воздуха минус 7,0 °C. Из-за

относительно невысокой температуры холодильника возникает необходимость увеличения поверхности теплопередачи, это достигается за счет применения в качестве теплопередающих поверхностей напольных систем обогрева помещения. Среднюю температуру воздуха в помещении устанавливают в соответствии с требованиями национального стандарта (в Украине 22 °С). Рассчитана энергоэффективность применения теплового насоса с использованием шахтной или морской воды в качестве источника теплоты и всей системы. Один из тепловых насосов был выбран в качестве репрезентативного устройства, и собраны его эксплуатационные данные. Фактический профиль коэффициента преобразования энергии теплового насоса в течение периода его измерения показан на рис. 2. Значения этого коэффициента блока теплового насоса колебались в пределах 2,43 в диапазоне 7 % (т.е. $2,43 \pm 0,18$).

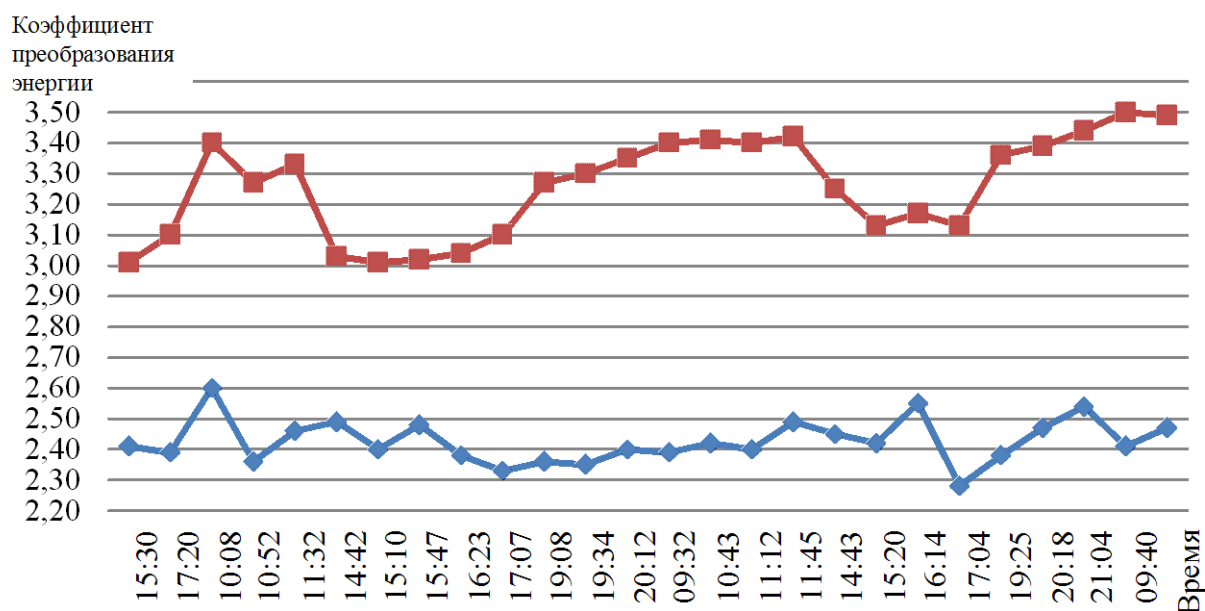


Рис. 2. Сравнение значений коэффициента преобразования энергии для традиционных и усовершенствованных систем:

— традиционная система; — усовершенствованная система

Энергоэффективность всей отопительной системы ($КПЭ_{ТС}$) с использованием теплового насоса и применением в качестве источника теплоты шахтной или морской воды — это отношение общего количества теплоты к общей входной мощности системы. Эффективность работы теплового насоса $1,86 \pm 0,20$, что относительно мало. Из рис. 3 видно, что тепловые насосы потребляли наибольшую часть электроэнергии системы (78,9 %). Следовательно, совершенствование функционирования тепловых насосов имеет ключевое значение в повышении энергоэффективности всей системы.

Эффективность применения тепловых насосов для утилизации теплоты шахтной воды существенно зависит от температуры циркулирующего

теплоносителя гликоля на выходе из испарителя и температуры теплоносителя на выходе из конденсата (рис.4).

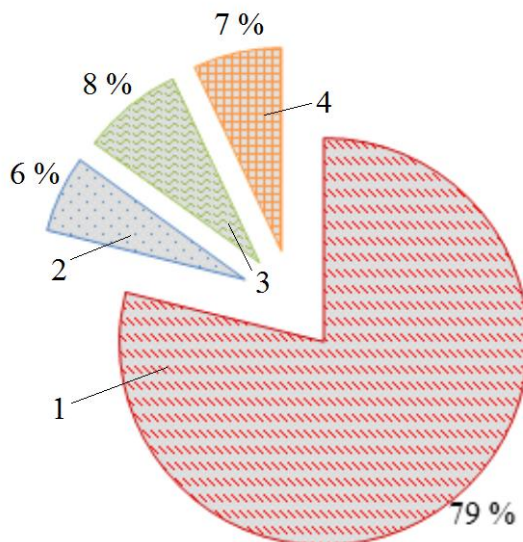


Рис. 3. Доля энергопотребления оборудованием в системе централизованного теплоснабжения:

1 – тепловые насосы; 2 – промежуточные водяные насосы;
3 – насосы морской воды; 4 – насосы для горячей воды

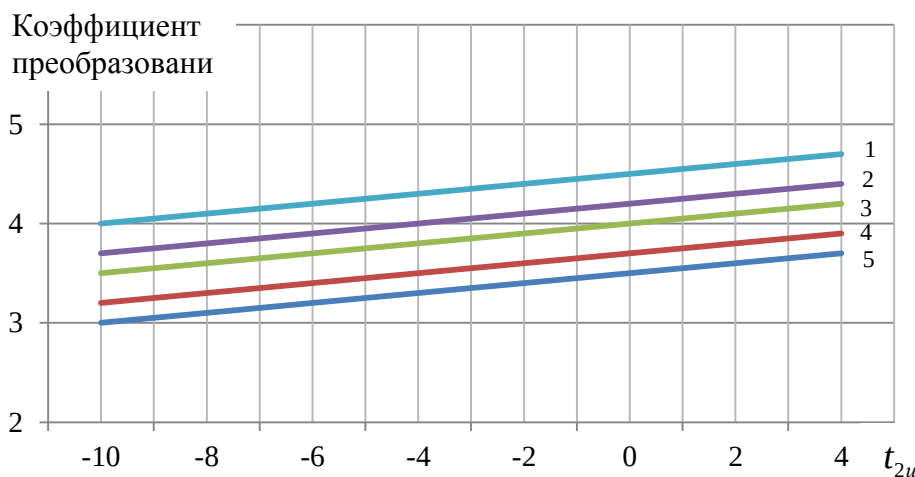


Рис. 4. Зависимость коэффициента преобразования теплового насоса «вода-вода» от температуры гликоля на выходе из испарителя t_{2u} и температуры теплоносителя на выходе из конденсатора $t_{2к}$:

1 – 30; 2 – 35; 3 – 40; 4 – 45; 5 – 50

Чтобы оценить эффективность работы теплового насоса, целесообразно использовать индекс термодинамического совершенства [10, 11]. Так называемое термодинамическое совершенство можно оценить по степени

близости фактического цикла охлаждения или нагревания к соответствующему идеальному циклу в холодильнике или тепловом насосе.

Для режима обогрева с применением теплового насоса коэффициент производительности идеального обратного цикла Карно (КПЭ_ц) при средних высоких и низких температурах в реальном проекте рассчитывают как

$$\text{КПЭ}_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{т.и}}}{T_{\text{т.и}} - T_{\text{м.в}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{т.и}}$ – средняя термодинамическая температура источника теплоты, К;
 $T_{\text{т.и}} = (T_{\text{т.и, вх}} - T_{\text{т.и, вых}}) / 2$;

$T_{\text{т.и, вх}}$ и $T_{\text{т.и, вых}}$ относятся к температуре горячей воды, поступающей и выходящей из конденсатора блока теплового насоса, К;

$T_{\text{м.в}}$ – средняя термодинамическая температура морской воды, К;
 $T_{\text{м.в}} = (T_{\text{м.в, вх}} + T_{\text{м.в, вых}}) / 2$;

$T_{\text{м.в, вх}}$ и $T_{\text{м.в, вых}}$ относятся к промежуточным температурам воды при впуске и выпуске из испарителя теплового насоса.

Затем значение термодинамического совершенства блока теплового насоса $\eta_{\text{т.н}}$ можно рассчитать по формуле (2), после того как фактические коэффициенты преобразования энергии блока теплового насоса (КПЭ_ф) получены по данным измерениям.

$$\eta_{\text{hp}} = \text{КПЭ}_{\text{ф}} / \text{КПЭ}_{\text{ц}}. \quad (2)$$

Шахтные воды отличаются от поверхностных значительной минерализацией. При их использовании в системах теплоснабжения возникает необходимость опреснения этих вод. Для этого наиболее предпочтительно применение обратноосмотической технологии. Однако при «перекачке» очищенной воды – пермеата в рассольных камерах – в ретентате накапливаются соли. При этом продувка ретентата достигает 25...35 % от расхода исходной воды. Для предотвращения загрязнения окружающей среды засоленными стоками возникает необходимость их упаривания. Учитывая то, что процесс упаривания весьма энергоемкий, в этом случае также целесообразно применение тепловых насосов, которые используют тепловую энергию самих шахтных вод. Показатели удельных расходов энергии существенно зависят от применяемых в тепловых насосах параметров процесса: степени компрессии паров воды и температуры конденсации. На рис. 5 показаны обработанные данные об использовании термокомпрессоров для упаривания воды [12].

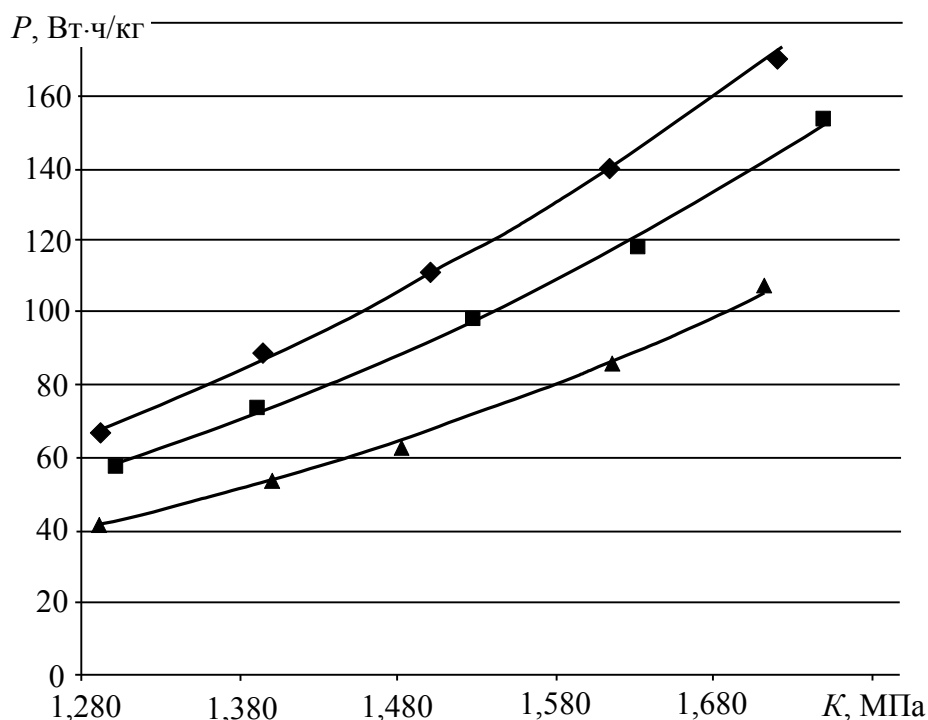


Рис. 5. Зависимость удельного энергопотребления теплового насоса P от степени сжатия K в термокомпрессоре при разных температурах вторичного пара:
◆ – $55,2^\circ\text{C}$; ■ – $59,8^\circ\text{C}$; ▲ – $65,7^\circ\text{C}$

Средняя температура подачи и возврата горячей воды $39,9$ и $36,7^\circ\text{C}$ соответственно. А средняя температура воды на входе и выходе на стороне испарителя теплового насоса $0,8$ и минус $1,2^\circ\text{C}$ соответственно. Таким образом, коэффициент преобразования энергии обратного цикла Карно при этих температурах рассчитывают как $\text{КПЭ}_\text{ц} = 8,35$. Кроме того, было получено, что фактическое среднее КПД блока теплового насоса источника шахтной или морской воды составляет $\text{КПЭ}_\text{ф} = 2,43$. Наконец, термодинамическое совершенство работы теплового насоса в проекте рассчитывают как $\eta_{\text{т.н}} = 0,29$.

Из определения индекса термодинамического совершенства очевидно, что этот индекс можно использовать для оценки термодинамической эффективности теплового насоса с точки зрения проектирования и изготовления оборудования. Однако необходимо оценить влияние условий работы теплового насоса на эффективность его использования и среднее значение коэффициента преобразования энергии в зависимости от технологических параметров.

Оценка текущего состояния показала, что индекс термодинамического совершенства тепловых насосов изменяется незначительно при изменении внешних условий в определенном диапазоне, когда коэффициент преобразования энергии варьируется в значительных диапазонах [10]. Значение термического совершенства тепловых насосов в основном равно $0,3 \dots 0,5$, а при

высококачественном изготовлении оно 0,6. Доминантное значение термического совершенства, которое представляет самый большой процент водяных тепловых насосов, составляет 0,41 [11]. Можно сделать вывод, что при использовании шахтной или морской воды потенциал повышения эффективности составляет 24,2 %.

Чтобы проверить результат, выполнен анализ работы устройства с водяными тепловыми насосами с близкой теплопроизводительностью. Было рассчитано изменение коэффициента преобразования энергии блока теплового насоса в реальных рабочих условиях в проекте и показано на рис. 2 со средним значением 3,26. В этом случае блок теплового насоса должен иметь потенциал повышения энергоэффективности до 34,6 %. Кроме того, если другие водяные насосы в системе обогрева останутся такими же, то энергоэффективность всей системы отопления с тепловым насосом при отборе теплоты от шахтной или морской воды будет увеличена на 24,2 %.

Выводы

Проанализирована система отопления с тепловыми насосами и использованием шахтной или морской воды в качестве источника теплоты на одном из предприятий. Результаты измерений и расчетов показали, что блоки теплового насоса с использованием шахтной или морской воды обеспечивают стабильную работу в течение холодного периода года, однако коэффициент преобразования энергии всей системы был относительно низким со средним значением 2,43 в течение периода измерения.

Тепловые насосы позволяют существенно повысить коэффициент использования энергии при их применении в системах опреснения или обессоливания вод после упаривания ретентата.

При применении концепции термодинамического совершенства тепловых насосов увеличение энергетической эффективности может достигать в среднем 24 %. Эффективное использование энергии может быть повышено на 34 % при применении более совершенного оборудования.

Список литературы / References

1. Keith E. Herold, Reinhard Radermacher, Sanford A. Klein. Absorption chillers and heat pumps. 2016, 2nd edition, pp. 45 – 70.
2. Baik, Young-Jin; Kim, Minsung; Chang, Ki-Chang; Lee, Young-Soo; Ra, Ho-Sang. Potential to enhance performance of seawater-source heat pump by series operation. Renewable Energy, 2014, issue 65, pp. 236 – 244.
3. Shu Haiwen, Duanmu Lin, Li Xiangli, Zhu Yingxin. Energy-saving judgment of electric-driven seawater source heat pump district heating system over boiler house district heating system. Energy and buildings, 2010, issue 42 pp. 889 – 895.

4. Shu Haiwen, Duanmu Lin, Li Xiangli, Zhu Yingxin. Quasi-dynamic energy-saving judgment of electric-driven seawater source heat pump district heating system over boiler house district heating system. *Energy and buildings*, 2010, issue 42, pp. 2424 – 2430.

5. Haiwen Shu, Lin Duanmu, Chaohui Zhang, Yingxin Zhu. Study on the decision-making of district cooling and heating systems by means of value engineering. *Renewable Energy*, 2010, issue 35, pp.1929 – 1939.

6. De Coninck, R. Grey-box based optimal control for thermal systems in buildings –Unlocking energy efficiency and flexibility. KU Leuven, Leuven (Belgium) (Ph.D. text). June 2015, pp.70 – 90.

7. Vysotsky, S.P., Konoval'chik, M.V., Gul'ko, S.Ye. Improvement of water desalination technologies in reverse osmosis plants. *Thermal Engineering*, Pleiades Publishing, Inc., 2017, vol. 64, no. 7, pp. 542 – 548.

8. Высоцкий, С.П. Экологические риски и особенности использования шахтных вод для подпитки тепловых сетей / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько // Вестник Академии гражданской защиты: науч. журн. – Донецк, 2018. – № 2(14). – С. 20 – 26.

Vysotskiy, S.P., Gul'ko, S.Ye. *Ekologicheskiye riski i osobennosti ispol'zovaniya shakhtnykh vod dlya podpitki teplovykh setey* [Ecological risks and peculiarities of the use of mine waters for replenishment of heating systems]. *Vestnik Akademii grazhdanskoy zashchity: nauch. zhurn. [Civil Defence Academy Journal of EMERCOM of DPR: scientific journal]*. Donetsk, 2018, no. 2(14), pp. 20 – 26.

9. Высоцкий, С.П. Снижение вредного воздействия горных предприятий на окружающую среду / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 1(54). – С. 56–74.

Vysotskiy, S.P., Gul'ko, S.Ye. *Snizheniye vrednogo vozdeystviya gornykh predpriyatiy na okruzhayushchuyu sredu* [Decrease of harmful influence of mining enterprises on the environment]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch.-tekhn. zhurn. [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]*. Donetsk, 2017, no. 1(54), pp. 56 – 74.

10. Ma Yitai, Ling Hong. Principle and examples of thermodynamic perfectibility of refrigeration and heat pump production. *Fluid machinery*, 2011, issue 39, pp. 71 – 75.

11. Ma Yitai, Liu Zhongyan, Li Minxia, Yan Qiuhui. Environmental performance evaluation of refrigeration and heat pump on the basis of nature degree and thermodynamic perfectibility. *Journal of refrigeration*, 2012, issue 33, pp. 1 – 4.

12. Valchev, S., Nenov, N. Determination of specific energy consumption of mechanical vapor recompression heat pump. *Scientific works of the Union of scientists in Bulgaria-Plovdiv, series C. Technics and technologies*. 2017, vol. XIV, pp. 99 – 102.

Sergey Pavlovich Vysotskiy, Dr. Sci. (Tech.), department chair; e-mail: sp.vysotsky@gmail.com

The State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture”

286123, Makeyevka, 2, ulitsa Derzhavina. Phone (+38 071) 391-35-97;

Ruslana Vladimirovna Ryzhova, bachelor; e-mail: rusya.ryzhova@gmail.com

The Automobile Engineering Institute of the State Educational Institution of Higher Occupational Education

“The Donetsk National Technical University”

284646, Gorlovka, 51, ulitsa Kirova. Phone (+38 071) 411-56-70

HEAT SUPPLY AND WASTE PROCESSING WITH THE USE OF THERMAL PUMPS

Purpose. Analysis of thermal pumps application for warmth selection from mine waters or seawaters and estimation of the higher energy conversion ratio potential.

Methods. Experimental investigations of the thermal pumps functioning.

Results. The estimation of the energy efficiency of the operating system for heat supply and evaporation of mineralized waters with the use of the thermal pumps selecting the warmth from mine waters or seawaters has been given. The higher energy efficiency potential of the thermal pump operation has been analyzed and estimated. The higher energy conversion ratio potential has been analyzed and calculated taking into account the thermodynamic preference concept.

Scientific novelty. The reasonability of the mine waters or seawaters warmth application for the heat supply systems as well as for evaporation of the mineralized waters with the use of the thermal pumps has been substantiated. Taking into account the higher mineralization of the named waters by their use for replenishment of the heating system as well as a heat source for protection of surface water sources the application of the reverse osmosis or nanofiltration desalination with evaporation of a retentate and with the use of thermocompressors has been substantiated.

Practical value. The thermal pumps allow heightening the ecological perfection of the systems for heat supply and desalination of the mineralized waters at the expense of their application in the plans for selection of the warmth from mine waters or seawaters as well as for evaporation of the concentrated water solutions with the use of the thermocompressors.

Keywords: heat supply; radiation transfer; productivity; thermal pump; thermocompressor.

УДК 614.894.732

Любовь Алексеевна Зборщик, врио нач. отд.; e-mail: oszd_niigd_1@mail.ru;

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

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

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38062) 332-78-45*

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ШЛАНГОВОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Цель. Создание шлангового дыхательного аппарата с воздухомоснабжением от пневмосети для работы в ограниченном пространстве в не пригодной для дыхания среде.

Методика. Экспериментальные методы исследований.

Результаты. Проведенные исследования позволили разработать дыхательный аппарат с воздухомоснабжением от пневмосети.

Научная новизна. Исследование закономерностей взаимовлияния сил, действующих на поршень переключателя, позволило создать автоматически срабатывающую конструкцию переключателя.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований легли в основу конструкции разработанного шлангового дыхательного аппарата с воздухомоснабжением от пневмосети для работы в ограниченном пространстве в не пригодной для дыхания среде.

Ключевые слова: *дыхательный аппарат; воздуховод; не пригодная для дыхания среда; автоматическое переключение; пневмосеть.*

Постановка проблемы. В ограниченных по объему помещениях при отсутствии достаточной вентиляции существует опасность возникновения не пригодной для дыхания среды. Это может произойти по следующим причинам: в результате горения, разложения органического материала, вытеснения кислорода более тяжелыми газами. При проведении в таких случаях аварийно-спасательных работ большой длительности целесообразным является применение шланговых дыхательных аппаратов.

Анализ последних исследований. По способу подачи воздуха шланговые дыхательные аппараты могут быть следующих конструкций:

- самовсасывающие – воздух для дыхания поступает по шлангу из чистой зоны за счет усилий, предпринимаемых человеком при дыхании; т.е. аппарат позволяет пользователю вдыхать чистый воздух самостоятельно (длина шланга обычно до 10 м);
- с принудительной подачей чистого воздуха по длинному шлангу (более 10 м) в лицевую часть с помощью нагнетателей: воздуходувки, вентилятора, компрессора после предварительной очистки воздуха при помощи противопылевого фильтра.

Разработано множество конструкций подобного типа аппаратов. Но, помимо положительных качеств (практически неограниченное время защитного

действия, простота конструкции), данные аппараты имеют недостаток – ограниченную возможность перемещения, что особенно важно в случае необходимости эвакуации.

Поэтому оптимально сочетание в одном аппарате шланговой части, которая обеспечивает штатный (стационарный) режим работы, и автономной (баллонной) части для возможности беспрепятственной эвакуации.

Существующие подобные аппараты комбинированной конструкции, например ДША «Вектор», не обеспечивают автоматического переключения на резервный источник воздухообеспечения: в случае прекращения подачи воздуха от внешнего источника пользователь должен открыть вентиль баллона носимой части аппарата. Такие аппараты комбинированной конструкции не обеспечивают безопасности пользователя, поскольку требуют дополнительных действий в экстремальной ситуации, когда каждая секунда промедления может привести к трагическим последствиям.

Переключатели, имеющие определенную степень автоматизации, применяются в водолазных аппаратах (например, АВМ-12-К) [1]. Когда давление воздуха в баллонах больше минимального, то клапан резервной подачи воздуха находится в открытом положении, обеспечивая подачу воздуха по основному проходу в необходимом для жизнедеятельности количестве. При снижении давления воздуха клапан под действием пружины закрывает основной проход запирающего устройства. В это время расход воздуха только через дюзю $5 \dots 10 \text{ дм}^3/\text{мин}$, что недостаточно для полного вдоха.

Физическое ощущение затруднённого вдоха служит сигналом о том, что воздух израсходован до резервного запаса, и пользователю необходимо выйти на поверхность. Чтобы обеспечить нормальный вдох, пользователь должен включить переключатель резервного запаса.

Для шлангового дыхательного аппарата необходимо конструктивное решение механизма переключателя, которое автоматически срабатывало бы при понижении давления воздуха в пневмосети, отсекая её, и не требовало бы дополнительных действий пользователя.

Результаты исследований. Переключатель шлангового дыхательного аппарата с воздухообеспечением от пневмосети для работы в ограниченном пространстве в не пригодной для дыхания среде должен обеспечивать герметизацию носимой части аппарата при открытом вентиле баллона, в случае прекращения подачи воздуха из пневмосети – автоматически открывать проход воздуху из баллона, отсекая шланговую часть. Такое срабатывание переключателя можно обеспечить за счёт разности воздействия сил на поршень переключателя.

Для разработки конструкции переключателя шлангового дыхательного аппарата АДВП, позволяющего автоматически отсекал негерметичную шланговую часть с одновременным началом подачи воздуха пользователю из носимого баллона, проводили исследования работы пневмосети и редуктора носимой части аппарата.

В стационарном режиме работы аппарата (от пневмосети) сила, воздействующая на поршень переключателя со стороны пневмосети, должна быть больше силы, воздействующей со стороны баллона:

$$F_{\text{пневм}} > F_{\text{балл}} , \quad (1)$$

где $F_{\text{пневм}}$ – сила, воздействующая на поршень переключателя со стороны пневмосети, Н;

$F_{\text{балл}}$ – сила, воздействующая на поршень переключателя со стороны баллона, Н.

При переключении в режим работы от баллона должно соблюдаться следующее условие, учитывающее силу трения:

$$F_{\text{пневм}} + F_{\text{трения}} < F_{\text{балл}} , \quad (2)$$

где $F_{\text{трения}}$ – сила трения поршня о стенки переключателя, Н.

Так как силы, воздействующие на поршень, прямо пропорциональны давлению и площади, то для срабатывания поршня переключателя использовано различие площадей торцевых поверхностей поршня. Для применения такого конструктивного решения необходимо определить параметры работы пневмосети. Исследована зависимость объемного расхода подаваемого компрессором воздуха от давления (рис. 1).

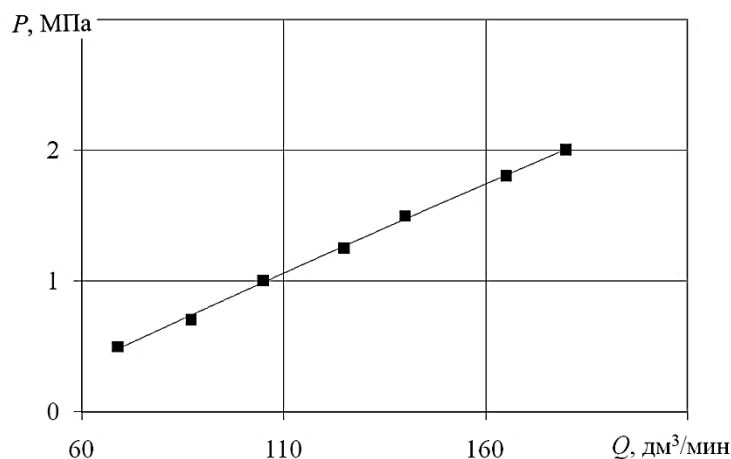


Рис. 1. Зависимость расхода воздуха Q от давления в пневмосети P

Исходя из минимально необходимого расхода воздуха 100 дм³/мин определено, что при снижении давления в пневмосети ниже 0,1 МПа необходимо срабатывание переключателя, которое происходит при соблюдении неравенства (2).

Из соотношения $P_{\text{балл}}$ и $P_{\text{пневм}}$ были определены площади поверхностей поршня переключателя, обращенные к пневмосети и к дыхательному аппарату.

Экспериментально исследовано воздействие силы трения на работу поршня переключателя и определена необходимость смазки трущихся поверхностей для безотказной работы данного механизма.

Полученные результаты использованы при разработке дыхательного воздушного аппарата с воздухомоснабжением от пневмосети АДВП (рис. 2).



Рис. 2. Дыхательный аппарат АДВП

Согласно техническому заданию данный дыхательный аппарат должен обеспечивать пользователя воздухом в стационарном режиме от компрессора (пневмосети), в аварийном режиме – от баллона со сжатым воздухом вместимостью 1 дм³, под давлением 19,6 МПа.

На основании результатов исследований разработана конструкция переключателя, обеспечивающая автоматическое его срабатывание с включением звукового сигнализатора (свистка). В разработанной конструкции переключателя имеется лишь одна подвижная деталь, выполняющая запорную и переключающую функции, что помимо простоты изготовления обеспечивает высокую надежность при эксплуатации. В качестве источника сжатого воздуха при работе в стационарном режиме применён компрессор безмасляной конструкции Abac Pole Position OL-231, обеспечивающий подачу воздуха до 230 дм³/мин с давлением до 0,8 МПа. Для увеличения степени защиты потребителя в качестве лицевой части применена маска, обеспечивающая избыточное подмасочное давление.

Благодаря применённым конструктивным решениям дыхательный аппарат АДВП (см. таблицу) даже с металлическим баллоном имеет меньшую по сравнению с аналогами массу (на 30 % по сравнению с ДША-99 и на 75 % по сравнению с ШДА «Кампо» [2, 3]).

Технические характеристики дыхательного аппарата АДВП

Параметр	Значение
Номинальное время защитного действия дыхательного аппарата в автономном (аварийном) режиме при легочной вентиляции 30 дм ³ /мин и температуре окружающей среды (298±2) К [плюс (25±2) °С], мин, не менее	5
Сопротивление выдоху при работе дыхательного аппарата в стационарном режиме при легочной вентиляции 30 дм ³ /мин, Па, не более	700
Рабочее давление в баллоне носимой части дыхательного аппарата, МПа	20,0±0,3
Срок защитного действия фильтра при подаче воздуха в воздухопроводную систему (из пневмосети) с объёмным расходом 150 дм ³ /мин, ч, не менее	10
Масса носимой части дыхательного аппарата, кг, не более	5,0
Габариты носимой части дыхательного аппарата, мм, не более	150×150×350
Масса катушки в комплекте с фильтром и воздухопроводом длиной 20 м, кг, не более	15
Избыточное давление в подмасочном пространстве при отсутствии расхода воздуха (при нулевом расходе воздуха), Па, не более	400±50
Габариты катушки в комплекте с фильтром, мм, не более мм	320×390×580
Габариты фильтра, не более, мм	95×150×160
Масса фильтра, не более, кг	2,5

Дыхательный аппарат АДВП успешно прошел предварительные и приёмочные испытания на приборах и стендах, а также с участием испытателей-добровольцев, показав при этом соответствие всем требованиям технического задания. Дополнительно к программе приемочных испытаний дыхательного аппарата АДВП по требованию заказчика были проведены испытания на человеке в условиях, имитирующих боевое применение дыхательного аппарата: испытатель, одетый в костюм химической защиты, перемещался в ограниченном пространстве. Цель испытаний – определение возможности совместного применения дыхательного аппарата АДВП и костюма химической защиты, влияния совместного использования данных средств защиты на мобильность работника, особенно при прохождении узких мест: люков, лазов и др. Вместе с дыхательным аппаратом АДВП были испытаны легкий защитный костюм Л-1 (РФ) и костюм Trellech (Швеция) (рис. 3). Местом проведения испытаний был определен колодец незаполненного аварийного пожарного водоема глубиной 10...12 м на территории Республиканского спасательного центра МЧС ДНР.



Рис. 3. Дыхательный аппарат АДВП при проведении натурных испытаний:

а – в костюме Л-1; б – в костюме Trellchem

Дыхательный аппарат АДВП оценен испытателем как удобный, не мешающий передвижениям в громоздкой одежде в стесненных условиях, дыхание в аппарате АДВП легкое, сопротивления дыханию не ощущалось. Воздуховод аппарата АДВП, обеспечивающий питание от воздушного компрессора, не затруднял передвижений и использования аппарата по назначению.

Выводы. В результате исследований разработан комбинированный шланговый дыхательный аппарат, обеспечивающий автоматическое переключение воздухопдачи на автономный источник в аварийных условиях. Переключатель имеет конструкцию, которая не требует каких-либо действий пользователя в случае отключения стационарного источника сжатого воздуха. Шланговый дыхательный аппарат успешно прошел предварительные и приемочные испытания.

Список литературы / References

1. Двухбаллонный воздушно-дыхательный аппарат АВМ-12-К [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tetis-pro.ru/catalog/284/376/> (дата обращения: 22.05.2019).

Dvukhballonnyy vozdušno-dykhatel'nyy apparat ABM-12-K [Elektronnyy resurs] [The ABM-12-K double-cylinder air breathing apparatus] [Electronic resource]. Available at: <http://www.tetis-pro.ru/catalog/284/376/> (accessed 22.05.2019).

2. Горноспасательное дело. Ч. II / под ред. В.А. Бурмистренко. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 309 с.

Gornospasatel'noye delo. Ch.II, pod red. V.A. Burmistrenko [Mine-rescue work. Part II / Burmistrenko V.A., ed.]. Yekaterinburg, UGGU Publ., 2005, 309 p.

3. Грачев, В.А. Газодымозащитная служба / В.А. Грачев, Д.В. Поповский; под общ. ред. д.т.н. проф. Е.А. Мешалкина. – М.: ООО «Столичный центр», 2006. – 379 с.

Grachyov, V.A., Popovskiy, D.V. *Gazodymozashchitnaya sluzhba, pod obshch. red. d.t.n. prof. Ye.A. Meshalkina* [Gas and smoke protective service / Dr. Sci. (Tech.), prof. Ye.A. Meshalkin, ed.]. Moscow, “Stolichnyy tsentr” Publ., 2006, 379 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 22.05.2019

Lyubov Alekseyevna Zborshchik, acting head of department; e-mail: oszd_niigd_1@mail.ru;

Ruslan Sergeyevech Pletenetskiy, scientific associate; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Viktor Ivanovich Frantsev, advanced engineer; e-mail: oszd_niigd_3@mail.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyoma. Phone (+38 062) 332-78-45

A SWITCH OF THE FRESH AIR HOSE BREATHING APPARATUS

Purpose. Development of the fresh air hose breathing apparatus with air supply from the pneumatic network for operation in the restricted space in the irrespirable environment.

Methods. Experimental methods of investigations.

Results. The conducted investigations have allowed developing the breathing apparatus with air supply from the pneumatic network.

Scientific novelty. The study of conformities of the reciprocal influence of forces having an effect on the switch piston has permitted to develop the automatically activated construction of the switch.

Practical value. The obtained investigation results formed the construction basis of the developed fresh air hose breathing apparatus with air supply from the pneumatic network for operation in the restricted space in the irrespirable environment.

Keywords: *breathing apparatus; air duct; irrespirable environment; automatic switching; pneumatic network.*

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 не решенных ранее частей общей проблемы;
- формулировка цели статьи;
- 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

2019, № 3(56)

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 28.06.2019.

Адрес редакции и издателя: НИИГД «Респиратор», ул. Артема, 157, Донецк, 283048

Телефоны: (+ 38 062) 332-78-01; 332-78-64

Объем 3,0 Мб

E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru

URL: <http://respirator.dnmchs.ru>

Дата размещения на сайте 2 июля 2019 г.