



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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК НИИГД «РЕСПИРАТОР»

Научно-технический журнал

№ 1 (54)

Выходит 4 раза в год

Основан в 1970 г.

Донецк
2017

УДК 614.8”363”+355.244.2+622.867

Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2017. – № 1 (54). – 112 с.

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

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

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

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук	В.Г. Агеев – главный редактор
д-р техн. наук	П.С. Пашковский – заместитель главного редактора
д-р техн. наук	Ю.Ф. Булгаков
д-р техн. наук	С.П. Высоцкий
д-р техн. наук	С.С. Гребёнкин
д-р техн. наук	С.П. Греков
д-р техн. наук	А.Ф. Долженков
д-р техн. наук	С.Г. Ехилевский (Республика Беларусь)
д-р техн. наук	В.Г. Игишев (Российская Федерация)
д-р техн. наук	В.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
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 № 10 от 24.11.2016).

Зарегистрирован Министерством информации ДНР.

Свидетельство о регистрации ААА № 000086 от 14.12.2016.



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

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE NIIGD “RESPIRATOR”

Scientific-technical journal

No. 1 (54)

Published quarterly

Found in 1970

Donetsk
2017

UDC 614.8”363”355.244.2+622.867

Scientific bulletin of the NIIGD “Respirator”: scientific-technical journal. – Donetsk, 2017. – No. 1 (54). – 112 p.

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

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

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

Editorial board:

Cand. Sci. (Tech.) V.G. Ageyev – editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.) P.S. Pashkovskiy – deputy editor-in-chief
Dr. Sci. (Tech.) Yu.F. Bulgakov
Dr. Sci. (Tech.) S.P. Vysotskiy
Dr. Sci. (Tech.) S.S. Grebyenkin
Dr. Sci. (Tech.) S.P. Grekov
Dr. Sci. (Tech.) A.Ph. Dolzhenkov
Dr. Sci. (Tech.) S.G. Yekhilevskiy (Republic of Belarus)
Dr. Sci. (Tech.) B.G. Igishev (Russian Federation)
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
Cand. Sci. (Tech.) V.S. Khar'kovskiy (Republic of Kazakhstan)

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

Approved for printing according to the reference of the academic council of the NIIGD “Respirator” (proceeding no. 10 from 24.11.2016).

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

State registration certificate AAA no. 000086 from 14.12.2016.

СОДЕРЖАНИЕ

TABLE OF CONTENTS

***I. Пожарная и промышленная
безопасность******I. Fire and industrial safety*****Кострубицкий А.А.**

Определение параметров прерывистой струи жидкости при её распаде над очагом пожара

7

Kostrubitskiy A.A.

Determination of parameters of the interrupted liquid jet by its disintegration above a seat of fire

**Агеев В.Г., Греков С.П.,
Глушенко К.В.** Низкотемпературная кинетика очагового окисления дисперсных органических веществ

14

**Ageyev V.G., Grekov S.P.,
Hlushenko Ch.V.** The low-temperature kinetics of the seat oxidation of disperse organic substances**Пeftибай Г.И., Галухин Н.А.,
Чайковская Э.Г.**

Математическая модель рабочих процессов шестеренного насоса объемного действия

27

**Peftibay G.I., Galukhin N.A.,
Chaykovskaya E.G.**

The mathematical model of operating procedures of a volumetric rotary gear pump

Завьялов Г.В. Противотепловой костюм спасателя с системой водяного охлаждения

36

Zav'yalov G.V. The heat protective suit of the rescuer with the water cooling system**Гавриш Ю.В.**, Буряк Д.С.

Определение оптимальных параметров шахтных пожарных трубопроводов

44

Gavrish Yu.V., Buryak D.S.

Determination of optimum parameters of mine fire pipelines

***II. Безопасность в чрезвычайных
ситуациях******II. Safety in emergencies*****Богомаз А.М.** Нейтрализация вредных веществ за счет абсорбции их мелкораспыленной водой

49

Bogomaz A.M. Neutralization of harmful substances at the expense of absorption of their surface-active materials with water fine-sprayed**Мамаев В.В., Инкарбаев Б.Д.**

Оповещение населения о чрезвычайных ситуациях

59

Mamayev V.V., Inkarbayev B.D.

Warning the population about emergencies

Высоцкий С.П., Гулько С.Е.

Снижение вредного воздействия горных предприятий на окружающую среду

65

Vysotskiy S.P., Gul'ko S.Ye.

Decrease of harmful influence of mining enterprises on the environment

**Козлитин А.А., Лебедева В.В.,
Непочатых И.Н., Лукомская Т.М.**
Идентификация
легковоспламеняющихся жидкостей
методом рефрактометрии

75

III. Охрана труда

**Пашковский П.С., Карнаух Н.В.,
Мавроди А.В.**
Проветривание выемочных участков
при отключении систем дегазации

85

Головченко Е.А.
Воздухопроницаемость угольных
целиков в зонах опорного давления

94

**Зборщик Л.А., Плетенецкий Р.С.,
Говжеев В.В., Францев В.И.**
Изолирующий самоспасатель для
эвакуации людей при пожаре

102

Требования к оформлению статьи

110

**Kozlitin A.A., Lebedeva V.V.,
Nepochatykh I.N., Lukomskaya T.M.**
Identification of highly inflammable liquids
by the refractometry method

III. Labour protection

**Pashkovskiy P.S., Karnaukh N.V.,
Mavrodi A.V.**
Ventilation of excavation districts by cutout
of degassing systems

Golovchenko Ye.A.
Air permeability of coal pillars in abutment
zones

**Zborshchik L.A., Pletenetskiy R.S.,
Govzheyev V.V., Frantsev V.I.**
Self-contained self-rescuer for evacuation of
the people by a fire

Requirements of execution of an article

I. Пожарная и промышленная безопасность

УДК 614.844.2

Алексей Александрович Кострубицкий, министр; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕРЫВИСТОЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕЁ РАСПАДЕ НАД ОЧАГОМ ПОЖАРА

Цель. Прогноз дальности подачи, времени распада и дисперсности жидкости при струйной прерывистой её подаче к очагу пожара.

Методика. Математическое моделирование динамики прерывистых струй жидкости и их распада с образованием капель жидкости над очагом пожара.

Результаты. Рассмотрены процессы распада прерывистых струй жидкости в районе очага пожара. Предложены расчётные формулы для определения дальности подачи диспергированной воды, площади поперечного сечения струи, времени её распада, диаметров образующихся капель жидкости. Установлено, что чем больше скорость истечения и объём выбрасываемой воды, тем больше площадь покрываемой зоны горения, мельче капли жидкости и тем интенсивнее тушение пожара.

Научная новизна. Результаты исследования закономерностей распада прерывистых струй жидкости позволяют повысить эффективность работы системы водяного пожаротушения.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при выборе параметров пожарного водомёта и оценке эффективности воздействия диспергированной воды на очаг пожара.

Ключевые слова: *прерывистая струя; жидкость; капли жидкости; диаметры; распад струй; время распада; дальность подачи.*

Постановка проблемы. Проблема борьбы с пожарами стоит остро для всего мирового сообщества в связи с большими материальными потерями и человеческими жертвами. Поэтому вопросы борьбы с пожарами занимают одно из основных мест. Актуальность этих вопросов в настоящее время становится все значительнее в связи с расширением использования материалов и изделий на основе полимеров [1]. Отсутствие эффективных средств борьбы с пожарами в ряде случаев становится причиной перехода его в развитую стадию с тяжёлыми последствиями.

Борьба с пожарами требует фундаментальных научных и экспериментальных исследований, результаты которых можно было бы использовать и на этапе проектирования объектов, и при их эксплуатации.

Активные способы тушения пожара связаны с непосредственным воздействием на очаг огнетушащих веществ, среди которых наибольшее распространение получила распылённая вода.

Цель исследований. Определение расчётными методами дисперсности жидкости при струйной прерывистой её подаче к очагу пожара.

Материалы и результаты исследований. Поглощение теплоты и выделение пара при подаче распыленной воды происходит гораздо интенсивнее, чем при использовании компактных струй. Однако создание тонкораспыленной струи возможно только при импульсной или прерывистой подаче воды на очаг пожара.

В ряде теоретических работ рассмотрены процессы теплообмена при пожаре и не рассматриваются процессы его тушения различными средствами. Так, предлагается для расчёта только огнетушащая концентрация, например, порошка, диспергированной воды. При этом не указано время их воздействия на очаг горения для полного тушения, не исследована эффективность воздействия на очаг применяемого средства пожаротушения.

При движении струи (рис. 1) взаимодействие жидкой и газовой фаз на границе их раздела при равновесии сил можно описать уравнением [2]

$$\zeta \rho_2 \frac{w^2}{2} = \sigma(1/R_1 + 1/R_2), \quad (1)$$

где ζ – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления;
 ρ_2 – плотность воздуха, кг/м³;
 w – продольная скорость движения струи, м/с;
 σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Па·м;
 R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны головной части струи, м.

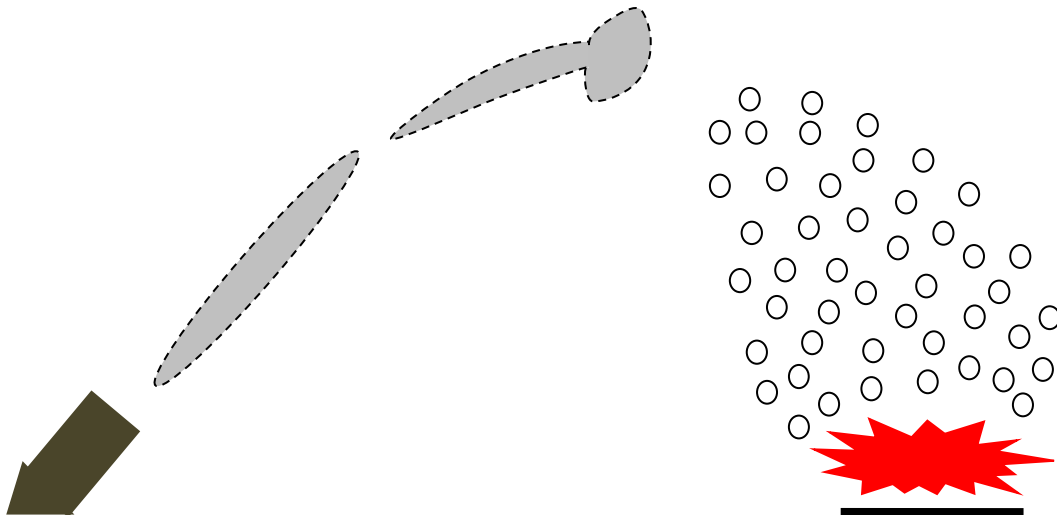


Рис. 1. Схема движения и распада прерывистых струй жидкости над очагом пожара

Из уравнения (1) следует, что чем больше кинетическая энергия струи или динамическое воздействие на неё, тем больше сила поверхностного натяжения жидкости. При равновесии сил происходит распад струи и поперечные размеры образовавшихся капель жидкости уже не будут меняться.

Определим главные радиусы кривизны прерывистой струи, которую представим в виде эллипсоида. Для эллипсоида главные радиусы кривизны в направлении движения струи R_1 , м, и поперёк её движению R_2 , м, определяются соответственно по формулам [3]

$$R_1 = 2R^2 / l; \quad R_2 = l^2 / 4R, \quad (2)$$

где R – радиус поперечного сечения струи, м²;

l – длина струи, м.

Так как объём струи равен $V = \pi R^2 l$, длина струи $l = V / (\pi R^2)$, то, подставляя это выражение в формулы (2), получим

$$R_1 = 2\pi R^4 / V; \quad R_2 = V^2 / 4\pi^2 R^5.$$

В этом случае, поскольку площадь поперечного сечения $S = \pi R^2$, м², вместо уравнения (1) будем иметь

$$\zeta \rho_2 \frac{w^2}{2} = \sigma \left(\frac{\pi V}{2S^2} + \frac{4S^{2,5}}{\pi^{0,5} V^2} \right). \quad (3)$$

Анализ полученного уравнения (3) показывает, что изменение площади поперечного сечения головной части струи будет тем больше, чем меньше турбулентная вязкость жидкости. При большой вязкости стержень струи при полёте почти не изменит формы, что соответствует физическим представлениям. В то же время при малой вязкости жидкости, которую представляет вода, форма струи будет сильно меняться и каждой скорости, в установившемся режиме, будет соответствовать своя форма струи.

При полной деформации струи и больших её вибрациях происходит окончательный её распад. Будем считать, что распад струй происходит тогда, когда площадь её поперечного сечения достигает максимально возможного значения. Это значение можно вычислить, полагая радиус боковой кривизны R_2 намного меньше радиуса фронтальной кривизны R_1 . Тогда при равновесии сил кинетической энергии струи и сил поверхностного натяжения из уравнения (3) получим

$$\zeta \rho_2 \frac{w_0^2}{2} = \sigma \frac{4S_m^{2,5}}{\pi^{0,5} V^2}, \quad (4)$$

откуда найдём максимально возможную площадь поперечного сечения струи:

$$S_m = \left[\pi^{0,5} \zeta \rho_2 \frac{w_0^2 V^2}{8\sigma} \right]^{0,4}, \quad (5)$$

где w_0 – начальная скорость струи, м/с;

$V=m/\rho_1$ – объем струи, м³;

m – масса воды, кг;

ρ_1 – плотность воды, кг/м³.

Этой площади должно соответствовать определенное время t_m , с, распада струи и её скорость. Время распада струи определим по формуле

$$t_m = \frac{1}{A_0} \ln \frac{S_m}{S_0}, \quad (6)$$

где $A_0 = \text{const}$ – критериальная константа, с⁻¹;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения струи, м².

Критическую скорость распада струи w_1 , м/с, определяем по формуле

$$w_1 = \frac{w_0}{1 + C w_0 t_m}. \quad (7)$$

Здесь коэффициент C , м⁻¹, равен

$$C = \frac{\lambda \rho_2}{R \rho_1} = \frac{2 \lambda \rho_2}{d \rho_1}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент бокового трения струи о воздух;

d – диаметр сопла, м.

Анализ формул (7) и (8) показывает, что площадь поперечного сечения головной части прерывистой струи будет увеличиваться, а скорость её движения уменьшаться по сравнению с начальными значениями.

Перепишем уравнение (7) в безразмерных координатах:

$$\bar{w}(\bar{t}) = \frac{1}{1 + K_1 \bar{t}}, \quad (9)$$

где $\bar{w} = w/w_0$ – относительная скорость;

$\bar{t} = A_0 t$ – безразмерное время;

$K_1 = C w_0 / A_0$ – безразмерный критериальный комплекс.

На рис. 2 по данным расчёта по формуле (9) представлены результаты моделирования характера изменения скорости движения струи для произвольно выбранных критериев $K_1 = 1$ и $K_1 = 2,25$.

Для расчёта дальности полёта сплошной части струи используем формулу

$$x_m = \frac{1}{C} \ln(1 + C w_0 \tau_m). \quad (10)$$

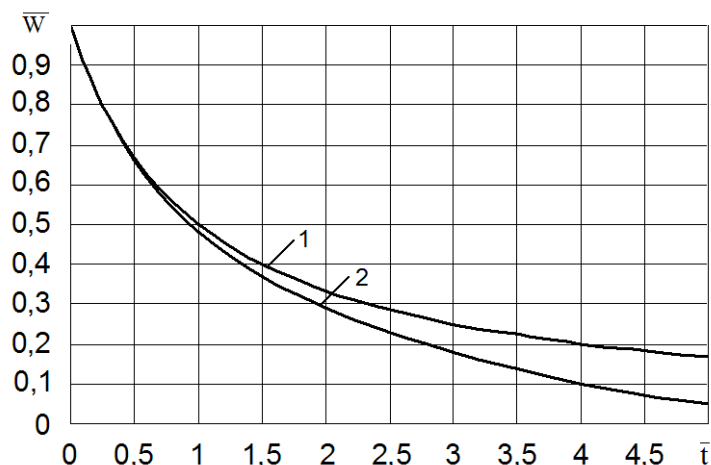


Рис. 2. Падение скорости движения импульсной струи без изменения её формы (1) и с изменением формы (2)

Определим средний диаметр капель жидкости после распада струи, полагая, что наступает равновесие аэродинамических сил и сил поверхностного натяжения жидкости, в результате чего образовавшиеся капли жидкости уже не меняют своей формы, имея одинаковые радиусы кривизны $R_1 = R_2 = d_k / 2$, где d_k – средний диаметр капель, м.

Используя уравнение (1), получим

$$\zeta \rho_2 \frac{w_0^2}{2} = \sigma(2/d_k + 2/d_k), \quad (11)$$

тогда

$$We = \frac{2\sigma/d_k}{\rho_2 w_0^2} = 4/\zeta, \quad (12)$$

где We – число Вебера.

В результате многочисленных экспериментальных исследований установлено [4], что критическое число Вебера, при котором происходит распад струй, $We_{кр} = 6$. Поскольку коэффициент турбулентного лобового аэродинамического сопротивления струи может быть принят ориентировочно равным $\zeta = 0,6$, то формула (12) будет находиться в полном соответствии с формулой для критического числа Вебера.

Таким образом, для расчёта диаметра капель воды после распада прерывистых струй согласно (12) может быть использована формула

$$d_k = \frac{8\sigma}{\zeta \rho_2 w_0^2}. \quad (13)$$

Пример. Определить параметры прерывистой струи после её распада при следующих исходных данных: начальная масса жидкости $m = 1$ кг; диаметр сопла $d = 0,013$ м; начальная скорость полёта $w_0 = 150$ м/с; $A_0 = 30$ с⁻¹; $\lambda = 0,2$; $\zeta = 0,6$; $\sigma = 0,07$ кг/(м·с²); $\rho_1 = 1000$ кг/м³; $\rho_2 = 1,3$ кг/м³.

Расчёт

Находим начальную площадь поперечного сечения струи: $S_0 = \pi R^2 = \pi d^2/4 = 0,000133$ м².

Принимая $V=m/\rho_1=0,001$ м³, находим по формуле (5) предельную площадь струи перед распадом: $S_m = 0,31$ м².

Находим по формуле (6) время распада струи: $t_m = 0,26$ с.

Определяем по формуле (8) коэффициент C : $C = 0,04$ м⁻¹.

Находим по формуле (7) скорость прерывистой струи в момент её распада: $w_1 = 58,6$ м/с.

Находим дальность полёта струи по формуле (10): $x_m = 23,4$ м.

Определяем по формуле (13) средний диаметр капель воды после распада струи: $d_k = 3 \cdot 10^{-5}$ м.

Вывод. Таким образом, проведенные исследования динамики прерывистых струй и закономерностей их распада, подтвержденные результатами математического моделирования и известными данными экспериментов, позволяют, используя полученные аналитические зависимости, определить время полёта сплошной части импульсной струи, критическую скорость распада, дальность полёта до распада и диаметр образующихся после распада капель жидкости. Полученные результаты можно использовать при выборе параметров пожарного водомёта и оценке эффективности воздействия на очаг пожара.

Список литературы / References

1. Серебренников, Е.А. Состояние дел в области пожарной безопасности в России / Е.А. Серебренников // Пожарная безопасность (специализированный каталог). – М.: Гротек, 2002. – С. 14 – 17.

Serebrennikov, Ye.A. *Sostoyaniye del v oblasti pozharnoy bezopasnosti v Rossii* [State of affairs in the sphere of fire safety in Russia]. *Pozharnaya bezopasnost' (spetsializirovannuyu katalog)* [Fire safety (specialized catalogue)]. Moscow, Grotesk Publ., 2002, pp. 14 – 17.

2. Кутателадзе, С.С. Анализ подобия в теплофизике / С.С. Кутателадзе. – Новосибирск: Наука, 1982. – 280 с.

Kutateladze, S.S. *Analiz podobiya v teplofizike* [Analysis of similarity in thermal physics]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982, 280 p.

3. Тушение газовых факелов высокоскоростными импульсными струями жидкости / А.Н. Семко, М.В. Бескровная, С.А. Виноградов, И.Н. Грицына // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2013. – Вып. 50. – С. 128 – 136.

Semko, A.N., Beskrovnaya, M.V., Vinogradov, S.A., Gritsyna, I.N. *Tusheniye gazovykh fakelov vysokoskorostnymi impul'snymi struyami zhidkosti* [Fighting the gas flames with fast pulse liquid jets]. *Gornospasatel'noye delo, sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2013, issue 50, pp. 128 – 136.

4. Семко, А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / А.Н. Семко. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.

Semko, A.N. *Impul'snyye strui zhidkosti vysokogo davleniya* [High-pressure pulse liquid jets]. Donetsk, Veber Publ., 2007, 149 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Д.Ю. Палеевым.
Дата поступления рукописи 03.11.2016

Alexey Aleksandrovich Kostrubitskiy, Minister, 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

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE INTERRUPTED LIQUID JET BY ITS DISINTEGRATION ABOVE A SEAT OF FIRE

Purpose. Prognosis of distance of feed, time of disintegration and dispersion of the liquid by its interrupted jet feed to the seat of fire.

Methods. Mathematical modeling of dynamics of the interrupted liquid jets and their disintegration with formation of drops of liquid above the seat of fire.

Results. The processes of disintegration of the interrupted liquid jets are considered in the area of the seat of fire. The design formulae to determine feed distance of water dispersed, cross-sectional area of the jet, time of its disintegration, diameters of the forming liquid drops are proposed. It is established that the more are exhaust velocity and volume of water being thrown, the smaller are the liquid drops and the more actively is the fighting of the fire.

Scientific novelty. The results of examination of regularities of disintegration of the interrupted liquid jets permit the efficiency upgrading of the water fire-fighting system.

Practical value. The results received may be used by choice of the parameters of the fire water-cannon and assessment of the efficiency of influence of water dispersed onto the seat of fire.

Keywords: *interrupted jet; liquid; drop of liquid; diameters; disintegration of jets; time of disintegration; distance of feed.*

УДК 614.841.41

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

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

Кристина Валериевна Глушенко, инж. I кат.; e-mail: kristina_hlushenko@mail.ru

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

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-13-52

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КИНЕТИКА ОЧАГОВОГО ОКИСЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Цель. Моделирование процесса очагового самонагрева насыпи органического вещества, а также получение аналитического решения задачи неизотермической кинетики окисления веществ и динамики распределения температуры по всему их объему для определения безопасных условий переработки и хранения, исключающих самопроизвольное возникновение горения.

Методика. Математическое моделирование гетерогенного процесса хемосорбции кислорода насыпью вещества с необратимой реакцией окисления первого порядка, обработка литературных данных.

Результаты. Получено математическое решение для определения температур в центре очага и скопления вещества, а также параметра, характеризующего химическую активность реакционной поверхности, принимающей участие в низкотемпературном окислении вещества. Моделирование процесса самонагрева насыпи сырья через 2, 3, 4 суток и определение значений температурных полей указывает на удовлетворительную сходимость с результатами экспериментов. Показано, что на количественное изменение температуры вещества во времени оказывает влияние теплообмен скопления травяной муки с окружающей средой, и приведены параметры его определения.

Научная новизна. Полученные аналитические зависимости позволяют определять динамику изменения температуры в очаге пожара и во всем объеме насыпи сырья через определенные промежутки времени после засыпки на хранение.

Практическая значимость. Результаты работы позволяют прогнозировать безопасные условия переработки и хранения твердых дисперсных веществ естественного происхождения.

Ключевые слова: *тепловой взрыв; очаговое самонагревание; низкотемпературное окисление; температурное поле; реакционная поверхность; дисперсный материал.*

Состояние вопроса. Существует ряд задач, связанных с низкотемпературным самонагреванием веществ в результате выделения теплоты за счет химических реакций окисления [1 – 3]. В отсутствие или при ограниченном теплообмене это приводит к самовозгоранию дисперсных веществ (углей в шахтах и на складах, зерна в хранилищах и пр.). Основные физические условия самовозгорания: способность вещества быстро окисляться при низких температурах, приток окислителя, затрудненная теплоотдача.

Практический интерес к процессам низкотемпературного гетерогенного окисления обусловлен принципиальной возможностью заранее вычислить безопасные условия проведения переработки и хранения дисперсных веществ, при которых исключается самопроизвольное возгорание.

Из литературных источников [1 – 4] и практики профилактики и тушения эндогенных пожаров известно, что насыпи дисперсных веществ окисляются при любом контакте с кислородом. Однако самовозгорание в скоплении наблюдается не всегда. Оно происходит в отдельных сравнительно небольших участках, между которыми вещество может быть весьма мало нагрето или даже обладать первичной температурой, либо температурой окружающей среды. Подобный характер самовозгорания обусловлен неоднородностью фильтрационных, сорбционных и теплопроводных свойств вещества в скоплении или в целике и различием условий взаимодействия с окружающей средой участков, расположенных на поверхности скопления и внутри него, создающих естественную неоднородность температурного поля. Так как интенсивность окисления и, следовательно, интенсивность тепловыделения находятся в прямой зависимости от температуры, то участки скопления, где температура выше, имеют тенденцию быстрее самонагреваться, чем участки с более низкой температурой (при таких же условиях контакта с кислородом). В результате усиливается неравномерность температурного поля. Даже самая незначительная разница в температуре отдельных участков скопления может привести со временем к возникновению отдельных очагов интенсивного разогревания с температурой, превосходящей температуру в остальной части скопления на несколько десятков градусов. Но в силу естественного теплообмена температура в очагах интенсивного разогревания стремится снизиться до температуры окружающей части скопления. При этом интенсивность теплоотдачи из очага, как и тепловыделение в нем, находится в прямой зависимости от температуры, но указанная зависимость, в отличие от генерации теплоты, близка к линейной. Следовательно, дальнейшее развитие такого очага зависит от соотношения скоростей изменения тепловыделения (генерации теплоты) и теплоотдачи (рассеивания теплоты).

В литературе неоднократно приводили физические модели теплового взрыва [1 – 3]. При этом, как правило, авторы рассматривают модель с первоначально заданным П-образным очагом разогревания. В действительности в начальный момент времени температура во всех точках насыпи вещества одинакова. Нагревание вещества в отдельных местах происходит за счет активизации микробиологических процессов в какой-либо части насыпи или за счет создавшихся естественных условий, когда в отдельных местах скопления находится вещество (часто – раздробленный уголь) с весьма малым размером зерен и соответственно большей реакционной поверхностью ξ , что приводит к окислению и нагреванию. В этом случае в центре очага может возникнуть неконтролируемый рост температуры, приводящий к возникновению теплового взрыва и распространяющийся на весь массив химически реагирующего вещества. В последнем случае необходимо найти распределение температуры по всей области реагирующего вещества во времени, начиная с момента $\tau > 0$ в области R_0 .

Очаговую кинетику окисления и самонагрева веществ особенно необходимо рассматривать в случаях, когда выделяющиеся при окислении газы попадают в среду, где находятся люди, делая ее не пригодной для дыхания, а при несвоевременном обнаружении приводят к отравлениям.

Цель исследований. На основании теории очагового самонагрева насыпи органических веществ получить аналитическое решение задачи неизотермической кинетики окисления веществ и динамики распределения температур по всему их объему для определения безопасных условий переработки и хранения, исключающих самопроизвольное возникновение горения.

Материалы и результаты исследований. В работе [5] сформулирована задача неизотермической кинетики хемосорбции газов сорбентом радиуса R , находящимся в потоке адсорбтива. Составлена система из двух нелинейных уравнений: математической модели процесса хемосорбции и математической модели нагревания сорбента. Предложен метод линеаризации уравнений. В связи с тем, что совместное решение сорбционного и теплового уравнений затруднительно, дана схема получения приближенного решения: решение уравнения хемосорбции, полагая постоянным и равным начальному значению T_0 ; затем решение уравнения нагревания сорбента, используя данные решения первого уравнения. Полученное значение температуры вновь используется в первом уравнении, после чего отыскиваются температуры (второе приближение). Выполненный анализ решения показал возможность ограничиться только первым приближением.

Аналитическое линеаризованное решение задачи для нагревания сорбента дано в цитируемой статье [5] для средних температур в скоплении угля и в дальнейшем было использовано в руководящих документах для расчета динамики средних температур в скоплениях. При очаговом же самонагревании насыпи органических веществ необходимо получить выражение для расчета температур в разных ее точках, полагая зарождение очага в каком-то месте, для простоты – в центре насыпи.

При постановке задачи принималась следующая физическая модель процесса. Система состоит из адсорбента в виде скопления вещества радиусом R_1 , находящегося в потоке адсорбтива. В начальный момент времени концентрация адсорбтива и температура вне и внутри объема равны. С момента времени $t > 0$ концентрация адсорбтива в скоплении частиц изменяется, с одной стороны за счет диффузии сорбента в поры скопления частиц вещества из потока, с другой – за счет сорбции на поверхности пор и химических реакций, приводящих к повышению температуры сорбента. Принимается, что химические реакции, протекающие в жидкой фазе, – необратимые реакции первого порядка. Тепло- и массообмен на границе потока с поверхностью скопления вещества происходят по закону Ньютона-Фурье.

Математическая модель нагревания сорбента сформулирована в виде

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial Fo_T} = L_{\rho_1}(\bar{T}) + \sum_{i=1}^l \Gamma'_{iT} \exp\left[-\frac{E}{RT}\right], \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \rho_1} \Big|_{\rho_1=1} &= \text{Bi} \left(\bar{T}_0(Fo_T) - \bar{T}(1, Fo_T) \right); \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial \rho_1} \Big|_{\rho_1=0} &= 0, \quad \bar{T} \Big|_{Fo_T=0} = \bar{T}_0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{где } L_{\rho_1}(\bar{T}) = \frac{1}{\rho_1^2} \frac{\partial}{\partial \rho_1} \left(\rho_1^2 \frac{\partial \bar{T}}{\partial \rho_1} \right).$$

В выражениях (1) – (2) использованы безразмерные параметры

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= r / R_1; \quad \bar{T} = T(r, t) / T_0; \\ \Gamma'_{iT} &= \frac{1}{\rho_1 C_V} k_{i0} q_i a_i \frac{R_1^2}{a_T} \frac{1}{T_c}; \\ a_T &= \frac{\lambda}{\rho_1 C_V}; \quad Fo_T = \frac{a_T t}{R_1^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где \bar{T} – относительная температура;

Fo – критерий Фурье;

Γ'_{iT} – комплексный критерий генерации и отвода теплоты;

E – энергия активации, Дж;

R – газовая постоянная, Дж·моль⁻¹·К⁻¹;

T – температура сорбента, К;

ρ_1 – плотность сорбента, кг·м⁻³;

Bi – критерий Био;

r – пространственная координата, м;

t – временная координата, с;

C_V – теплоемкость сорбента, Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

k_{i0} – константы скорости реакций окисления, с⁻¹;

- q_i – теплота реакции окисления компонентов сорбента, Дж·моль⁻¹;
 a_i – концентрация сорбата в неподвижной фазе, моль·м⁻³;
 R_1 – радиус сорбента, м;
 a_T – коэффициент внутренней теплопроводности, м²·с⁻¹;
 T_c – температура среды, К;
 λ – коэффициент теплопроводности, Вт·м⁻¹·К⁻¹.

Для линеаризации уравнения (1), как это сделано в работе [5], заменим функцию $\exp(-E/RT)$ функцией δT . Согласно предварительным расчетам для значений $280 \text{ K} < T < 500 \text{ K}$ и $500 < E < 30000$, часто встречающихся на практике, можно принять

$$\exp\left(-E/RT\right) = \delta T = \eta \exp(-E\eta_1/R)T = 3,1 \cdot 10^{-3} \exp(-3,1 \cdot 10^{-3} E/R)T, \quad (4)$$

где η, η_1 – размерные коэффициенты, К⁻¹.

Тогда вместо уравнения (1) получим

$$\partial \bar{T} / \partial \text{Fo}_T = L_{\rho_1} \left(\bar{T} \right) + \sum_{i=1}^l \Gamma_{iT} \bar{T}, \quad (5)$$

где

$$\Gamma_{iT} = \Gamma'_{iT} \delta T_c = \frac{1}{\rho_1 C_V} k_{i0} q_i a_i \eta \exp\left(-\eta_1 \frac{E}{R}\right). \quad (6)$$

Решение уравнения (4) с граничными условиями (2) получено методом разделения переменных в виде

$$\frac{T(r_1 \text{Fo})}{T_0} = 1 + \Gamma_T \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \exp\left[-\left(\mu_k^2 - \Gamma_T\right) \text{Fo}\right]}{\underbrace{\mu_k^2 - \Gamma_T}_Z} \frac{\sin \mu_k r / R}{\underbrace{\mu_k r / R}} A_k, \quad (7)$$

где μ_k – корни характеристического уравнения;

$$\text{tg} \mu = -\frac{1}{\text{Bi} - 1} \mu; \quad (8)$$

A_k – коэффициенты уравнения;

$$A_k = \frac{2 \sin \mu_k - \mu_k \cos \mu_k}{\mu_k - \sin \mu_k \cos \mu_k}. \quad (9)$$

Либо после замены тригонометрических функций μ_k и критерием Bi :

$$A_k = (-1)^{k+1} \frac{2Bi \sqrt{\mu_k^2 + (Bi - 1)^2}}{\mu_k^2 + Bi^2 - Bi}. \quad (10)$$

Выполненные расчеты по формуле (7) показали, что с достаточной точностью в выражении, обозначенном буквой Z , может быть использован только первый корень уравнения (8), т.е. принято $\mu_k = \mu_1$. Для $Bi \rightarrow 0$ (практически $Bi < 0,5$) все коэффициенты $A_k \rightarrow 0$ за исключением первого ($A_1 = 1$), а $\mu_1^2 = 3 Bi$. Тогда решение (7) можно записать так:

$$\frac{T(r_1 Fo)}{T_0} = 1 + \Gamma_T \frac{1 - \exp\left[-(3Bi - \Gamma_T) Fo\right]}{3Bi - \Gamma_T} \frac{r/R \sin \sqrt{3Bi}}{r/R \sqrt{3Bi}}. \quad (11)$$

Для других значений Bi величина μ_1 может быть найдена из рис 1.

Сумма $\sum_{k=1}^{\infty} Z A_k$ для $\mu_k = \mu_1$ может быть заменена на $Z \sum_{k=1}^{\infty} A_k$. Анализ значений A_k в сумме ряда показал, что с ошибкой, не превосходящей 1 %, можно использовать только шесть первых их значений. Вычисленная сумма

$\sum_{k=1}^6 A_k$ для $Bi < 20$ дала результат, отличающийся от 1 не более чем на 5 %.

Таким образом, выражение (7) примет вид

$$\frac{T(r_1 Fo)}{T_0} = 1 + \Gamma_T \frac{1 - \exp\left[-(\mu_1^2 - \Gamma_T) Fo\right]}{\mu_1^2 - \Gamma_T} \frac{\sin \mu_1 r / R}{\mu_1 r / R} \sum_1^6 A_k, \quad (12)$$

где $\sum_{k=1}^6 A_k \approx 1$.

Заметим, что при $Bi = 0$ ($\mu^2 = 0$) решения (6), (9), (10) переходят в найденное в работе [5]

$$\frac{T}{T_0} = \exp\left(\Gamma_T Fo\right). \quad (13)$$

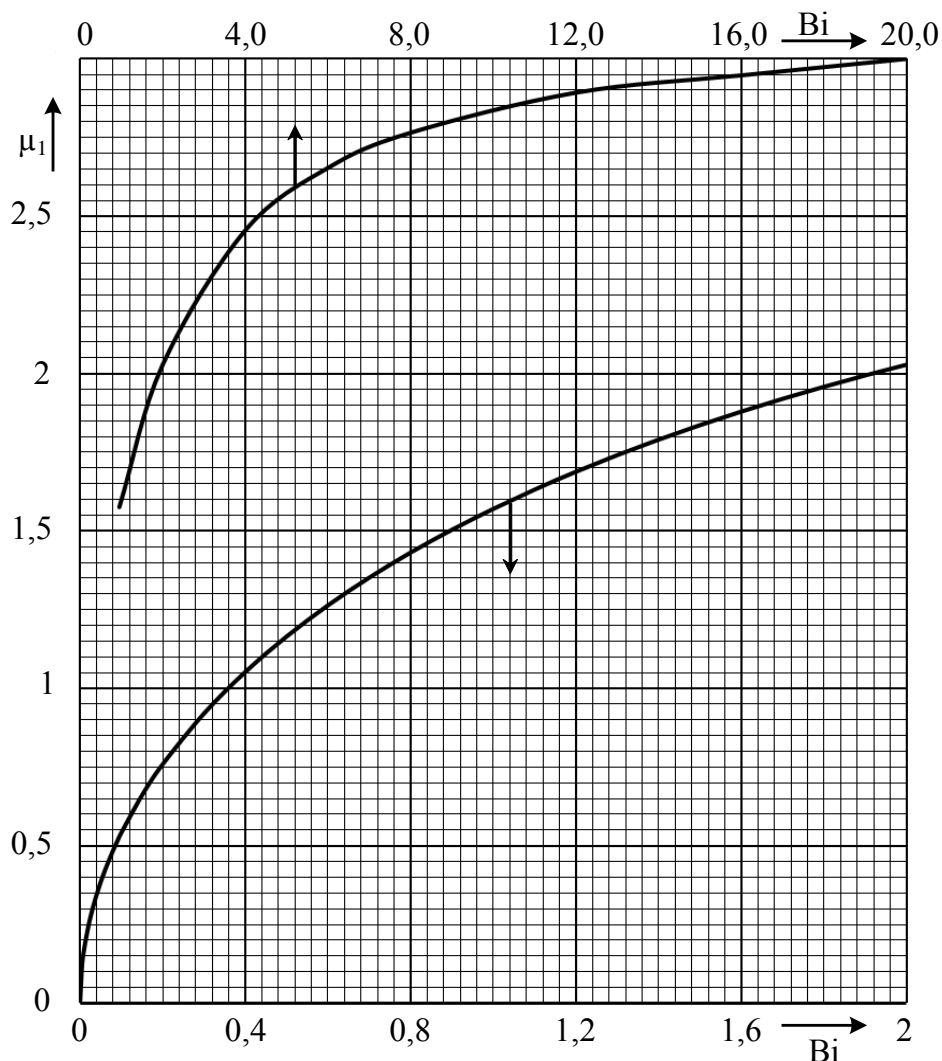


Рис. 1. Зависимость между первым корнем μ_1 характеристического уравнения (7) и критерием Bi

Выполнив некоторые математические преобразования в выражении (11), получим:

$$\frac{T(r_1 Fo)}{T_0} = 1 + \frac{1 - [\exp \Gamma_T Fo]^{-\Gamma_v}}{\Gamma_v} \frac{\sin \mu_1 r / R}{\mu_1 r / R} \sum_1^6 A_k, \quad (14)$$

где

$$\Gamma_v = \frac{\mu_1^2}{\Gamma_T} - 1, \quad (15)$$

Γ_v – показатель скорости нагревания скопления вещества.

Выражение для $\Gamma_T Fo$ может быть записано в виде

$$\Gamma_T Fo = \frac{\xi k_1 a_1 q_1 R_1^2 a_T}{\rho C_V T a_T R_1^2} t, \quad (16)$$

$\underbrace{\left[\frac{\xi k_1 a_1 q_1 R_1^2}{\rho C_V T} \right]}_A \underbrace{\left[\frac{a_T R_1^2}{R_1^2} t \right]}_{Fo}$
 $\underbrace{\left[\frac{\xi k_1 a_1 q_1 R_1^2 a_T}{\rho C_V T a_T R_1^2} t \right]}_{\Gamma_T}$

т.е. оно определяется только параметрами окисляющегося вещества, его начальной температурой и временем с начала процесса окисления и не зависит от размеров скопления.

Из анализа выражений (14) и (16) следует, что распределение температур по радиусу скопления R зависит только от произведения последних двух сомножителей в выражении (14). Поэтому для получения наглядного представления о характере распределения температур в скоплении вещества построим зависимость $\frac{\sin \mu_1 r / R}{\mu_1 r / R}$ от значения Bi (рис. 2).

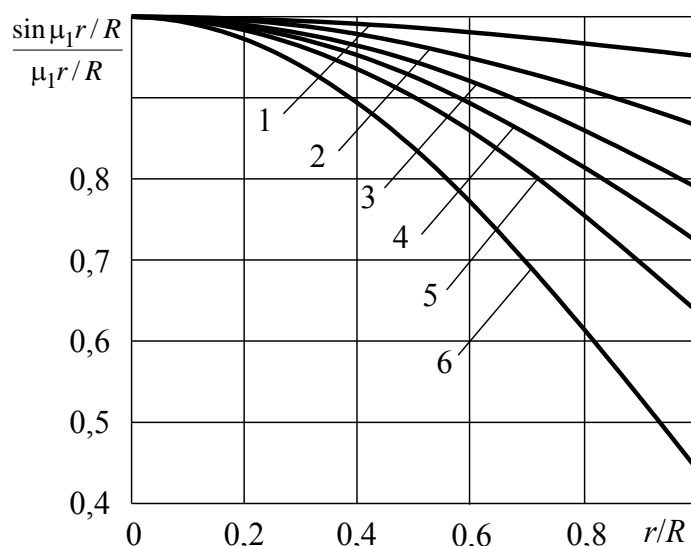


Рис. 2. Зависимость отношения $\frac{\sin \mu_1 r / R}{\mu_1 r / R}$ от r/R при разных значениях критерия Bi :

1 – $Bi = 0,1$; 2 – $Bi = 0,3$; 3 – $Bi = 0,5$; 4 – $Bi = 0,7$; 5 – $Bi = 1$; 6 – $Bi = 2$

Из анализа рис. 2 следует, что с увеличением критерия Bi разница температур в зарождающемся очаге самонагревания и на поверхности скопления увеличивается.

Для проверки адекватности предложенной математической модели самонагревания скопления органического вещества обратимся к экспериментальным данным автора [6] и смоделируем процесс самонагревания насыпи травяной муки.

Пример. Исходные данные для расчетов: $a_1 = 9,36$ моль/м³; $q_1 = 4,645 \cdot 10^5$ Дж/моль; $\rho = 230$ кг/м³; $C_V = 1800$ Дж/(кг·К); $T_0 = 293$ К; $R_1 = 0,3$ м; $k_1|_{T_1=317K} = 7,081 \cdot 10^{-10}$ с⁻¹; $k_1|_{T_2=323K} = 1,614 \cdot 10^{-9}$ с⁻¹; $k_1|_{T_3=326K} = 2,410 \cdot 10^{-9}$ с⁻¹; $a_T = 2,0 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $t_{T_1} = 2$ сут = 172800 с; $t_{T_2} = 3$ сут = 259200 с; $t_{T_3} = 4$ сут = 345600 с.

Экспериментальные данные [3] о самонагревании травяной муки для различных периодов времени представлены на рис. 3.

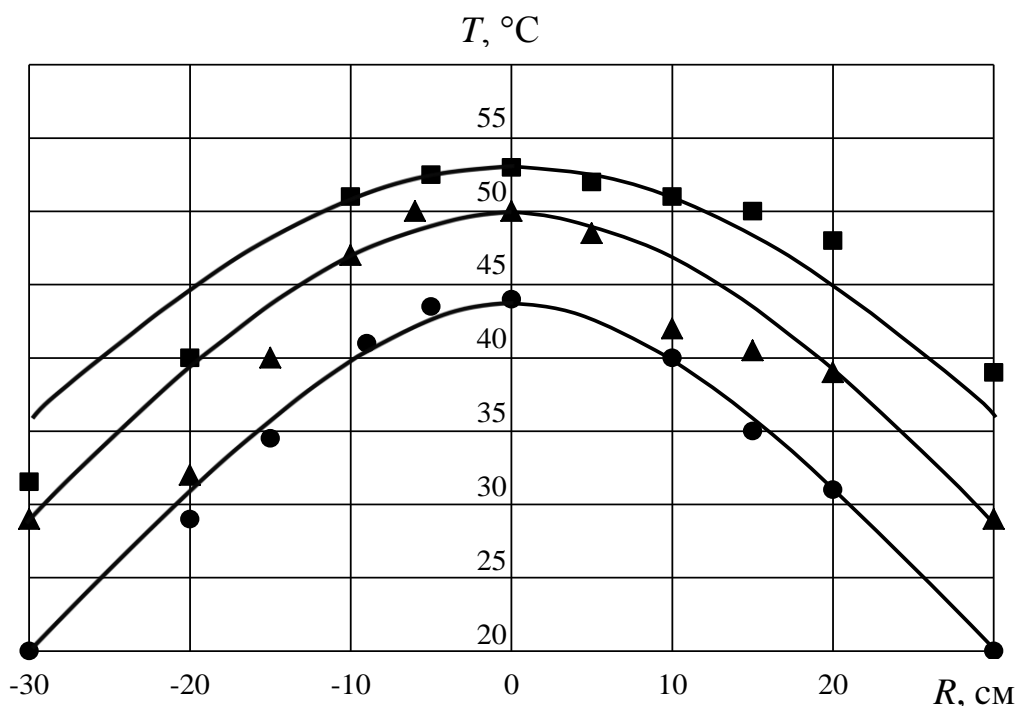


Рис. 3. Температурные поля в насыпи травяной муки:

● — $t = 2$ сут; ▲ — $t = 3$ сут; ■ — $t = 4$ сут

Решение

Полагаем вначале, что теплообмен скопления травяной муки с окружающей средой отсутствует. Тогда изменение температуры вещества во времени описывается выражением (13). Согласно экспериментальным данным (см. рис. 3) температура в центре скопления вещества через 2 сут была 44 °С (317 К). Для такой температуры значение $\Gamma_T Fo$ будет равно $\Gamma_T Fo = \ln \frac{T}{T_0} = \ln \frac{317}{293} = 0,079$.

Значение критерия Fo по формуле (3): $Fo = at / R^2 = 0,384$.

Тогда величина Γ_T равна: $\Gamma_T = \Gamma_T Fo / Fo = 0,206$.

Примем $Bi = 0,175$. Тогда параметр Γ_V согласно выражению (15)

$$\Gamma_v = \frac{\mu_1^2}{\Gamma_T} - 1 = 1,448.$$

Температура в центре скопления вещества, вычисленная по формуле (14):

$$T = T_0 \left\{ 1 + \frac{1 - [\exp \Gamma_T Fo]^{-\Gamma_v}}{\Gamma_v} \right\} = 314,87 \text{ К.}$$

Так как температура в эксперименте равна 317 К, то ее снижение до значения 314,87 К вызвано принятым теплоотводом ($Bi = 0,175$). Для учета теплоотвода необходимо увеличить параметр $\Gamma_T Fo$. Примем его большим в 1,1 раз и вновь произведем вычисления: $\Gamma_T Fo = 0,079 \cdot 1,1 = 0,0869$.

Значение критерия Fo останется неизменным и будет равно 0,384.

Величина Γ_T равна: $\Gamma_T = \Gamma_T Fo / Fo = 0,226$.

При $Bi = 0,175$ параметр Γ_v согласно (15) будет равен $\Gamma_v = \mu_1^2 / \Gamma_T - 1 = 1,230$.

Температура в центре скопления насыпи травяной муки, вычисленная по формуле (14), равна

$$T = T_0 \left\{ 1 + \frac{1 - [\exp \Gamma_T Fo]^{-\Gamma_v}}{\Gamma_v} \right\} = 317,15 \text{ К.}$$

Согласно параметрам, характеризующим адсорбент, выражение $\Gamma_T Fo$ по формуле (16) может быть записано в виде

$$\Gamma_T Fo = \frac{\xi \cdot 7,081 \cdot 10^{-10} \cdot 9,36 \cdot 4,645 \cdot 10^5 \cdot 172800}{230 \cdot 1800 \cdot 317,15} = \xi \cdot 4,05 \cdot 10^{-6}.$$

Учитывая, что для возрастания температуры в центре скопления травяной муки от 293 до 317,15 К требуется значение $\Gamma_T Fo = 0,0869$, а согласно характеристике вещества оно равно $\xi \cdot 4,05 \cdot 10^{-6}$, отсюда следует, что параметр ξ , характеризующий биологическую активность травяной муки, будет равен значению $\xi = 21457$.

Распределение температур по радиусу от центра очага нагревания вещества получаем умножением температуры $T = 317 \text{ К}$ на предпоследний член

уравнения (14), принимая $\sum_{k=1}^6 A_k = 1$. Сравнение данных опытов [6] с предлагаемой зависимостью (см. рис. 3) вполне приемлемое.

В работе [3] обосновано положение, что в небольшом интервале температур (до 100 °С) можно принять, что теплофизические характеристики вещества растительного происхождения постоянны и равны во всех направлениях в силу изотропности свойств дисперсной массы. Поэтому, используя принятые в примере данные, вычислим согласно приведенным выше формулам значения температурных полей в травяной муке по результатам опытов [6] для значений $T = 323$ и 326 К.

В результате моделирования процесса самонагрева травяной муки через 3 сут до температуры $T = 323$ К получены следующие результаты: $Bi = 0,138$; $\Gamma_T Fo = 0,11$; $Fo = 0,576$; $\Gamma_T = 0,191$; $\Gamma_v = 1,086$; $T = 323,38$ К (см. рис. 3).

Согласно характеризующим адсорбент параметрам выражение для $\Gamma_T Fo$ при температуре 323 К по формуле (16) записывается в следующем виде:

$$\Gamma_T Fo = \frac{\xi \cdot 1,614 \cdot 10^{-9} \cdot 9,36 \cdot 4,645 \cdot 10^5 \cdot 259200}{230 \cdot 1800 \cdot 323,38} = \xi \cdot 1,360 \cdot 10^{-5},$$

откуда для $\Gamma_T Fo = 0,11$ значение ξ равно 8087.

Моделирование процесса нагревания травяной муки через 4 сут до температуры $T = 326$ К дало следующие результаты: $\Gamma_T Fo = 0,118$; $Fo = 0,768$; $\Gamma_T = 0,154$; $Bi = 0,09$; $\Gamma_v = 0,722$; $T = 326,14$ К (см. рис. 3).

Значение ξ находим из выражения

$$\Gamma_T Fo = \frac{\xi \cdot 2,41 \cdot 10^{-9} \cdot 9,36 \cdot 4,645 \cdot 10^5 \cdot 345600}{230 \cdot 1800 \cdot 326,14} = \xi \cdot 2,683 \cdot 10^{-5}.$$

Принимаем $\Gamma_T Fo = 0,118$, имеем $\xi = 4398$.

Взаимосвязь между параметром ξ , характеризующим химическую активность травяной муки, и временем до самовозгорания показана на рис. 4.

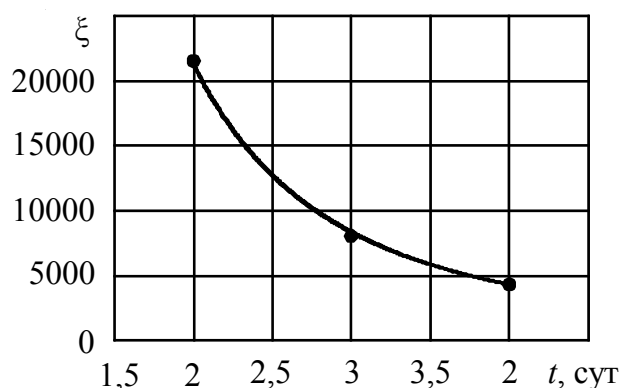


Рис. 4. Зависимость между ξ и временем до самовозгорания t

Выводы. Предложена математическая модель низкотемпературного гетерогенного процесса хемосорбции кислорода скоплением дисперсного вещества и получено решение задачи неизотермической кинетики окисления вещества. Проведен численный расчет распределения температуры во времени и пространстве для насыпи травяной муки. Получена удовлетворительная сходимость экспериментальных данных с результатами математического моделирования. Определена химическая активность реакционной поверхности травяной муки и показано, что реакционная способность вещества уменьшается с течением времени.

Список литературы / References

1. Глузберт, Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров / Е.И. Глузберт. – М.: Недра, 1986. – 160 с.

Gluzbert, Ye.I. *Teoreticheskiye osnovy prognoza i profilaktiki shakhtnykh endogennykh pozharov* [Theory of prognosis and preventive measures of the mine spontaneous fires]. Moscow, Nedra Publ., 1986, 160 p.

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

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

3. Корольченко, А.Я. Процессы горения и взрыва / А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2007. – 226 с.

Korol'chenko, A.Ya. *Protsessy gorennya i vzryva* [Combustion and explosion processes]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007, 226 p.

4. Греков, С.П. Особенности очагового самонагревания углей / С.П. Греков, П.С. Пашковский, В.П. Орликова // Пожежна безпека: зб. наук. праць ЛДУ БЖД. – 2015. – № 24. – С. 50 – 56.

Grekov, S.P., Orlikova, V.P., Pashkovskiy, P.S. *Osobennosti ochagovogo samonagrevaniya ugley* [Peculiarities of the seat spontaneous heating of coals] / *Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. prats' LDU BZhD* [Fire safety: scientific bulletin of the LDU BZhD]. 2015, no. 24, pp. 50 – 56.

5. Баклан, В.В. Неизотермическая кинетика хемосорбции газов микропористыми сорбентами / В.В. Баклан, С.П. Греков, А.Е. Калюсский // Журн. физической химии. – 1996. – Т. 70, № 8. – С. 1496 – 1498.

Baklan, V.V., Grekov, S.P., Kalyusskiy, A. Ye. *Neizotermicheskaya kinetika khemosorbtsii gazov mikroporistymi sorbentami* [Non-isothermal kinetics of chemisorption of gases with microcellular sorbates]. *Zhurnal fizicheskoy khimii – Journal of physical chemistry*, 1996, vol. 70, no. 8, pp. 1496 – 1498.

6. Вогман, Л.П. Температурные поля в насыпи травяной муки / Л.П. Вогман, А.Г. Дегтярев, А.Н. Шульга // Пожарная безопасность в насыпи промышленных объектов: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1991. – С. 69 – 74.

Vogman, L.P., Degtyaryev, A.G., Shul'ga, A.N. *Temperaturnyye polya v nasypy travyanoy muki* [Temperature fields in the embankment of the grass meal]. *Pozharnaya bezopasnost' v nasypy promyshlennykh obyektov: zb.nauch. tr.* [Fire safety in the embankment of industrial objects: scientific bulletin]. Moscow, VNIPO Publ., 1991, pp. 69 – 74.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.С. Гребёнкиным.
Дата поступления рукописи 15.08.2016

Vladimir Grigor'yevich Ageyev, Cand. Sci. (Tech.), director; e-mail: niigd@mail.ru;
Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), head of department; e-mail: obep.niigd@list.ru;
Christina Valeriyevna Hlushenko, engineer of the 1st category; e-mail: kristina_hlushenko@mail.ru
The "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the MChS DNR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-13-52

THE LOW-TEMPERATURE KINETICS OF THE SEAT OXIDATION OF DISPERSE ORGANIC SUBSTANCES

Purpose. Modeling the process of the seat spontaneous heating of the embankment of the organic substance as well receipt of the analytical solution of the problem of the non-isothermal kinetics of oxidation of the substances and dynamics of distribution of the temperature over their whole volume to determine the safe processing and storage conditions that exclude the spontaneous origin of combustion.

Methods. Mathematical modeling the heterogeneous process of sorption of oxygen with the embankment of the substance with the first-order irreversible oxidation reaction, treatment of literature data.

Results. The mathematical solution to determine the temperatures in the centre of the seat of spontaneous heating and embankment of the substance as well the parameter that defines chemical activity or the reaction surface participating in the low-temperature oxidation of the substance has been received. The modeling of the process of spontaneous heating the embankment of the raw material in 2, 3, 4 twenty-four hours and determination of the values of the temperature fields lenotes the satisfactory convergence with the results of the experiments. It is shown that the heat exchange of the accumulation of the grass meal with the environment influences on the quantitative change of the substance temperature in time, and the parameters of its determination are adduced.

Scientific novelty. The analytical dependences received allow determining the dynamics of the temperature change in the seat of origin of spontaneous heating and in the whole volume of the accumulation of the raw material at stated intervals after laying in for storage.

Practical value. The results of the work permit to forecast the safe conditions of processing and storage of the solid disperse substances of natural origin.

Keywords: *thermal explosion; seat spontaneous heating; low-temperature oxidation; temperature field; reaction surface, disperse material.*

УДК [614.846.35:621.664]: 001.891.572

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

Николай Александрович Галухин, инж. I кат.; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;

Элеонора Геннадиевна Чайковская, ведущий инж.; e-mail: niigd.osmas-4@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-12-00; 311-71-29*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ОБЪЕМНОГО ДЕЙСТВИЯ

Цель. Создание математической модели рабочих процессов составных частей насоса для исследования динамики его выходных характеристик с учетом утечек перекачиваемой жидкости, упругости стенок насоса, двухфазности перекачиваемой воды и других особенностей работы насоса.

Методика. Аналитические исследования динамических процессов на основании известных общих уравнений движения сплошной среды с использованием экспериментальных значений коэффициентов гидравлического сопротивления и потерь, коэффициентов расхода.

Результаты. Получены математические зависимости движения жидкости в стационарном и переходном режимах через составные части пожарного насоса.

Практическая значимость. На основе учета динамических явлений в шестеренном насосе могут быть обоснованы новые требования к параметрам комплектующих насоса. Выбор узлов, деталей и комплектующих насоса с учетом динамических процессов позволяет повысить надежность работы оборудования.

Ключевые слова: *шестеренный насос; математическая модель; динамические явления; предохранительный клапан; переходный процесс.*

Постановка проблемы. В практике пожаротушения широкое распространение получили шестеренные насосы НШН-600 объемного действия. Их преимущества – в простоте конструкции, самовсасывающей способности, низкой стоимости. Специфической особенностью шестеренного насоса, применяемого для перекачивания воды, является вынесение за пределы его рабочего объема подшипников качения, изолированных от перекачиваемой воды армированными манжетными уплотнениями. Манжеты защищают подшипниковые узлы от проникновения в них воды. При попадании воды происходит вымывание пластичного смазочного материала, изменение характеристики коэффициента трения и коррозия подшипников, что приводит к выходу их из строя.

Один из важнейших параметров манжетного уплотнения – максимальное давление уплотняемой среды, то есть давление насоса, действующее на уплотнительную кромку манжеты. В процессе эксплуатации насоса по назначению часто возникают ситуации, когда его выкидной рукав (напорная линия) пережат или заломлен и перекрыто проходное сечение рукава. В результате в шестеренном насосе возникают нестационарные явления [1]. Эти

явления носят характер волновых процессов, сопровождающихся забросами давления, превышающими стационарные значения, заявленные в технической характеристике насоса. Колебательные переходные процессы могут сопровождаться подворачиванием манжетных уплотнений и проникновением воды в подшипниковые узлы, разрушением переходной и соединительной арматуры, повреждением напорных рукавов. Поэтому оценка влияния динамических процессов на пожарный насос актуальна, а ее решение способствует повышению надежности.

Результаты исследований. Математическая модель рабочих процессов включает в себя математические модели рабочих процессов насоса и предохранительного клапана (рис. 1).

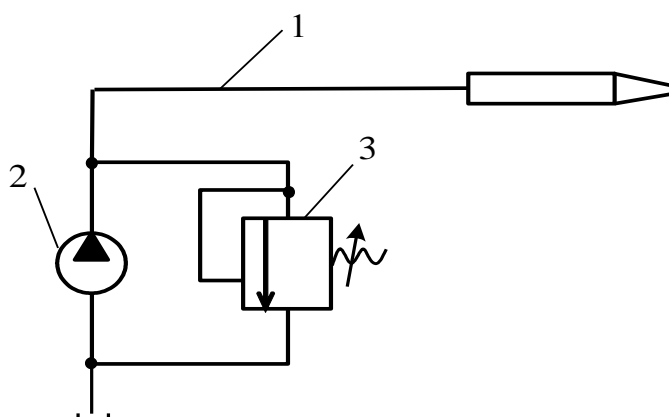


Рис. 1. Принципиальная гидросхема пожарного насоса:

1 – выкидная линия; 2 – насос; 3 – предохранительный клапан

Рассмотрим математическую модель рабочих процессов насоса. Теоретическую подачу насоса $Q_H(t)$ определяют по формуле

$$Q_H(t) = \frac{V_0}{2\pi} \omega(t) e,$$

где $Q_H(t)$ – подача насоса, м³/с;

V_0 – рабочий объем насоса, м³;

$\omega(t)$ – угловая скорость приводного вала насоса, рад/с;

e – параметр регулирования.

Принимая во внимание, что шестеренный насос является нерегулируемой гидромашинной ($e = 1$), формула для подачи насоса принимает следующий вид:

$$Q_H(t) = \frac{V_0}{2\pi} \omega(t).$$

Фактический расход воды, поступающий в очаг возгорания, всегда меньше теоретического расхода насоса за счет внутренних утечек перекачиваемой жидкости, компрессии рабочей жидкости во впадинах зубьев, деформационных потерь. Иными словами, справедливо следующее уравнение расходов:

$$Q_B(t) = Q_H(t) - Q_{\Pi}(t) - Q_D(t) - Q_K(t), \quad (1)$$

где $Q_B(t)$ – выходной расход воды, м³/с;

$Q_{\Pi}(t)$ – расход утечек перекачиваемой воды между камерами нагнетания и всасывания, м³/с;

$Q_D(t)$ – расход, обусловленный сжимаемостью двухфазной жидкости (водовоздушной смеси), м³/с;

$Q_K(t)$ – расход, вызванный компрессией воды во впадинах шестерен насоса, м³/с.

Расход утечек перекачиваемой воды в шестеренном насосе находят по выражению

$$Q_{\Pi}(t) = C_{\text{нп}} \left[P_H(t) - P_{\text{вс}} \right], \quad (2)$$

где $C_{\text{нп}}$ – коэффициент утечек перекачиваемой насосом жидкости, м⁴/кг;

$P_H(t)$ – давление насоса, Па;

$P_{\text{вс}}$ – давление во всасывающей камере насоса, Па.

Деформационный расход насоса обусловлен сжимаемостью водовоздушной смеси и определяется формулой

$$Q_D(t) = \frac{V_H}{E_{\text{ж}}} \frac{dP_H(t)}{dt}, \quad (3)$$

где V_H – объем воды в полости насоса, м³;

$E_{\text{ж}}$ – объемный модуль упругости двухфазной жидкости – воды и воздуха, МПа.

Объемный модуль упругости двухфазной жидкости находится по формуле [2]

$$E_{\text{ж}} = K(P_H + 1)(AP_H + B) \frac{(1 + m_0)D_1 + m_0D_2}{K(P_H + 1)(1 - m_0)D_1 + m_0(AP_H + B)D_2},$$

где K – показатель политропы, $K=1 \dots 1,4$;

A и B – параметры перекачиваемой жидкости, зависящие от рабочей температуры;

m_0 – объемная доля нерастворенного воздуха в воде;

$$D_1 = \sqrt[A]{\frac{AP_0 + B}{AP_H + B}}; \quad D_2 = \sqrt[K]{\frac{P_0 + 1}{P_H + 1}};$$

P_0 – атмосферное давление; $P_0 = 0,1$ МПа.

Расход, обусловленный компрессией, определяется из выражения

$$Q_K(t) = C_H \left[P_H(t) - P_{вс} \right] \frac{\omega_H(t)}{E_{ж}}, \quad (4)$$

где $C_H = \frac{(2W_{HM} + W_H)}{2}$ – коэффициент пропорциональности, м³;

W_{HM} – характерный «мертвый» объем насоса, м³; $W_{HM} = V_{HM} / 2\pi$;

V_{HM} – «мертвый» объем насоса, составляющий до 10 % от его рабочего объема, м³; $V_{HM} = 0,1V_0$;

W_H – характерный объем насоса, м³; $W_H = V_0 / 2\pi$;

$P_{вс}$ – давление в полости всасывания, Па.

При подстановке в уравнение (1) выражений (2), (3) и (4) получим расход воды, подаваемой на тушение пожара:

$$Q_H(t) = \frac{V_0}{2\pi} \omega(t) - C_{HP} \left[P_H(t) - P_{вс} \right] - \frac{V_H}{E_{ж}} \frac{dP_H(t)}{dt} - C_H \left[P_H(t) - P_{вс} \right] \frac{\omega_H(t)}{E_{ж}}.$$

Далее рассмотрим математическую модель рабочих процессов предохранительного клапана. Из анализа расчетной схемы конусного тарельчатого клапана (рис. 2) видно, что рабочая модель не является острокромочной, а поэтому коэффициент расхода зависит от высоты поднятия клапана. Из работы [3] известна эмпирическая формула Баха для коэффициента сопротивления рабочей щели тарельчатого клапана, отнесенная к скорости во входном канале клапана

$$\xi_B = 2,6 - 0,8 \frac{d}{x} + 0,14 \left(\frac{d}{x} \right)^2,$$

где d – диаметр входного канала, м;

x – ход клапана, м.

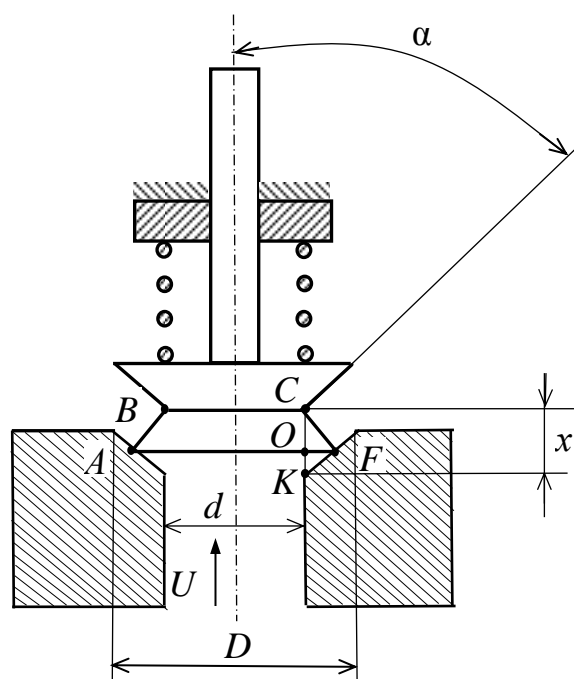


Рис. 2. Схема тарельчатого клапана

Используя формулу потерь давления для местного сопротивления

$$\Delta p = \xi_B \frac{\rho U^2}{2} \text{ и учитывая, что } U = \frac{Q}{S},$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

U – скорость жидкости во входном канале клапана, м/с;

Q – расход жидкости во входном канале, м³/с;

S – площадь сечения входного канала, м²;

получим

$$\Delta p = \xi_B \frac{\rho Q^2}{2S^2}.$$

Поскольку расход жидкости во входном канале клапана равен расходу жидкости в его рабочей щели, имеем

$$Q_{\text{кл}}(t) = \frac{S}{\xi_B(t)} \sqrt{2/\rho} \sqrt{P_{\text{н}}(t) - P_{\text{вс}}}$$

или в развернутом виде получим

$$Q_{\text{кл}}(t) = \frac{\pi d^2}{4 \sqrt{2,6 - 0,8 \frac{d}{x(t)} + 0,14 \left[\frac{d}{x(t)} \right]^2}} \sqrt{2/\rho} \sqrt{P_{\text{н}}(t) - P_{\text{вс}}}.$$

Дифференциальное уравнение движения клапана запишем в виде

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = S_1 P_{\text{н}}(t) - S_2 P_{\text{вс}} - F_{\text{п}}(t) - F_{\text{тр}} + F_{\text{гд}}(t),$$

где m – масса подвижных частей клапана, кг;

$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ – площадь действия давления насоса, м²;

$S_2 = \frac{\pi D^2}{4}$ – площадь действия давления $P_{\text{вс}}$, м²;

$F_{\text{п}}(t)$ – усилие пружины, Н;

$F_{\text{тр}}$ – сила сухого трения, Н;

$F_{\text{гд}}(t)$ – гидродинамическая сила, Н;

D – диаметр тарелки клапана, м.

Силу упругости пружины находим по формуле

$$F_{\text{п}}(t) = c[x(t) - x_0],$$

где c – жесткость пружины, кг/с²;

x_0 – предварительное натяжение (деформация) пружины, м.

Силу сухого трения определяем по выражению

$$F_{\text{тр}}(t) = F_0 \text{sign} \frac{dx}{dt},$$

где F_0 – модуль силы трения;

$$\text{sign} \frac{dx}{dt} = \begin{cases} +1 \text{ при } \frac{dx}{dt} > 0 \\ -1 \text{ при } \frac{dx}{dt} < 0. \end{cases}$$

Гидродинамическая сила, открывающая клапан, равна

$$F_{\text{гд}}(t) = Q_{\text{кл}}(t) \rho (U - U_1 \sin \alpha),$$

где U_1 – средняя скорость жидкости в проходной щели клапана, м/с;
 α – угол отклонения струи, ...°.

Для определения скорости U_1 рассмотрим процесс истечения жидкости в конусном тарельчатом клапане (см. рис. 2). При построении поверхности истечения учитывали, что AB и FC – образующие конуса – перпендикулярны (наиболее узкое место) площади поверхности седла, т.е. треугольник CFK – прямоугольный. Принимая во внимание, что $\angle CKF = \alpha$, получим выражение для образующей CF конуса $ABCF$:

$$CF = x \sin \alpha,$$

где α – угол конусности клапана (совпадает с углом отклонения струи), ...°.

Площадью истечения является боковая поверхность усеченного конуса $ABCF$, которая находится по формуле

$$S_{\text{щ}} = \pi l(r + R),$$

где l – образующая конуса, м;

$r = d/2$ – радиус меньшего основания конуса, м;

R – радиус большего основания конуса, м.

Из анализа рис. 2 следует, что $R = r + OF$. Поскольку $OF = x \sin \alpha \cos \alpha$, то $R = r + x \sin \alpha \cos \alpha$. Следовательно, $S_{\text{щ}} = \pi x \sin \alpha (d + 0,5 x \sin 2\alpha)$.

$$\text{Так как } U = \frac{4Q_{\text{кл}}(t)}{\pi d^2}, \text{ а } U_1 = \frac{Q_{\text{кл}}(t)}{S_{\text{щ}}} = \frac{Q_{\text{кл}}(t)}{\pi x \sin \alpha (d + 0,5 x \sin 2\alpha)},$$

то

$$F_{\text{гд}}(t) = Q_{\text{кл}}^2(t) \frac{\rho}{\pi} \left[\frac{4}{d^2} - \frac{1}{x(d + 0,5 x \sin 2\alpha)} \right].$$

$$\text{Поэтому } m \frac{d^2 x}{dt^2} = SP_{\text{н}}(t) - S_2 P_{\text{вс}} - C[x(t) - x_o] - F_o \text{sign} \frac{dx}{dt} +$$

$$+ Q_{\text{кл}}^2(t) \frac{\rho}{\pi} \left[\frac{4}{d^2} - \frac{1}{x(d + 0,5 x \sin 2\alpha)} \right].$$

Начальные условия дифференциального уравнения можно найти из физической сущности протекающих процессов и уравнения статики. В

установившемся режиме $\left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = 0$. Реакцию системы на перекрытие рукавной линии будем оценивать путем задания величины

$$\Delta Q(t) = Q_B(t) - Q_{BO}(t),$$

где $Q_{BO}(t)$ – расход воды, поступающей в очаг пожара, при открытом предохранительном клапане, м³/с.

Физический смысл $\Delta Q(t)$ – часть потока из насоса, текущая через предохранительный клапан. Очевидно, что чем сильнее степень перегибания рукавной линии, тем больше $\Delta Q(t)$. Следовательно, задавая величины $\Delta Q(0)$, можно моделировать входное воздействие – степень перегибания рукавной линии. Поэтому $\Delta Q(0) = Q_B(0) - Q_{BO}(0)$ является входным воздействием, т.е. величиной задаваемой. В начальный момент времени при $t = 0$ имеем

$$\Delta Q(0) = \frac{\pi d^2}{4 \sqrt{2,6 - 0,8 \frac{d}{x(0)} + 0,14 \left[\frac{d}{x(0)} \right]^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{P_H(0) - P_{BC}}}.$$

Отсюда получаем второе начальное условие

$$X(0) = \frac{d}{2,86 \sqrt{8,16 + \frac{\pi^2 d^4 [P_H(0) - P_{BC}]}{1,12 \rho \Delta Q^2(0)}}}.$$

Выводы. Полученная математическая модель рабочих процессов шестеренного насоса объемного принципа действия позволяет исследовать нестационарные явления, возникающие при пуске, перегибании или заломе гибкой напорной рукавной линии. Эти явления носят характер гидравлических ударов, сопровождающихся забросами давления в различных составных частях пожарного насоса. Переходные процессы могут привести к выходу из строя чувствительных к нагрузке давлением деталей и узлов, прежде всего, манжетных уплотнений вращающихся валов, уплотнений соединительной и переходной арматуры, межкорпусных прокладок и т.д. Поэтому учет динамической составляющей давления при обоснованном расчете будет способствовать увеличению работоспособности, долговечности и безопасной эксплуатации пожарного оборудования.

Список литературы /References

1. Попов, Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы / Д.Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.

Popov, D.N. *Nestatsionarnyye gidromekhanicheskiye protsessy* [Non-stationary hydromechanical processes]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1982, 240 p.

2. Панченко, А.И. Математическая модель насосного элемента гидроагрегата / А.И. Панченко, С.В. Кюрчев, И.И. Милаева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2006. – Вип. 35. – С. 64 – 69.

Panchenko, A.I., Kyurchev, S.V., Milayeva, I.I. *Matematicheskaya model' nasosnogo elementa gidroagregata* [The mathematical model of the pump element of the hydraulic unit]. *Pratsi TDA TU* [Proceedings of the Tavriys'kyi derzhavnyi agrotekhnologichnyi universytet]. Melitopol', 2006, issue 35, pp. 64 – 69.

3. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. URL: <http://mash-xl.info/page/191226212198171074052211055039088145235161239010/> (дата обращения 21.06.2016).

Entsiklopediya po mashinostroyeniyu XXL (Encyclopedia on mechanical engineering XXL). [Electronic resource]. Available at: <http://mash-xl.info/page/191226212198171074052211055039088145235161239010/> (accessed 21.06.2016).

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.С. Гребёнкиным.
Дата поступления рукописи 21.06.2016

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

Nikolay Aleksandrovich Galukhin, engineer of the 1st category; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;

Eleonora Gennadiyevna Chaykovskaya, advanced engineer; e-mail: niigd.osmas-4@mail.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phones (+38 062) 311-12-00; 311-71-29

THE MATHEMATICAL MODEL OF OPERATING PROCEDURES OF A VOLUMETRIC ROTARY GEAR PUMP

Purpose. Creation of the mathematical model of operating procedures of components of the pump to investigate dynamics of its output characteristics taking into account leaks of liquid being pumped, elasticity of pump walls, two-phase-staging of water being pumped and other peculiarities of operation of the pump.

Methods. Analytical investigations of dynamic processes on the basis of the known general equations of motion of the continuous system with the use of experimental values of coefficients of hydraulic resistance and losses, discharge coefficients.

Results. The mathematical dependences of motion of liquid through the components of the fire pump were received under the steady-state and transient-state conditions.

Practical value. On the basis of registration of the dynamic phenomena in the rotary gear pump new requirements to parameters of components of the pump may be substantiated. The choice of the units, parts and components of the pump subject to the dynamic processes permits to improve the operation reliability of the equipment.

Keywords: rotary gear pump; mathematical model; dynamical phenomena; relief valve; transient process.

УДК 614.895.5:[621.5:546.212]

Геннадий Вячеславович Завьялов, науч. сотр.; e-mail: zavyalov57@mail.ua

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

283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-39-62; (+38 095) 423-73-95

ПРОТИВОТЕПЛОВОЙ КОСТЮМ СПАСАТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Цель. Обоснование параметров противотеплового костюма с проточной схемой движения хладагента для защиты спасателей от воздействия интенсивного теплового излучения, высоких температур окружающей среды в ходе тушения пожаров и ликвидации аварийных ситуаций.

Методика. Экспериментальное исследование параметров противотеплового костюма с водяным охлаждением по открытому циклу.

Результаты. Разработана конструкция и определены параметры противотеплового костюма с проточной схемой движения хладагента для защиты спасателей от воздействия интенсивного теплового излучения, высоких температур окружающей среды.

Новизна. Впервые разработан противотепловой костюм с системой водяного охлаждения по открытому циклу.

Практическая значимость. Использование противотеплового костюма с проточной схемой движения хладагента позволит обеспечить повышение производительности труда и создать безопасные условия работы спасателя при повышенных температурных воздействиях.

Ключевые слова: температура; противотепловой костюм; водяное охлаждение; подкостюмное пространство; спасатель; теплосъем.

Постановка проблемы. Оперативные сотрудники МЧС в ходе ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций подвергаются воздействию опасных и вредных факторов. Наиболее вероятны из них: пламя, искры, повышенная температура окружающей среды [1]. Результаты расследования несчастных случаев показывают, что около 29 % спасателей при ликвидации аварий и пожаров получали травмы в результате воздействия открытого пламени или интенсивного теплового потока. Пожары последних лет с гибелью сотрудников МЧС свидетельствуют об актуальности повышения защиты спасателей. Так, в ходе тушения пожара, возникшего 8 июня 2015 г. на территории нефтебазы общества с ограниченной ответственностью «БРСМ–нефть» в Васильковском районе Киевской области в результате воздействия теплового излучения и конвективных потоков от горящего топлива пострадало 20 человек, из них 6 – со смертельным исходом. 22 сентября 2016 г. при ликвидации пожара в складских помещениях, расположенных по ул. Амурской Москвы, в результате обрушения кровли на общей площади около 1500 м² погибли восемь сотрудников МЧС. Сотрудники были вынуждены подняться на кровлю для охлаждения хранящихся на складе баллонов из-за температуры внутри помещений около 200 °С.

Специальная одежда спасателей, защищающая от повышенного теплового воздействия и используемая в настоящее время пожарно-спасательными подразделениями МЧС ДНР, основана на пассивном способе защиты. Он предполагает применение нескольких слоев материалов, обладающих различными физико-химическими характеристиками, для снижения количества теплоты, проникающей извне в подкостюмное пространство. При этом изготовители устанавливали все более высокие температурные пределы, от которых защитная одежда призвана защищать спасателей, однако ресурс защитного времени с увеличением количества защитных слоев увеличивался незначительно. На практике, даже при показательных выступлениях, испытатели, облаченные в эти средства защиты, получали термические ожоги. Отсутствие на оснащении подразделений эффективных противотепловых средств нередко приводит к перегреванию организмов спасателей, потере здоровья, а иногда и жизни, значительным материальным затратам на лечение, выплатам по профессиональному заболеванию. Недостаточно внимания уделялось разработке и оснащению личного состава пожарно-спасательных подразделений средствами индивидуальной противотепловой защиты с активным теплосъемом, что не позволяло увеличить время защитного действия этих средств.

Поэтому задача по разработке и исследованию возможностей таких средств – актуальна, решение ее обеспечит повышение эффективности работы и безопасности спасателей при тушении пожаров.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время для ведения аварийно-спасательных работ в условиях нагревающего микроклимата подразделения Государственной военизированной горноспасательной службы МЧС ДНР применяют типоряд противотепловой одежды (куртки, костюмы) с активным теплосъемом, то есть с локально расположенными в пододежном пространстве водолеяными охлаждающими элементами, теплосъем в которых происходит за счет конвекции и излучения [2, 3]. Для их замораживания, хранения и доставки к месту ведения работ применяют морозильные установки, в том числе передвижные азотные, а также переносные и передвижные теплоизолирующие контейнеры [4].

Например, теплозащитный комплект [5] состоит из теплозащитной объемной куртки, выполняющей функцию теплоизолирующего слоя, и жилета (теплосъемный слой), снаружи которого настроены матерчатые карманы для охлаждающих элементов, а внутри – мягкие прокладки из пенополиуретана. В условиях действия высоких температур верхняя половина тела и голова человека с помощью куртки и шлема изолируются от окружающей среды, тепло с поверхности тела снимается за счет оттаивания замороженных охлаждающих элементов (ОЭ).

Однако при длительном воздействии тепловых нагрузок костюм не сохраняет защитные функции, а именно достаточную продолжительность одновременного обеспечения комфортной для человеческого организма

температуры в подкостюмном пространстве и предотвращения нагревания наружного слоя куртки выше температуры термодеструкции материала, из которого он изготовлен. Причина этого – ограниченный ресурс холода в комплекте охлаждающих элементов. Увеличение количества или размеров ОЭ приводит к увеличению массы теплозащитного комплекта, что не соответствует физическим возможностям спасателя.

Разработанные противотепловые костюмы с подобным охлаждением спасателей для тушения пожаров с высоким тепловым излучением [6] не нашли широкого применения в связи с большими материальными затратами на замораживание и хранение большого количества ОЭ.

Для этих целей разработан также теплозащитный костюм [7], содержащий комбинезон, выполненный с внешней оболочкой из огнестойкого теплоотражающего материала, внутренней оболочкой из гигиенического воздухопроницаемого материала и промежуточной теплоизолирующей оболочкой, которая установлена с промежутком со стороны внешней оболочки и образована несколькими слоями термостойкого нетканого материала, между которыми находятся наполненные воздухом прокладки в виде плоских шайб из эластичного пористого материала. При воздействии теплового излучения в условиях высоких температур внешняя отражающая поверхность обеспечивает сокращение внешней прямой тепловой нагрузки на костюм. Снижение температуры в подкостюмном пространстве осуществляется за счет низкой теплопроводности слоев защитной одежды.

При длительном воздействии высоких температур в этом костюме также не удастся реализовать необходимую продолжительность одновременного обеспечения комфортной для человеческого организма температуры в подкостюмном пространстве и нагревания наружного слоя не выше температуры термодеструкции материала, из которого он изготовлен. Это объясняется тем, что используемые наполненные воздухом прокладки в виде плоских шайб из эластичного пористого материала выполняют только теплоизолирующие функции и не отводят излишнюю теплоту из подкостюмного пространства.

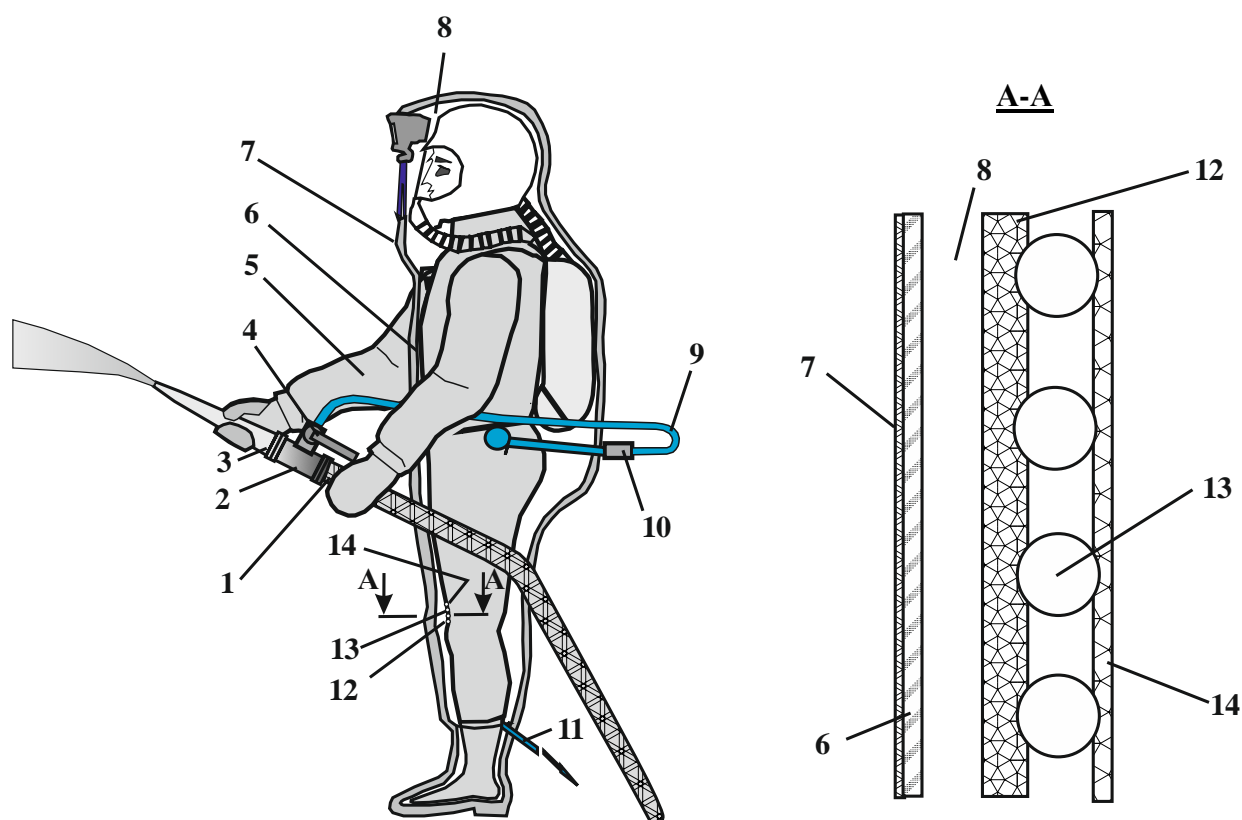
Поэтому авторами работы [8] была выдвинута идея разработать для спасателей костюм с кондуктивным теплосъемом проточной водой, которая широко используется пожарно-спасательными подразделениями для тушения пожаров.

Цель. Обоснование параметров противотеплового костюма с проточной схемой движения хладагента для защиты спасателей от воздействия интенсивного теплового излучения, высоких температур окружающей среды в ходе тушения пожаров и ликвидации аварийных ситуаций.

Результаты исследований. Поставленная задача решается за счет того, что противотепловой костюм, содержащий комбинезон с внешней оболочкой из огнестойкого теплоотражающего материала, внутренней оболочкой из гигиенического воздухопроницаемого материала и промежуточной оболочкой,

снабжают системой отвода теплоты, которая выполнена в виде трубок с хладагентом, в качестве которого используется вода или пенообразующий состав, применяемый для тушения пожара с температурой 10...25 °С [8].

Противотепловой костюм (см. рисунок) содержит наружный и внутренний комбинезоны. Наружный комбинезон состоит из двух слоев: теплоотражающего и противотеплового. Внутренний комбинезон – из гигиенического воздухопроницаемого материала – гигроскопического водонепроницаемого полотна типа сатина и полиэтиленовых трубок. Между комбинезонами предусмотрен воздушный зазор. Трубки присоединены к гибкому шлангу, подключенному с помощью быстроразъемного соединения к вставке, установленной между рукавной линией и пожарным стволом. На вставке для отбора воды предусмотрен кран-регулятор для регулирования расхода хладагента. В нижней части костюма находятся открытые концы трубок, через которые нагретая вода удаляется из подкостюмного пространства в окружающую среду.



Противотепловой костюм с водяным охлаждением по открытому циклу:

1 – рукавная линия; 2 – вставка; 3 – пожарный ствол; 4 – кран-регулятор; 5 – наружный комбинезон; 6 – внутренний слой наружного комбинезона; 7 – металлизированная ткань с отражающей поверхностью; 8 – воздушный зазор между комбинезонами; 9 – гибкий шланг; 10 – быстроразъемное соединение; 11 – место выхода хладагента; 12 – наружный слой комбинезона водяного охлаждения; 13 – трубки с хладагентом; 14 – внутренний слой комбинезона водяного охлаждения

Противотепловой костюм применяется следующим образом. Спасатель перед входом в зону повышенного теплового излучения и температур подключает комбинезон водяного охлаждения гибким шлангом с помощью быстроразъемного соединения к вставке в рукавную линию. С выходом на боевую позицию он открывает кран-регулятор, заполняет трубки водой из рукавной линии. При необходимости, в зависимости от выполняемых работ, он подает воду с помощью пожарного ствола на тушение пожара или защиту технологического оборудования. Внешняя отражающая поверхность наружного комбинезона обеспечивает снижение внешней прямой тепловой нагрузки на костюм. Воздушный зазор между комбинезонами уменьшает количество теплоты, которое воздействует на внутренний комбинезон и снижает тепловую нагрузку на спасателя. Снижение температуры внутреннего слоя костюма и внутри костюма достигается за счет выноса теплоты хладагентом, проходящим по трубкам, расположенным между внутренним и внешним слоями комбинезона водяного охлаждения. Система отвода теплоты удаляет из подкостюмного пространства теплоту, поступающую в костюм из окружающей среды и производимую организмом на протяжении всего времени работы спасателя. Нагретый хладагент удаляется самотеком из открытых концов трубок в нижней части костюма.

На опытно-экспериментальном полигоне НИИГД «Респиратор» проведены испытания противотеплового костюма. Очаг пожара высотой 2 м и шириной 2,5 м из бруса и шин обеспечивал температуру 200 °С на наружной поверхности костюма. Постоянство воздействия высокотемпературного источника достигали изменением расстояния от испытателя до очага пожара и контролировали с помощью пирометра. В ходе эксперимента для хладагента использовали поливинилхлоридные трубки диаметром 3 мм. Температура воды на входе в костюм 25 °С, на выходе 31 °С. Расход воды на входе в систему охлаждения равнялся 0,23 м³/ч. Суммарное время защитного действия противотеплового костюма 90 мин.

В качестве критерия противотепловой способности костюма была выбрана температура подкостюмного пространства. Если эта температура не превышает 40 °С, то костюм выполняет свои функции. При этом важно обеспечить наиболее низкую температуру внутренней поверхности костюма. Температуру подкостюмного пространства измеряли с помощью электротермометра медицинского ТПЕМ-1 (с датчиками). Целостность внешней оболочки определяли визуально.

Результаты эксперимента показали, что эффект охлаждения подкостюмного пространства сохраняется при расположении трубок диаметром не менее 3 мм на расстоянии не более 20...30 мм друг от друга и температуре хладагента в диапазоне 10...25 °С.

Целостность внешней оболочки при таких параметрах сохранялась за счет применения в качестве наружной оболочки ТК-800. Для защиты органов дыхания спасателя применяли изолирующий регенеративный респиратор Р-30 с

ледяным элементом охлаждения. Масса костюма (без средств защиты органов дыхания) 12 кг.

Выводы. Разработана конструкция противотеплового костюма с системой водяного охлаждения, содержащая комбинезон с внешней оболочкой из огнестойкого теплоотражающего материала, внутреннюю оболочку из гигиенического воздухопроницаемого материала и промежуточную оболочку, снабженную системой отвода теплоты, которая выполнена в виде трубок с хладагентом с температурой 10...25 °С, в качестве которого используется вода или пенообразующий состав.

Определены параметры противотеплового костюма, обеспечивающие значительное повышение времени защитного действия и сохранение целостности внешнего слоя изделия при длительном воздействии высоких температур с одновременным обеспечением безопасных условий для организма спасателя.

Список литературы / References

1. Астапенко, В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.

Koshmarov, Yu.A., Astapenko, V.M. *Termogazodinamika pozharov v pomeshcheniyakh* [Thermogasdynamics of fires in premises]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988, 448 p.

2. Многократное применение охлаждающих элементов противотепловой одежды / В.О. Положий, И.Ф. Марийчук, О.В. Папазова, А.А. Гаврилко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 165 – 172.

Polozhiy, V.O., Mariychuk, I.Ph., Papazova, O.V., Gavrillko, A.A. *Mnogokratnoye primeneniye okhlazhdayushchikh elementov protivoteplovooy odezhdy* [Multiple use of cooling elements of the heat protective clothing]. *Gornospasatel'noye delo, sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2012, issue 49, pp. 165 – 172.

3. Клименко, Ю.В. Теоретические основы тепловых расчетов противотепловой одежды для горноспасателей / Ю.В. Клименко // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ, 2001. – № 3. – С. 70 – 73.

Klimenko, Yu.V. *Teoreticheskiye osnovy teplovykh raschyetov protivoteplovooy odezhdy dlya gornospasateley* [Theory of thermal calculations of the heat protective clothing for mine rescuers]. *Naukovyy visnyk NGA Ukrainy* [Scientific bulletin of the NGA of the Ukraine]. Dnipropetrovs'k, 2001, no. 3, pp. 70 – 73.

4. Воронов, П.С. Обоснование параметров и создание комплекса противотепловой защиты горноспасателей с использованием сжатого воздуха: дис. ...канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда» / МакНИИ.– Макеевка, 2008.– 176 с.

Voronov, P.S. *Obosnovaniye parametrov i sozdaniye kompleksa protivoteplovooy zashchity gornospasateley s ispol'zovaniyem szhatogo vozdukha*. Diss. kand. tekhn. nauk [Substantiation of parameters and creation of a heat protection complex of mine rescuers with the use of compressed air. Cand. techn. sci. diss.]. Makeyevka, MakNII, 2008. – 176 p.

5. Пат. 2076619 Российская Федерация, кл. А41D13/00, А62В17/00. Теплозащитный комплект «Дон» / И.Ю. Бринк, В.М. Вяльцев. – Оpubл. 10.04.1997.

Brink, I.Yu., Vyal'tsev, V.M. *Teplozashchitnyy komplet ДОН* [The ДОН heat protective complete set]. Patent RF, no. 2076619, 1997.

6. Гаврилко, О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і гірничорятувальників з вододольною системою охолодження / О.А. Гаврилко // Пожежна безпека: зб. наук. праць / ЛПБ; УкрНДІПБ МНС України. – Львів, 2002. – № 3. – С. 76 – 82.

Gavrillko, O.A. *Matematychnе modeliuвання nestatsionarnogo perenosu tepla v zakhysnomu odiazi pozhezhnykh i girnychoriatuval'nykiv z vodol'odianoiu systemoiu okholodzhennia* [The mathematical modeling of the non-stationary heat transfer in the protective clothing with the water ice cooling system of fire men and mine rescuers]. *Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. prats' LIPB, UkrNDIPB MNS Ukrainy* [Fire safety: scientific bulletin of the LIPB, UkrNDIPB MNS Ukrainy]. L'viv, 2002, no. 3, pp. 76 – 82.

7. Пат. 1793582, кл. А62В17/00. Теплозащитный костюм / Л.М. Гутман, Т.А. Жигирева, М.И. Харченко, В.И. Остапенко; заявитель и собственник Институт биофизики Минздрава СССР. – № 4857412/23; заявл. 18.06.1990; опубл. 10.11.1996.

Gutman, L.M., Zhigireva, T.A., Kharchenko, M.I., Ostapenko, V.I. *Teplozashchitnyy kostyum* [Heat protective suit]. Patent USSR, no. 4857412/23, 1996.

8. Пат. на корисну модель 109668 Україна, МПК А62В17/00, А41D13/00. Теплозахисний костюм / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, Г.В. Зав'ялов, Т.В.Костенко, В.М. Покалюк. – № u2016 03119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016. Бюл. № 16.

Kostenko, V.K., Zav'ialova, O.L., Zav'ialov, G.V., Kostenko, T.V., Pokaliuk, V.M. *Teplozakhysnyi kostium* [Heat protective suit]. Utility model patent, Ukraine, no. 109668, 2016.

Gennadiy Vyacheslavovich Zav'yalov, scientific associate; e-mail: zavvalov57@mail.ua

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-39-62; (+38 095) 423-73-95

THE HEAT PROTECTIVE SUIT OF THE RESCUER WITH THE WATER COOLING SYSTEM

Purpose. Substantiation of parameters of the heat protective suit with the flow circuit of motion of the cooling agent to save the rescuers from the influence of the intensive thermal radiation, high temperatures of the environment in the course of fighting the fires and elimination of the emergency situations.

Methods. Experimental investigation of the parameters of the heat protective suit with the water cooling using the open cycle.

Results. The construction is worked out, and the parameters of the heat protective suit with the flow circuit of motion of the cooling agent are determined to save the rescuers from the influence of the intensive thermal radiation, high temperatures of the environment.

Novelty. The heat protective suit with the open cycle water cooling system was worked out for the first time.

Practical value. The use of the heat protective suit with the flow circuit of motion of the cooling agent will allow guaranteeing the increase of labour productivity and creating the safe operation conditions of the rescuer by influences of high temperatures.

Keywords: *temperature; heat protective suit; water cooling; space inside the suit; rescuer; heat removal.*

УДК 614.842.62:061.5

Юрий Васильевич Гавриш, науч. сотр.; e-mail: opbush@mail.ru;

Дмитрий Сергеевич Буряк, науч. сотр.; e-mail: buryak_ds@rambler.ru

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-44-92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНЫХ ПОЖАРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель. Определение оптимальных параметров сети пожарных трубопроводов на этапе проектирования.

Методы. Анализ существующих литературных источников и теоретические исследования эффективности проектируемых сетей пожарных трубопроводов.

Результаты. Получена зависимость для определения оптимальных диаметров трубопроводов.

Научная новизна. Установлена закономерность, позволяющая определить оптимальные диаметры трубопроводов.

Практическая значимость. Рациональный выбор пожарного оборудования.

Ключевые слова: пожарный трубопровод; проектирование сети; оптимизация; диаметр и толщина стенки трубопровода.

Постановка проблемы. Пожарный трубопровод промышленных предприятий представляет собой разветвленную сеть, имеющую большую протяженность. Проектирование таких сетей сводится к определению значений основных параметров трубопроводов, главные из которых – диаметр и толщина стенки труб. Значительная стоимость таких трубопроводов вызывает необходимость минимизировать затраты, например, по массе.

Материал исследования. Для расчетов потерь напора водопроводных систем удобна модификация формулы Дарси-Вейсбаха, в которой скорость движения воды заменена расходом [1]:

$$h = k(Q^2 l / d^m), \quad (1)$$

где h – потери напора участка водопроводной системы, м;

k – коэффициент гидравлического сопротивления;

Q – расход воды, м³/ч;

l – длина водопроводной сети, м;

d – диаметр трубы, м;

m – коэффициент нелинейности, изменяющийся в пределах от 5 до 5,3.

Отсюда диаметр трубы:

$$d = (kQ^2 l / h)^{1/m}. \quad (2)$$

Можно подобрать большое количество комбинаций стандартных диаметров, при которых суммарная потеря напора [2] в участках будет равна заданной для всей линии потере напора:

$$\sum_{i=1}^r h_i = \sum_{i=1}^r kl_i Q_i^2 / d_i^m = H - h_k \pm h_r, \quad (3)$$

где h_i – участковые потери напора, м;
 l_i – длины прямолинейных участков, м;
 Q_i – участковые расходы воды, м³/ч;
 H – напор в точке питания, м;
 h_k – напор в конечной точке сети, м;
 h_r – разность геодезических отметок точки питания и конечной точки сети, $h_r = \sum l_i \sin \alpha_i$.

В качестве оптимального критерия принят требуемый объем металла на изготовление труб:

$$Y = \sum_{i=1}^r y_i = \sum_{i=1}^r \pi d_i l_i \delta_i, \quad (4)$$

где y_i – объем металла участка трубопровода, м³;
 δ_i – толщина стенки трубопровода, м, определяемая по формуле [3]

$$\delta_i = npd_i / 1,8\sigma; \quad (5)$$

n – коэффициент перегрузки рабочего давления, принимаемый равным 1,4;
 p – максимальное давление в трубопроводе, МПа;
 σ – предел текучести материала, принимаемый по стандартам или техническим условиям на соответствующие виды труб, МПа.

Подставив выражение (5) в формулу (4), получим функцию объема металла:

$$Y = \sum_{i=1}^r \pi n p l_i d_i^2 / 1,8\sigma. \quad (6)$$

Нахождение минимума величины Y как функции многих независимых переменных диаметров труб при соблюдении равенства $\sum h_i = H - h_k \pm h_r$ по методу Лагранжа производится путем нахождения минимума функции:

$$U = \sum_{i=1}^r \pi n p l_i d_i^2 / 1,8\sigma + \lambda \sum_{i=1}^r h_i, \quad (7)$$

где λ – коэффициент Лагранжа.

Значения h_i взаимосвязаны уравнением (1) с соответствующими значениями d_i . Поэтому величину U можно представить в виде функции величин d_i или h_i :

$$U = \sum_{i=1}^r \pi n p l_i (k Q_i^2 l_i / h_i)^{2/m} / 1,8\sigma + \lambda \sum_{i=1}^r h_i. \quad (8)$$

Дифференцированием уравнения (8) по потерям напора находят частные производные, которые приравнивают к нулю:

$$\partial U / \partial h_i = -2\pi n p (k Q_i^2 l_i)^{2/m} l_i h_i^{-(m+2)/m} / 1,8m\sigma + \lambda = 0. \quad (9)$$

Отсюда получим

$$h_i = \left[1,8m\sigma\lambda / 2\pi n p (k Q_i^2 l_i)^{2/m} l_i^{(m+2)/m} \right]^{-m/(m+2)}. \quad (10)$$

Подстановка значения h_i в исходное уравнение (3) после преобразования позволяет найти значение коэффициента λ :

$$\lambda = (H - h_k \pm h_T)^{-(m+2)/m} (2\pi n p k^{2/m} / 1,8m\sigma) \sum_{i=1}^r Q_i^{4/m} l_i^{(m+2)/m}. \quad (11)$$

После подстановки значения λ в уравнение (9) и преобразований получена формула для определения потерь напора в участках водопроводной линии, которым соответствуют минимальные затраты металла:

$$h_i = (H - h_k \pm h_T) Q_i^{4/(m+2)} l_i / \sum_{i=1}^r Q_i^{4/(m+2)} l_i. \quad (12)$$

В соответствии с формулой (2) оптимальный диаметр труб участков проектируемой пожарной сети равен

$$d_i = [k \sum_{i=1}^r Q_i^{4/(m+2)} l_i] / (H - h_k \pm h_T)^{1/m} Q_i^{2/(m+2)}. \quad (13)$$

Округление значений диаметров, полученных по формуле (13), до стандартных производится так, чтобы сумма потерь напора в участках

равнялась заданному значению потерь напора на трение с учетом потерь напора на местных сопротивлениях, принятых равными 5 % от потерь напора по длине трубопровода.

Выводы. Проведенные исследования позволили получить зависимость для определения оптимальных диаметров трубопроводов. Таким образом, при проектировании противопожарного водоснабжения, а также для расчета оптимальных диаметров пожарных трубопроводов d_i необходимо по данным значениям:

- длин участков сети l_i ;
- расходов воды, необходимых на каждом участке, Q_i ;
- углов наклона отдельных участков α_i ;
- напора в точке питания H ;
- напора в конечной точке сети h_k ;
- коэффициента нелинейности m , –

получить значения оптимальных диаметров по массе в соответствии с формулой (13). После округления до стандартных значений диаметров труб получены оптимальные значения сети шахтных пожарных трубопроводов.

Список литературы / References

1. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 490 с.

Idel'chik, I.Ye. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook on hydraulic resistances]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1992, 490 p.

2. Кузнецов, В.С. Экспериментальное определение коэффициентов гидравлических сопротивлений / В.С. Кузнецов, А.С. Шабловский, В.В. Яроц. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 30 с.

Kuznetsov, V.S., Shablovskiy, A.S., Yarots, V.V. *Eksperimental'noye opredeleniye koeffitsiyentov gidravlicheskih soprotivleniy* [Experimental determination of coefficients of hydraulic resistances]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2002. – 30 p.

3. Козлюк, А.И. Водоснабжение угольных шахт для борьбы с пожарами и пылью / А.И. Козлюк. – М.: Недра, 1979. – 287 с.

Kozlyuk, A.I. *Vodosnabzheniye ugol'nykh shacht dlya bor'by s pozharemi i pyl'yu* [Water supply of coal mines for fighting the fires and dust]. Moscow, Nedra Publ., 1977, 287 p.

Yuriy Vasil'yevich Gavrish, scientific associate; e-mail: opbush@mail.ru;

Dmitriy Sergeyevich Buryak, scientific associate; e-mail: buryak_ds@rambler.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-44-92

DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF MINE FIRE PIPELINES

Purpose. Determination of optimum parameters of the fire pipeline network at the design stage.

Methods. Analysis of existing literature sources and theoretical investigations of the efficiency of the fire pipeline networks being designed.

Results. The dependence for determination of optimum diameters of the pipelines has been received.

Scientific novelty. The regularity that allows determining the optimum diameters of the pipelines has been ascertained.

Practical value. Rational choice of the fire-fighting equipment.

Keywords: *fire pipeline; network design; optimization; diameter and thickness of the pipeline wall.*

II. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

УДК 614.842.612:[614.841.13:544.772.42]

Андрей Михайлович Богомаз, аспирант; e-mail: mchs-dnr@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-69-52*

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ЗА СЧЕТ АБСОРБЦИИ ИХ МЕЛКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Цель. Моделирование абсорбции вредных веществ диспергированной водой.

Методы. Аналитические исследования процесса взаимодействия капель диспергированной воды с токсичными газообразными составляющими дыма.

Результаты. Разработана модель абсорбции вредных составляющих дыма мелкораспыленной водой с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ), подаваемыми с помощью дымососа в аварийное помещение.

Научная новизна. Установлена зависимость интенсивности и времени подачи воздушно-водяной смеси в аварийное помещение от его геометрических размеров, параметров очага пожара (интенсивности дымообразования), характеристик абсорбента.

Практическая значимость. На основании материального баланса газообразных составляющих дыма с учетом их генерации, выноса и абсорбции получена зависимость для определения времени и интенсивности подачи мелкораспыленной воды с добавками ПАВ для создания безопасных условий эвакуации людей.

Ключевые слова: абсорбция; дымовые частицы; ПАВ; дымососы; нейтрализация вредных веществ; водные композиции.

Постановка проблемы. Большое количество химических соединений и материалов, ингаляционно безопасных при обычных условиях эксплуатации, становятся вследствие термической деструкции и горения потенциально опасными источниками появления вредных веществ. Это приводит к тому, что до 80 % погибающих на пожарах – жертвы не ожогов, а отравления токсичными продуктами горения [1].

Состав продуктов термодеструкции зависит от природы горючих веществ, температуры и условий контакта с окислителем. Так, исследования показали, что при термодеструкции горючих веществ, в молекулах которых содержатся гидроксильные группы, всегда образуется вода. Если в составе горючих веществ находятся углерод, водород и кислород, продуктами термодеструкции чаще всего являются углеводороды, спирты, альдегиды, кетоны и органические кислоты. При наличии в составе горючих веществ хлора или азота в составе дыма находятся хлористый и цианистый водород, оксиды азота и другие соединения. Например, при горении капрона в дыме содержится цианистый водород, при горении некоторых видов линолеума – сероводород, диоксид серы, при горении органического стекла – оксид азота.

Применяемые горюче-смазочные материалы представляют, как правило, смесь углеводородов. Следовательно, основными продуктами горения будут диоксид углерода и вода, а в условиях недостатка кислорода можно ожидать появления оксида углерода.

В табл. 1, например, приведены данные об удельном выходе вредных веществ из единицы массы шахтных материалов, полученные в ходе ранее выполненных работ [2-5]. Как видно из табл. 1, в процессе горения и термодеструкции шахтных материалов выделяется ряд высокотоксичных компонентов.

К соединениям, выделяющимся в большом количестве при пожаре, относятся оксид углерода, диоксид углерода и хлорид водорода. Высокотоксичные вещества (цианид водорода, фосген, формальдегид), встречающиеся обычно в незначительном количестве, усугубляют их действие.

Таблица 1

Удельный выход вредного вещества из единицы массы материала при термической деструкции

Вредное вещество, образуемое при термодеструкции шахтного материала	Удельный выход вредного вещества, мг, из единицы массы материала, кг							
	Конвейерная лента			Древесина	Вентиляционная труба	Кабель	Резинотехнические изделия (рукава, шланги)	Смазочные материалы, гидравлические жидкости
	Резиновая тросовая	Резиновая тканевая	Из поливинилхлорида					
Оксид углерода	276	323	102	179	60	159	118	336
Диоксид углерода	1020	1090	739	1000	530	783	756	1880
Диоксид серы	0,9	0,44	0,1	-	0,8	0,42	1,08	-
Сероводород	3,12	1,64	1,09	-	0,62	2,45	0,18	-
Пентаоксид фосфора	0,05	0,08	0,065	-	0,01	-	0,033	-
Цианид водорода	0,2	0,36	0,76	-	0,16	0,57	0,54	-
Хлорид водорода	90,3	45,8	138	-	85	56,7	3,1	-
Формальдегид	0,5	0,67	0,48	0,07	0,92	0,34	0,615	-
Фенол	1,9	0,12	0,87	-	0,29	-	0,28	-
Фосген	0,050	0,015	0,070	-	0,01	0,045	-	-

Наличие в дыме вредных веществ затрудняет работу пожарно-спасательных подразделений. Актуальность решения этого вопроса определяют растущие масштабы использования материалов и изделий на основе полимеров, горение и тление которых сопровождается выделением большого количества токсичных веществ.

Одним из путей решения этой проблемы является применение отделениями газодымозащитной службы МЧС абсорбционных методов очистки пожарных газов.

Основные требования к абсорбенту: достаточно высокая поглотительная способность и селективность по отношению к искомому газу, малая летучесть, термохимическая устойчивость и достаточные кинетические свойства, возможно более низкая стоимость и доступность.

Таким требованиям отвечает вода и её растворы.

Наиболее перспективными, как это было отмечено в работе [6], могут быть объемные способы ликвидации химического заражения – аэрозольное распыление в зараженном воздухе активных жидких нейтрализующих рецептур с помощью спринклерно-дренчерных устройств, создание водяных завес для борьбы с газопаровоздушными облаками горючих газов и токсичных веществ.

Эффективность действия таких завес может быть усилена за счет введения в воду специальных химических добавок, нейтрализующих основные вредные вещества, находящиеся в воздухе аварийного помещения.

С помощью распыления водных растворов органических и неорганических солей удастся не только осадить твердую фазу дыма, но и на два-три порядка снизить концентрацию таких продуктов горения, как цианид и хлорид водорода, аммиак и др. [7].

В качестве эффективных огнетушащих добавок к воде также используют ПАВ, понижающие поверхностное натяжение и увеличивающие смачивающую способность воды, что приводит к повышению огнетушащей и абсорбционной активности.

Распыленную воду в аварийные помещения можно подавать с помощью пожарного дымососа по схеме, представленной в работе [8].

Анализ последних исследований. Теоретические и экспериментальные аспекты поглощения вредных веществ водяной завесой в проветриваемых горных выработках рассматривались в работе [9], однако результаты этих работ не дают ответа на вопрос, с какой интенсивностью и в течение какого времени следует подавать в аварийное помещение воду (или её растворы) определенной дисперсности с целью заданного снижения концентрации того или иного токсичного вещества.

Цель исследований. Математическое моделирование процесса абсорбции каплями диспергированной воды (или её растворов) токсичных газообразных составляющих дыма с учетом их генерации в очаге пожара и выноса из помещения через проемы.

Материалы и результаты исследований. В помещении длиной L , м, и сечением S , м², (см. рисунок) обнаружен очаг пожара. Воздействовать на очаг пожарно-спасательные подразделения могут только снаружи здания через проем 1, но расстояние от проема до очага пожара превышает дальность действия водяных струй, создаваемых имеющейся противопожарной техникой. В помещении высокая температура, сильная задымленность и опасная

концентрация токсичных продуктов горения. Принимается решение об использовании устройства подачи диспергированной воды (или её растворов) на базе пожарного дымососа, работающего на нагнетание.

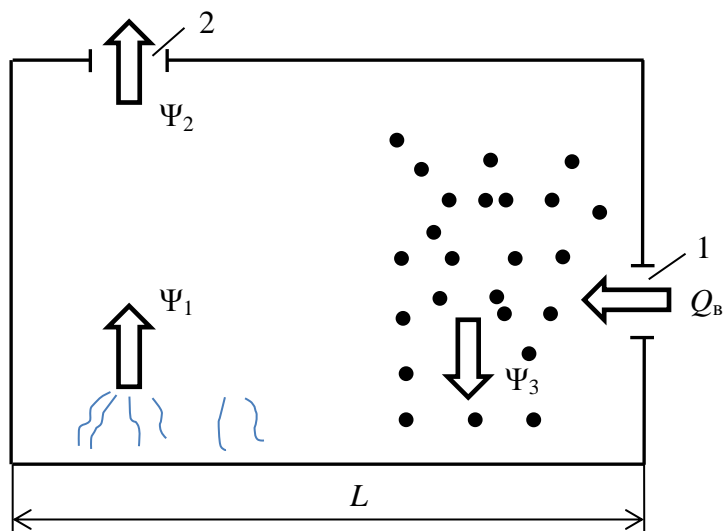


Схема выделения и стоков токсичных продуктов сгорания в помещении:

1, 2 – проемы в помещении; Ψ_1 – источник выделения дыма в очаге пожара; Ψ_2 – сток (удаление) вредных веществ с пожарными газами и воздухом через проемы в помещении; Ψ_3 – сток (поглощение) вредных веществ каплями диспергированной воды; Q_v – водо-воздушная смесь, нагнетаемая через проем 1

Изменение концентрации вредных веществ в воздухе аварийного помещения описывается уравнением

$$\frac{dC}{d\tau} = \sum_i \psi_i, \quad (1)$$

где $C=C(\tau)$ – концентрация вредного вещества в воздухе помещения, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ – время с момента начала ликвидации пожара с использованием дымососа, с;

ψ_i – удельная мощность источника (стока) выделения (удаления) вредного вещества в пределах аварийного помещения, характеризующая динамику выделения (удаления) вредных веществ, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

Предположим, что концентрация дыма в помещении выравнивается мгновенно, поэтому конвективными и диффузионными потоками внутри помещения можно пренебречь.

$$\sum_i \psi_i = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3, \quad (2)$$

где $\psi_1 = \psi_{\text{ист}}$ – удельное выделение дыма в очаге пожара, кг/(м³·с) (при отсутствии в помещении очага пожара $\psi_1 = 0$);

ψ_2 – удельный сток (удаление) вредных веществ с пожарными газами и воздухом через проемы в помещении, кг/(м³·с);

ψ_3 – удельный сток (поглощение) вредных веществ каплями диспергированной воды, кг/(м³·с).

Для источника вредных веществ (очаг пожара) имеем

$$\psi_1 = \frac{k\dot{M}}{SL}, \quad (3)$$

где k – массовая доля вредных веществ в единице количества дыма, образующегося в единицу времени при горении;

\dot{M} – количество дыма, образующегося при горении в единицу времени, кг/с.

Через проем 1 в помещение дымососом нагнетают водовоздушную смесь с расходами воздуха Q_B , м³/с, и воды $Q_ж$, м³/с.

Тогда мощность источника удаления вредных веществ через проем 2:

$$\psi_2 = -\frac{Q_B C}{SL}. \quad (4)$$

Функцию поглощения вредного вещества водой в создаваемой завесе опишем следующим образом:

$$\psi_3 = \frac{\omega S_K (C_K - C)}{Sl_3}, \quad (5)$$

где ω – константа скорости поглощения вредного вещества водой (или её растворами), м/с;

S_K – площадь поверхности капель в водяной завесе, м²;

C_K – равновесная концентрация вредных веществ на поверхности капель, кг/м³;

l_3 – длина создаваемого распыления воды, м.

$$S_K = \pi n d^2, \quad (6)$$

где n – количество капель в завесе;

d – средний диаметр капель, м.

Объем V_K , м³, всех капель определяется по формуле

$$V_K = \frac{\pi n d^3}{6}. \quad (7)$$

Тогда отношение площади поверхности капель к объему воздуха в водяной завесе

$$\frac{S_K}{SL_3} = \frac{V_K S_K}{SL_3 V_K} = \frac{6V_K}{SL_3 d} = \frac{6Q_{ж}}{Q_B d}. \quad (8)$$

При большой поглощающей способности капле воды с добавками (неорганических солей или ПАВ) можно принять $C_K \ll C$. Тогда с учетом уравнения (8) выражение (5) примет вид

$$\psi_3 = -\frac{6\omega Q_{ж} C}{Q_B d}. \quad (9)$$

Подставляя формулы (3), (4) и (9) в уравнение (1), получим

$$\frac{dC}{d\tau} = \frac{k\dot{M}}{SL} - \frac{Q_B C}{SL} - \frac{6\omega Q_{ж} C}{Q_B d} \quad (10)$$

или

$$\frac{dC}{d\tau} = a - bC, \quad (11)$$

где $a = \frac{k\dot{M}}{SL}$; $b = \frac{Q_B}{SL} + \frac{6\omega Q_{ж}}{Q_B d}$.

Интегрирование выражения (11) при начальных условиях $\tau = 0$; $C = C_0$ дает

$$C = \left(C_0 - \frac{a}{b}\right) e^{-b\tau} + \frac{a}{b}$$

или

$$C = \left[C_0 - \frac{kM\dot{Q}_B d}{Q_B^2 d + 6\omega SL Q_{ж}} \right] e^{-\left(\frac{Q_B}{SL} + \frac{6\omega Q_{ж}}{Q_B d}\right)\tau} + \frac{kM\dot{Q}_B d}{Q_B^2 d + 6\omega SL Q_{ж}}. \quad (12)$$

Таким образом, текущая концентрация вредного вещества в воздухе аварийного помещения зависит от его геометрических параметров S , L , интенсивности дымообразования (при отсутствии очага пожара $\dot{M}=0$), расходов воздуха и воды, создаваемых дымососом, Q_B , $Q_{ж}$, диаметра капле в водяной завесе d , скорости поглощения вредных веществ каплями воды ω .

В работе [9] на основе моделирования процесса поглощения получено выражение для определения скорости поглощения

$$\omega = \frac{Q_B u d}{Q_{ж} 6x} \ln\left(\frac{C_0}{C}\right), \quad (13)$$

где ω – константа скорости поглощения, м/с;

u – скорость воздуха, м/с;

$x = l_3$ – длина распыления воды, м;

C_0, C – концентрация вредного вещества до и после поглощения соответственно, мг/м³.

В нашем случае $u = Q_B/S_1$, где S_1 – площадь проема 1, через который дымосос подает водовоздушную смесь, м².

Тогда вместо выражения (13) получаем

$$\omega = \frac{Q_B^2 d}{Q_{Ж} 6 S_1 l_3} \ln \left(\frac{C_0}{C} \right). \quad (14)$$

Отсюда расход воды (водного раствора), необходимый для снижения концентрации вредного вещества в воздухе аварийного помещения до безопасного уровня $C_{без}$, мг/м³:

$$Q_{Ж} = \frac{Q_B^2 d}{6 \omega S_1 l_3} \ln \left(\frac{C_0}{C_{без}} \right). \quad (15)$$

Время подачи водовоздушной смеси определяем по уравнению (12) при заданных значениях $Q_B, Q_{Ж}, S, S_1, L, l_3, \omega, d, C_0$.

Проведем расчет интенсивности подачи воды и водных растворов для случая абсорбции хлористого водорода, выделяющегося в ходе горения конвейерной ленты или других поливинилхлоридных горючих материалов. Воспользуемся экспериментальными данными, приведенными в работе [9].

Исходные данные для расчета принимаем следующие: $S=25$ м²; $L=20$ м; $l_3=9$ м; $S_1=5$ м²; $\dot{M}=1$ кг/с; $\kappa=0,5$; скорости поглощения: $\omega_1=9,15 \cdot 10^{-3}$ м/с (вода), $\omega_2=16,91 \cdot 10^{-3}$ м/с (0,5 %-й раствор гидрокарбоната натрия); $\omega_3=24,73 \cdot 10^{-3}$ м/с (0,5 %-й раствор гидрофосфата натрия и карбоната натрия) [9]; $d=0,44 \cdot 10^{-3}$ м; массовая концентрация HCL до начала абсорбции: $C_0=101$ мг/м³; номинальный расход воздуха, подаваемого дымососом ДП-7: $Q_B=7000$ м³/ч=1,94 м³/с (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета интенсивности подачи воды и водных растворов для абсорбции HCL

Абсорбент (скорость поглощения $\omega \cdot 10^3$, м/с)	Массовая концентрация после поглощения, мг/м ³			
	$C = 0,75C_0$		$C = 0,5C_0$	
	Интенсивность подачи Q , м ³ /с (м ³ /ч)	Время подачи τ , с	Интенсивность подачи Q , м ³ /с (м ³ /ч)	Время подачи τ , с
Вода (9,15)	0,00019 (0,69)	59	0,00046 (1,42)	76
Гидрокарбонат натрия (0,5 %-й раствор) (16,91)	0,000103 (0,37)	45	0,000249 (0,90)	53

Окончание табл. 2

Абсорбент (скорость поглощения $\omega \cdot 10^3$, м/с)	Массовая концентрация после поглощения, мг/м ³			
	$C = 0,75C_0$		$C = 0,5C_0$	
	Интенсивность подачи Q , м ³ /с (м ³ /ч)	Время подачи τ , с	Интенсивность подачи Q , м ³ /с (м ³ /ч)	Время подачи τ , с
Раствор гидрокарбоната натрия (0,5 %-й раствор) и карбоната натрия (0,5 %-й раствор) (24,73)	0,000070 (0,25)	18	0,000169 (0,61)	31

При использовании вместо воды рассмотренных водных растворов необходимая интенсивность подачи снижается в 2...2,5 раза. Уменьшается и требуемое время подачи абсорбента в аварийное помещение.

Выводы. В результате проведенных исследований разработана модель абсорбции вредных составляющих дыма мелкораспыленной водой с добавками ПАВ, подаваемыми с помощью дымососа в аварийное помещение.

На основании баланса вредных составляющих дыма с учетом их генерации, выноса и абсорбции получена зависимость для определения времени и интенсивности подачи мелкораспыленной воды в аварийное помещение для создания безопасных условий эвакуации людей.

Список литературы / References

1. Ерохин, А.Н. Образование СДЯВ в условиях горения химических продуктов / А.Н. Ерохин, С.Н. Корзунов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях: реф. сб. / ВИНТИ. – 1991. – Вып.12. – С. 59 – 69.

Yerokhin, A.N., Korzunov, S.N. *Obrazovaniye SDYaV v usloviyakh goreniya khimicheskikh produktov* [Formation of strong toxic agents under conditions of combustion of chemical products]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh: ref sb. VINITI* [Safety problems by emergencies: collection of abstracts of the VINITI]. 1991, issue 12, pp. 59 – 69.

2. Беляева, Л.С. Выделение вредных веществ при термодеструкции конвейерных лент / Л.С. Беляева, Н.Н. Бойко, О.А. Жадан // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 1999. – С. 138 – 143.

Belyayeva, L.S., Boyko, N.N., Zhadan, O.A. *Vydeleniye vrednykh veshchestv pri termodestruksii konveyernykh lent* [Release of harmful substances by thermodestruction of conveyor belts]. *Gornospasatel'noye delo, sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 1999, pp. 138 – 143.

3. Количественный анализ продуктов горения и термодеструкции материалов / Л.С. Беляева, Н.Н. Бойко, В.П. Орликова, О.А. Жадан //

Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2000. – С. 77 – 80.

Belyayeva, L.S., Boyko, N.N., Orlikova V.P., Zhadan, O.A. *Kolichestvennyy analiz produktov goreniya i termodestruktsii materialov* [Quantitative analysis of products of combustion and thermodestruction of materials]. *Gornospasatel'noye delo, sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2000, pp. 77 – 80.

4. Беляева, Л.С. Конвейерные ленты – источник токсичных веществ при пожарах / Л.С. Беляева, Н.Н. Бойко, О.А. Жадан // Уголь Украины. – 2001. – №1. – С. 34 – 35.

Belyayeva, L.S., Boyko, N.N., Zhadan, O.A. *Konveyernyye lenty – istochnik toksichnykh veshchestv pri pozharakh* [Conveyor belts – a source of toxic substances by fires], *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2001, no. 1, pp. 34 – 35.

5. Прогноз выделения вредных веществ при термодеструкции шахтных материалов / Л.С. Беляева, Н.Н. Бойко, О.А. Жадан, В.П. Орликова // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 36 – 37.

Belyayeva, L.S., Boyko, N.N., Zhadan, O.A., Orlikova V.P. *Prognoz vydeleniya vrednykh veshchestv pri termodestruktsii shakhtnykh materialov* [Prognosis of release of harmful substances by thermodestruction of mine materials], *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2001, no. 9, pp. 36 – 37.

6. Некоторые аспекты локализации и ликвидации аварийных выбросов токсичных веществ / В.С. Григорьев, В.С. Поляков, А.Г. Артемьев, Р.Г. Азиев, Б.М. Ласкин // Журн. Всесоюзного химического о-ва им. Д.И. Менделеева. – 1990. – 35, № 4. – С. 463 – 468.

Grigor'yev, V.S., Polyakov, V.S., Artem'yev, A.G., Aziyev, R.G., Laskin, B.M. *Nekotoryye aspekty lokalizatsii i likvidatsii avariynykh vybrosov toksichnykh veshchestv* [Some aspects of localization and elimination of accidental outbursts of toxic substances]. *Zhurn. Vsesoyuznogo khimicheskogo o-va im. D.I. Mendeleeva – Journal of the D.I. Mendeleev All-Union Chemical Society*, 1990, vol. 35, no. 4, pp. 463 – 468.

7. Сенчишак, Т.И. Исследование и опробование новых средств и способов тушения пожаров и защиты личного состава на полигонной базе ГПС / Т.И. Сенчишак // Пожарная безопасность. – 2002. – № 3. – С. 78 – 81.

Senchishak, T.I. *Issledovaniye i oprobovaniye novykh sredstv i sposobov tusheniya pozharov i zashchity lichnogo sostava na poligonnoy baze GPS* [The investigation and testing of new means of fighting the fires and protection of the staff at the firing area of the FMS]. *Pozharnaya bezopasnost' – Fire safety*, 2002, no. 3, pp. 78 – 81.

8. Богомаз, А.М. Снижение задымленности в помещении при подаче воздушно-водяной смеси / А.М. Богомаз, И.Ф. Дикенштейн // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – 2016. – № 4 (53). – С. 15 – 23.

Bogomaz, A.M., Dikensteyn, I.F. *Snizheniye zadymlenosti v pomeshchenii pri podache vozdushno-vodyanoy smesi* [Reduction of smoke content in a premise by

supply of the air-water mixture]. *Nauchnyy vestnik NIIGD "Respirator": nauch. tekhn. zhurn.* [Scientific bulletin of the NIIGD "Respirator": scientific-technical journal]. – 2016, no. 4 (53), pp. 15–23.

9. Поглощение вредных веществ в воздухе горной выработки водяной завесой / Л.С. Беляева, А.В. Бондаренко, О.А. Жадан, В.Р. Туков // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2005. – № 42. – С. 102 – 108.

Belyayeva, L.S., Bondarenko, A.V., Zhadan, O.A., Tukov V.R. *Pogloshcheniye vrednykh veshchestv v vozdukh gornoy vyrabotki vodyanoy zavesoy* [Absorption of harmful substances in air of a mine working with a water shield]. *Gornospasatel'noye delo, sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator"* [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2005, issue 42, pp. 138 – 143.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.В. Мамаевым.
Дата поступления рукописи 12.10.2016

*Andrey Mikhailovich Bogomaz, postgraduate student; e-mail: mchs-dnr@mail.ru
The "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection
of the MChS DNR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-69-52*

NEUTRALIZATION OF HARMFUL SUBSTANCES AT THE EXPENSE OF ABSORPTION OF THEIR SURFACE-ACTIVE MATERIALS WITH WATER FINE-SPRAYED

Purpose. Modeling the absorption of the harmful substances with water dispersed.

Methods. Analytical investigations of the process of interaction of drops of water dispersed with toxic gaseous components of smoke.

Results. The model of absorption of the smoke harmful components with water fine-dispersed having the additives of the surface-active materials being fed into an accidental premise by means of a smoke sucker was worked out.

Scientific novelty. The dependence of the intensity and time of feed of the air-water mixture into the accidental premise on its geometric dimensions, parameters of a seat of fire (intensity of smoke generation), characteristics of the absorbent was ascertained.

Practical value. On the basis of the material balance of the smoke gaseous components subject to their generation, removal and absorption the dependence was received to determine the time and intensity of the feed of water fine-dispersed having the additives of the surface-active materials for creation of the safe conditions of evacuation of the people.

Keywords: *absorption; smoke particles; surface-active materials; smoke suckers; neutralization of harmful substances; water compositions.*

УДК 654.9:614.8"363"

*Валерий Владимирович Мамаев, д-р техн. наук, замдиректора по научной работе;
e-mail: respirator@mail.dnmchs.ru;*

Батыр Джунисбаевич Инкарбаев, ст. науч. сотр.; e-mail: in.boris@list.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-39-62*

ОПОВЕЩЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Цель. Моделирование системы оповещения населения ДНР при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Методы. Информационные исследования системы оповещения населения при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Результаты. Исследованы проблемы общей организации системы оповещения и информирования населения в чрезвычайных ситуациях. Проведен системный анализ технического состояния возможностей существующих средств оповещения населения ДНР. Предложены пути модернизации системы оповещения населения в чрезвычайных ситуациях.

Научная новизна. Оперативность оповещения населения ДНР при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Практическая значимость. Предложенные мероприятия позволяют существенно сократить время на оповещение населения в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: система связи; электросирена; радиовещание; телевизионные экраны; оповещение населения; чрезвычайная ситуация.

Постановка проблемы. Основное средство доведения до населения условного сигнала об опасности на территории ДНР – электрические сирены и громкоговорители. Их устанавливают с таким расчетом, чтобы обеспечить оповещение на всей территории городов и населенных пунктов.

Однако вопрос оптимального размещения электросирен на открытой местности остается проблемным, так как необоснованное уменьшение или увеличение их количества на конкретной территории в одном случае снижает их эффективность, в другом – требует неоправданных материальных затрат.

В отличие от электросирен, передающих лишь условный сигнал опасности, с помощью громкоговорителей можно транслировать звук электросирен и передавать речевые информационные сообщения.

Цель исследования – обеспечение гарантированного оповещения населения с помощью существующих средств, анализ их технического состояния, который позволит принять правильные решения по модернизации и усовершенствованию данных средств.

Остается проблемным вопрос определения оптимального количества средств оповещения для территории каждого в отдельности взятого города и населенного пункта в пределах их административно-территориальных границ, так как на сегодняшний день отсутствуют какие-либо методические указания или математические расчеты по затронутому вопросу.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие виды систем оповещения, их техническое состояние и эффективность выполнения возложенных на них задач; общую схему системы централизованного оповещения населения ДНР;
- провести анализ общего порядка оповещения и информирования населения ДНР;
- формализовать модель системы связи и оповещения ДНР в чрезвычайных ситуациях;
- разработать мероприятия по повышению уровня безопасности населения при использовании современных систем оповещения и связи.

Анализ последних исследований. Постановке и решению задач построения математической модели синтеза звукового покрытия для территориальной системы оповещения уделено много внимания в работе [1]. Рассматриваемые задачи относятся к категории задач относительного распределения ресурсов при наличии различных факторов. Перечислены природные факторы, влияющие на звуковое давление в пределах заданной территории. При построении модели и расчетах по определению звукового давления в пределах территории, помимо природных факторов, не рассматриваются другие, не менее важные, влияющие на распространение звука. Препятствовать могут населенные пункты (жилые дома, строения и сооружения), различного типа объекты. Нельзя не учитывать в данном вопросе и влияние шумов (производственного и природного характера, общественного и железнодорожного транспорта и прочие). Исследования по данной тематике нашли отражение в работах [2, 3].

Материалы и результаты исследований. Основу настоящего исследования составили методы:

- моделирования и системного анализа систем оповещения населения ДНР о чрезвычайных ситуациях;
- формализации модели системы связи и оповещения ДНР в чрезвычайных ситуациях;
- разработки мероприятий по повышению уровня безопасности населения при использовании современных систем оповещения и связи.

В ДНР системы оповещения созданы на республиканском и местном или муниципальном уровнях. Система оповещения в ДНР организована следующим образом. Основу ее составляют технические средства оповещения, такие, как электросирены, уличные громкоговорители, проводное радиовещание, а также светодиодные экраны, сотовая и пейджинговые системы связи, телевидение, СМИ и другие средства оповещения. Основное внимание отведено средствам оповещения, в частности, электрическим сиренам и уличным громкоговорителям. Результаты анализа свидетельствуют, что на территории городов и районов ДНР установлены следующие технические средства оповещения: электросирены С-40, составляющие 77 % от общего их количества, С-28 23 %, подключенные к централизованной системе

оповещения, а также громкоговорители 15КЗ-1, AS-210.

К примеру, в городе в условиях многоэтажной застройки радиус слышимости сирены С-40 – порядка 600 м. С помощью сетей уличных громкоговорителей можно транслировать звук электросирен и осуществлять передачу речевых информационных сообщений.

Работниками МЧС ДНР совместно с представителями глав городских и районных администраций, территориальных подразделений электросвязи Министерства связи ДНР проведена техническая проверка работоспособности и технического состояния систем централизованного оповещения населения (см. рисунок).

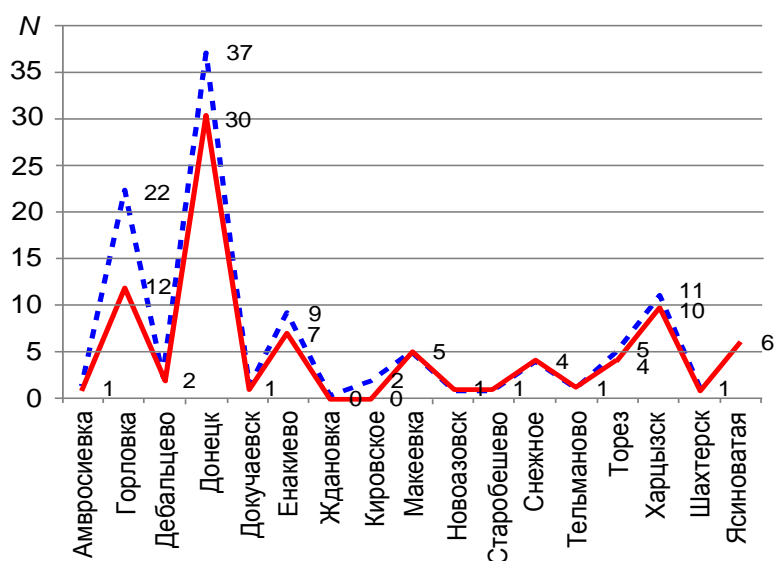


График работоспособности электросирен:

— — общее количество сирен; — — количество сработавших сирен

Алгоритм работы централизованной системы оповещения населения о чрезвычайных ситуациях основан на следующем порядке:

- в населенных пунктах (городах, районах, поселках, селах) включают электросирены, установленные на жилых и административных зданиях. Этот сигнал означает «Внимание всем!»;

- после этого по громкоговорителям, установленным на улицах, радиоприемникам, динамикам и телевизорам в жилых зданиях и на объектах, сообщают о том, что нужно предпринимать в сложившейся чрезвычайной ситуации.

Исходя из результатов проведенных исследований по определению гарантированного оповещения населения на всей территории ДНР с помощью существующих средств оповещения однозначно можно сказать, что полное звуковое покрытие территорий городов и населенных пунктов не обеспечено по следующим причинам:

- имеющееся количество электросирен недостаточно в городах и в районных центрах с населенными пунктами (поселками, селами), к примеру

Шахтерский, Амвросиевский, Новоазовский, Старобешевский, Тельмановский, Ясиноватский районы. В городах недостаточно электросирен, не на каждом потенциально опасном объекте и объекте повышенной опасности имеются системы оповещения. Вопрос оптимального расчета количества электросирен на конкретной территории требует особого внимания;

- некоторые из имеющихся электросирен при их проверке не сработали по различным причинам, поэтому их необходимо проанализировать.

Основной причиной отказа в работе электросирен оказалась изношенность системы оповещения (основная часть узлов системы – в эксплуатации более 20 лет) и отсутствие надлежащего их технического обслуживания. Данный фактор означает, что в ближайшее время количество отказов будет нарастать в прогрессии. Причинами снижения эффективности выполнения задач, возложенных на электросирены, является отсутствие:

- централизованного запуска определенного количества электросирен, что не позволяет их оперативно задействовать в случае возникновения чрезвычайной ситуации;

- нормативных требований, в полном объеме определяющих необходимость включения электросирен в систему централизованного запуска;

- нормативно установленной методики электроакустического расчета требуемого количества средств оповещения, а также требований к установке электросирен, что приводит к заниженному или завышенному значению радиуса их озвучивания;

- знаний гражданами порядка действий при срабатывании электросирен.

На основании проведенного анализа технического состояния и работоспособности имеющихся средств оповещения, с учетом их количества в процентном выражении, приходящегося на долю населения, можно сделать предварительный вывод о том, что пока нет уверенности в обеспечении гарантированного оповещения и информирования о чрезвычайных ситуациях населения на всей территории ДНР. Это означает, что средства оповещения не в полном объеме обеспечивают 100 %-е звуковое покрытие всей территории ДНР.

Кроме того, ныне действующая система оповещения имеет существенные преимущества, во-первых, звучание сирен дает возможность сразу привлечь внимание населения на территории городов, районов. Во-вторых, данную систему можно применять в мирное время при стихийных бедствиях и авариях и в военное время.

Для повышения технического уровня систем оповещения и информирования населения о чрезвычайных ситуациях в ДНР следует разработать и принять на республиканском уровне целевую программу или концепцию по усовершенствованию существующих систем оповещения, а также внедрению новых эффективных систем оповещения с автоматическим управлением запуска электросирен и технических средств информирования населения, основой которых являются территориальные автоматизированные системы централизованного оповещения [4].

При разработке концепции необходимо предложить и рассмотреть основные направления для её реализации, в особенности такие, как: выделение финансовых средств на разработку, внедрение и техническое обслуживание данных систем в административно-территориальных границах каждого населенного пункта ДНР с учетом гарантированного 100 %-го звукового покрытия их территорий. Учитывая масштабность, сложность и длительность реализации концепции оповещения, целесообразно планировать её внедрение поэтапно в течение нескольких лет. Основными этапами концепции оповещения являются: разработка и принятие соответствующей нормативно-правовой базы, привлечение специализированных проектных организаций для создания рабочих проектов по модернизации существующих систем автоматизированного централизованного оповещения населения ДНР при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Выводы. Полученные результаты системного анализа оповещения населения ДНР в чрезвычайных ситуациях позволили выявить проблемные вопросы технического состояния существующих средств оповещения и разработать основные направления их реконструкции и модернизации. Требуется доработка расчет количества электросирен для обеспечения оповещения населения, проживающего в пределах необходимых административно-территориальных границ.

Список литературы / References

1. Тетерин, И.М. Модель поддержки принятия эффективных проектных решений для территориальных систем звукового оповещения / И.М. Тетерин; Академия государственной противопожарной службы // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – Вып. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2008-3/08-03-08.ttb.pdf> (дата обращения: 05.07.2016).

Teterin, I.M. *Model' podderzhki prinyatiya effektivnykh proyektnykh resheniy dlya territorial'nykh sistem zvukovogo opoveshcheniya* (Model of support of the effective design decision-making for territorial announcing systems). *Akademiya gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby* [Academy of the State Fire Service]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti – Technologies of the technospheric safety*, 2008, issue no. 3. [Electronic resource]. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2008-3/08-03-08.ttb.pdf> (accessed 05.07.2016).

2. Косоруков, О.А. Модели и методы управления сетевыми структурами в кризисных ситуациях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / О.А. Косоруков. – М., 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/modeli-i-metody-upravleniya-setevymi-strukturami-v-krizisnykh-situatsiyakh> (дата обращения: 05.07.2016).

Kosorukov, O.A. *Modeli i metody upravleniya setevymi strukturami v krizisnykh situatsiyakh*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Models and methods of control of the network structures in crisis situations. Dr. techn. sci. diss.]. Moscow, 2007. [Electronic resource].

Available at: <http://www.dissercat.com/content/modeli-i-metody-upravleniya-setevymi-strukturami-v-krizisnykh-situatsiyakh> (accessed 05.07.2016).

3. Топольский, Н.Г. Современные автоматизированные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Н.Г. Топольский, В.И. Чижиков // Мат. XXVII науч.-техн. конф. «Системы безопасности» СБ-2008. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2008. – С. 130 – 134.

Topol'skiy, N.G., Chizhikov, V.I. *Sovremennyye avtomatizirovannyye sistemy monitoringa i prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy* [The modern automated systems of monitoring and prognostication of emergencies]. *Mat. 27 nauch.-tekhn. konf. "Sistemy bezopasnosti" SB-2008* [Materials of the 27th sci.-techn. conf. "Safety systems" SB-2008]. Moscow, Akademiya GPS MChS RF Publ., 2008, pp. 130 – 134.

4. Соколов, Ю.И. О некоторых проблемах развития систем оповещения населения в чрезвычайных ситуациях / Ю.И. Соколов // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 10 – 33.

Sokolov, Yu.I. *O nekotorykh problemakh razvitiya sistem opoveshcheniya naseleniya v chrezvychaynykh situatsiyakh* [About some problems of development of systems of warning the population in emergencies]. *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya – Strategy of civil protection: problems and investigations*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 10 – 33.

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук В.А. Чернышёвым.
Дата поступления рукописи 05.07.2016

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

Batyr Dzhunisbayevich Inkarbayev, senior scientific associate; e-mail: in.boris@list.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-39-62

WARNING THE POPULATION ABOUT EMERGENCIES

Purpose. Modeling the system of warning the population of the Donetsk People's Republic by hazard and origin of the emergencies.

Methods. Information investigations of the system of warning the population by hazard and origin of the emergencies.

Results. The problems of the general organization of the system of warning the population in emergencies were investigated. The system analysis of the technical state of possibilities of existing means of warning the population of the Donetsk People's Republic was carried out. The ways of modernization of the system of warning the population in emergencies were proposed.

Scientific novelty. Responsiveness of warning the population of the Donetsk People's Republic by hazard and origin of the emergencies.

Practical value. The measures proposed permit to essentially shorten the time for warning the population in the emergencies.

Keywords: *communication system; alarm electric signal; broadcasting; television screens; warning the population; emergency.*

УДК 622.51:628.33

Сергей Павлович Высоцкий, д-р техн. наук, завкафедрой; e-mail: kafedraekologii@yandex.ru
Автомобильно-дорожный институт Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»
284646, Горловка, ул. Кирова, 51. Тел. (+38) 050-649-84-36;
Сергей Евгеньевич Гулько, канд. техн. наук, директор; e-mail: dgsh@dgsh.donetsk.ua
Государственное учреждение «Донгипрошахт»
283001, Донецк, ул. Артема, 125. Тел. (+38 062) 305-36-11

**СНИЖЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Цель. Решение проблемы очистки и использования шахтных вод для технического и санитарно-гигиенического водоснабжения.

Методика. Использованы результаты исследований отечественных и зарубежных авторов, а также авторов данной работы для анализа концентрации токсических элементов в шахтных водах и влияния показателя рН на растворимость основных загрязнителей.

Результаты. Показана высокая степень влияния показателя рН на растворимость тяжелых металлов в растворах. Оптимальные значения показателей рН для осаждения отдельных тяжелых металлов и алюминия существенно отличаются, что вызывает необходимость ступенчатого осаждения при наличии в сточных водах многих компонентов. Обоснована возможность применения раздельного водоснабжения в городах с использованием очищенной шахтной воды для санитарно-гигиенических и питьевых целей.

Научная новизна. Доказана необходимость ступенчатого осаждения тяжелых металлов. Выведены аналитические зависимости растворимости тяжелых металлов в водных растворах в зависимости от рН и активности водородных ионов.

Ключевые слова: шахтная вода; токсические вещества; концентрация; тяжелые металлы; вредное воздействие; снижение.

Постановка задачи. Одним из основных загрязнителей окружающей среды в Донбассе является горно-добывающая промышленность. Негативное воздействие на состояние окружающей среды даже увеличилось в связи с закрытием, ликвидацией шахт и их затоплением [1]. Загрязняется окружающая среда в основном за счет сбросов шахтных вод в поверхностные водоемы, от породных отвалов, а также через вентиляторы главного проветривания, дегазационные установки.

Объем сброса шахтных вод зависит от коэффициента водообильности. На значение последнего влияют гидрогеологические условия угольных месторождений, степень осушения шахтных полей, принятые системы разработки и добычи угля, способы управления кровлей и др. Для Центрального района Донбасса средний сброс шахтных вод – до 14,5 м³ на тонну угля. Шахты Центрального района Донбасса выдают на поверхность около 60 млн м³ воды в год, в том числе ГП «Дзержинскуголь» 11400 тыс. м³, ГП «Артемуголь» 23700 тыс. м³, ГП «Орджоникидзеуголь» 24900 тыс. м³. Из общего количества откачиваемой воды только 10 % (5,5...6 млн м³)

используют на производственные нужды – противовыбросные и противопылевые мероприятия.

Основные загрязнители шахтных вод – взвешенные вещества, минеральные соли и соединения тяжелых металлов. Последние представляют наибольшую опасность для биоты [2, 3]. Самую высокую биохимическую активность проявляют лабильные формы соединений тяжелых металлов. По чувствительности животных и человека к металлам их можно расположить в ряд: $Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > Cr > Sn > Fe > Mn > Al$ [4, 5]. Следует отметить, что расположение металла в приведенном ряду может изменяться в зависимости от ионного и молекулярного состава воды и соответственно показателя pH, концентрации металла и его валентности. Например, алюминий, несмотря на то, что он расположен в крайнем безопасном положении, представляет опасность из-за риска развития болезни Альцгеймера и деменции при относительно низких концентрациях в воде любых форм этого металла.

Материалы и результаты исследований. Степень загрязнения шахтных вод тяжелыми металлами зависит от концентрации указанных металлов в каменных углях шахт Донбасса. Массовая доля токсичных компонентов в углях девяти шахт («Октябрьская», им. М. Горького, им. Челюскинцев, «Лидиевка», им. С. Орджоникидзе, «Ганзовка», им. А.Б. Батова, им. В.М. Бажанова и «Иловайская») существенно превышает кларки токсичных компонентов. Самые большие массовые доли в углях имеют элементы 1-го класса опасности: ртути 5...62,5; мышьяка 15...106; бериллия 10; свинца 15; цинка 2...2,5. Попадая в поверхностные водоемы, большая часть указанных элементов образует донные осадки.

Увеличение массовой доли тяжелых металлов в донных осадках происходит вниз по течению поверхностных вод. На территории Донецко-Макеевского промузла, по данным [4], обнаружены следующие концентрации, ppm, тяжелых металлов в донных осадках:

ртуть 0,5...1,5 ($k_c = 18...54$)
свинец 30...200 ($k_c = 1,5...10$)
цинк 100...500 ($k_c = 1,1...5,3$)
хром 100...2000 ($k_c = 1,1...20,8$)
никель 70...150 ($k_c = 1,5...3,0$)
серебро 0,05...3,0 ($k_c = 2,1...127$),

где k_c – коэффициент, равный отношению концентрации элемента к ПДК. Он должен быть меньше 1. Его превышение свидетельствует о процессе аккумуляции вредных веществ. При $k_c = 1,2...2$ ситуация – предкризисная, при $k_c = 10$ ситуация относится к категории кризисных, а при $k_c = 100$ ситуация считается катастрофической [2, 3].

Концентрирование тяжелых металлов в донных осадках зависит от состава воды (в первую очередь, pH, состава и типа органических веществ). Наибольшую опасность для биоты представляют соединения свинца, ртути и кадмия. Основная опасность обусловлена превращением неорганических

соединений в метилпроизводные. По относительно благоприятному стечению обстоятельств тяжелые металлы концентрируются в природных осадках и биоте, а концентрация их в воде сравнительно низкая. Например, при концентрации ртути в донных осадках 80...800 мг/дм³ в воде ее не более 3,6 мг/дм³ [5]. Следует отметить, что при снижении показателя рН воды тяжелые металлы могут переходить из осадков в воду. Учитывая снижение рН в межмицеллярном пространстве осадков, обусловленное эффектом Паллмана, концентрация тяжелых металлов в поровом пространстве имеет повышенные значения. При взмучивании осадков, турбулизации придонных потоков концентрация тяжелых металлов будет повышаться.

Исследование состава донных осадков в прудах-охладителях Углегорской, Мироновской, Кураховской и Зуевской ТЭС показало, что максимальное загрязнение указанными осадками имеет место вблизи створов плотин. Повышенная концентрация тяжелых металлов в донных отложениях прудов-охладителей ТЭС обусловлена тем, что дебит многих малых рек Донбасса формируется в основном за счет шахтных вод.

Шахтные воды Донецко-Макеевского бассейна имеют значительный микроэлементный состав. Концентрация, мкг/дм³, отдельных компонентов в водах шахт «Мушкетовская», «Кировская», им. М.И. Калинина ДУЭК следующая.

Медь 3,4...30	Свинец 1,7...18,4
Кадмий 0,8...50	Хром 9,9...37,4
Никель 1,1...9,6	Мышьяк 3,8...103
Цинк 15,4...70,7	Марганец 12...68
Кобальт 1,8...6,1	Ртуть 0,4...1,1

В городах Донбасса среднесуточное потребление питьевой воды 300...500 л/чел. Для нормальной жизнедеятельности необходимо суточное потребление 3,5...4 л в сутки, т.е. меньше 1 % расходуемой воды.

Учитывая сложную ситуацию в регионе с обеспечением населения питьевой водой и относительно малую концентрацию тяжелых металлов в шахтных водах, может быть реализована отдельная система водоснабжения с подачей обработанной шахтной воды для санитарно-гигиенических целей и обессоленной воды для питья.

Особенности поведения отдельных тяжелых металлов, содержащихся в шахтных и других сточных водах, зависят от свойств других соединений металлов, растворенных в воде. Тяжелые металлы могут присутствовать в различных химических соединениях, в разной степени окисления, таким образом их токсическое действие может изменяться в зависимости от формы, в которой они находятся. Информация о суммарной концентрации того или иного металла в растворе часто является недостаточной для оценки токсического действия. Возникает необходимость учета таких характеристик,

как: токсичность, способность к биодegradации и биоаккумуляции, подвижность, растворимость и пр. В большей части исследований токсичности тяжелых металлов указывается [6], что гидратированные ионы тяжелых металлов наиболее токсичны, так как свободные ионы металлов проще и быстрее абсорбируются на коллоидных и взвешенных частицах (табл. 1).

Таблица 1

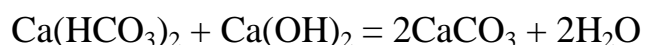
Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в сточных водах промышленных предприятий в некоторых странах Европейского союза (ЕС), ppm

Металл	Германия	Словения	Венгрия	Италия	Бельгия
Pb	0,5	0,5	0,05...0,2	0,2	0,5
Cd	0,1	0,5	0,005...0,01	0,02	0,005
Cu	0,5	0,5	0,5...2,0	0,1	0,05
Zn	-	1,0	1,0...5,0	0,5	0,3
As	-	0,1	0,05	0,5	0,05
Fe	-	2,0	10...20	2,0	-
Cr	0,5	1,0	0,2...1,0	2,0	0,05

Степень мобильности тяжелых металлов в воде зависит от следующих параметров: pH воды, концентрации в воде карбонатов и фосфатов, концентрации и типа органических веществ, наличия сульфид-ионов и пирита. Однако основным фактором воздействия среды на поведение тяжелых металлов является значение pH [7].

Несмотря на наличие большого количества химических и биологических технологий для обработки шахтных сточных вод, известкование является основным и наиболее распространенным методом. Это обусловлено высокой эффективностью удаления тяжелых металлов, кроме того, относительно низкой стоимостью извести в пересчете на эквивалент действующего вещества, учитывая малую эквивалентную массу извести – 28.

Обработка шахтных вод, содержащих повышенные концентрации кальциевой карбонатной жесткости, позволяет также существенно снизить минерализацию указанных вод и обеспечить возможность их использования в оборотных системах охлаждения конденсаторов турбин и прочего промышленного оборудования. Химическая реакция



обеспечивает снижение карбонатного индекса, что способствует безнакипному режиму работы оборотных систем.

Большинство тяжелых металлов предпочтительно осаждают в виде гидроксидов. В табл. 2 представлены данные о теоретической растворимости металлов в зависимости от типа используемого реагента-осадителя.

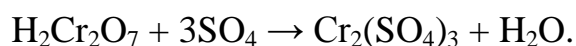
Таблица 2

Теоретическая растворимость отдельных металлов в чистой воде [8]

Металл	Осаждение, мг/дм ³		
	в виде гидроксида	в виде сульфида	в виде карбонатов
Кадмий (Cd ²⁺)	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Хром (Cr ³⁺)	$8,4 \cdot 10^{-4}$	–	–
Кобальт (Co ²⁺)	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	–
Медь (Cu ²⁺)	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-18}$	–
Железо (Fe ²⁺)	$8,9 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	–
Свинец (Pb ²⁺)	2,1	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$
Марганец (Mn ²⁺)	1,2	$2,1 \cdot 10^{-3}$	–
Ртуть (Hg ²⁺)	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-20}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$
Никель (Ni ²⁺)	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$
Серебро (Ag ⁺)	13,3	$7,4 \cdot 10^{-12}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$
Олово (Sn ²⁺)	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$	–
Цинк (Zn ²⁺)	1,1	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$

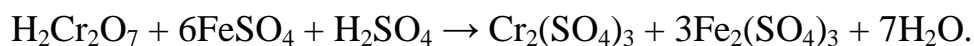
Для более полного осаждения некоторых металлов требуется предварительное окисление (продувка воздуха, добавка хлорной извести или озонирование) – например, для соединений двухвалентного железа, или восстановление – для соединений шестивалентного хрома. При этом реакции осаждения соединений хрома включают следующее.

Восстановление Cr⁺⁶ до Cr⁺³ при pH < 3 по схеме

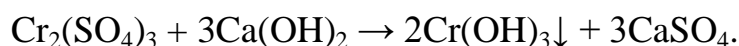


Удельный расход SO₂ равен 1,85 мг SO₂ на 1 мг Cr⁺⁶.

Следующим восстановителем может быть сульфат железа:



Реакция осаждения:



Удельный расход осадителя 2,13 мг Ca(OH)₂ на 1 мг Cr⁺⁶.

Оптимальные значения pH для осаждения различных металлов существенно отличаются. В табл. 3 приведен диапазон значений pH, необходимых для эффективного удаления соответствующего тяжелого металла.

Таблица 3

Диапазон значений pH для осаждения тяжелых металлов [9]

Металл	Диапазон pH	Металл	Диапазон pH
Кадмий	9,0...11,0	Свинец	6,5...9,0
Хром (III)	6,5...7,0	Никель	9,0...11,0
Медь	7,0...7,5	Серебро	9,0...12,0
Железо (III)	5,0...5,5	Цинк	8,0...8,5

Гидроксиды тяжелых металлов осаждаются в виде коллоидных заряженных частиц, поэтому возникает необходимость добавки коагулянтов, которые нейтрализуют заряд частиц и обеспечивают увеличение их размеров. Для интенсификации процесса осаждения за счет дальнейшего укрупнения осаждаемых частиц в обрабатываемую воду добавляют флокулянты. Отделение осадка от очищенной воды предпочтительно осуществлять в тонкослойных отстойниках. В зависимости от условий реализации процесса отстаивания шлам, получаемый в отстойниках, может содержать от 1 до 30 % твердого вещества (рис. 1). Учитывая многокомпонентность тяжелых металлов в шахтной воде и данные табл. 3, стадия осаждения может быть реализована в несколько ступеней.

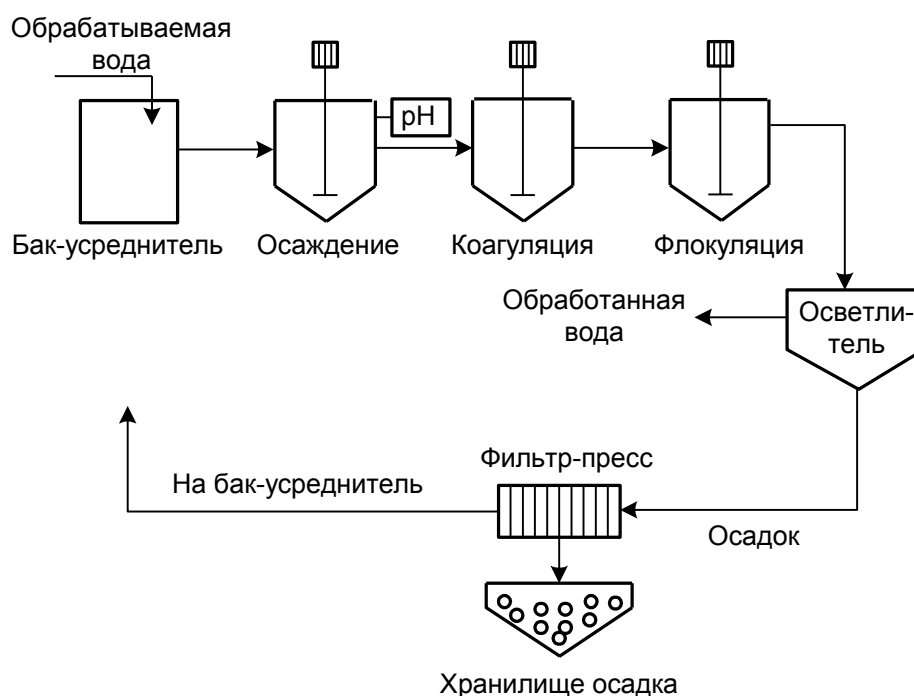


Рис. 1. Принципиальная схема обработки сточных вод

Большинство тяжелых металлов обладает амфотерными свойствами. При превышении значения рН больше оптимального значение равновесной концентрации металла значительно увеличивается. На рис. 2 показано изменение концентрации тяжелых металлов и алюминия в зависимости от уровня рН. Авторы обработали данные [9] и получили аналитические уравнения зависимости концентрации отдельных элементов от уровня рН и соответственно активности водородных ионов. Уравнения имеют вид:

$$\text{для } Fe^{3+} = \frac{10^{22,248} + 10^{2,957 pH}}{10^{2 pH} \cdot 10^{14,248}} = 10^{8,0} \cdot a_H^{2,0} + \frac{1}{10^{14,248} \cdot a_H^{0,957}};$$

$$\text{для } Cu^{2+} = \frac{10^{38,122} + 10^{3,898 pH}}{10^{1,87 pH} \cdot 10^{24,926}} = 10^{13,196} \cdot a_H^{1,87} + \frac{1}{10^{24,926} \cdot a_H^{2,028}};$$

$$\text{для } Zn^{2+} = \frac{10^{31,808} + 10^{3,291 pH}}{10^{1,817 pH} \cdot 10^{17,36}} = 10^{14,448} \cdot a_H^{1,817} + \frac{1}{10^{17,36} \cdot a_H^{1,474}};$$

$$\text{для } Al^{3+} = \frac{10^{25,487} + 10^{3,463 pH}}{10^{14,315} \cdot 10^{2,396 pH}} = 10^{11,172} \cdot a_H^{2,396} + \frac{1}{10^{14,315} \cdot a_H^{1,067 pH}}.$$

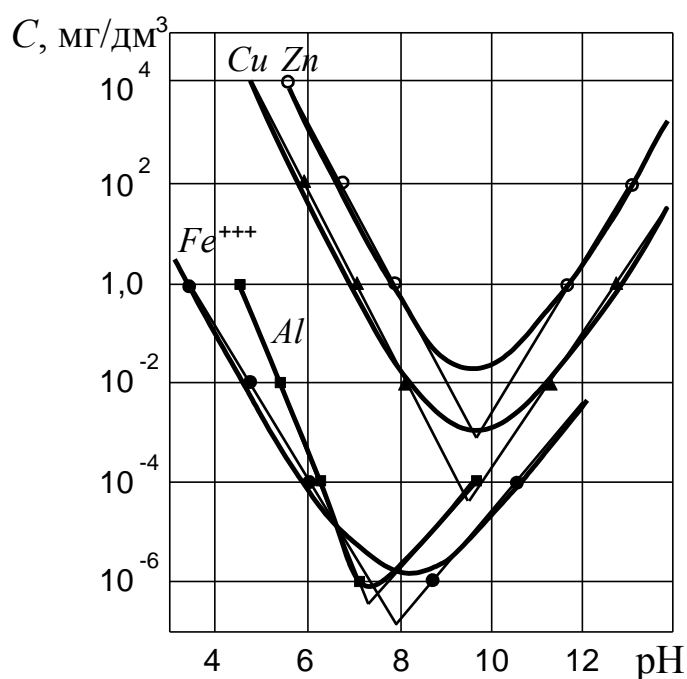


Рис. 2. Изменение концентрации C тяжелых металлов и алюминия в зависимости от уровня рН

На кривые рис. 2 точками нанесены расчетные значения. Данные показывают хорошую воспроизводимость результатов.

Выводы

1. Выполнено обоснование основных показателей, обуславливающих вредное воздействие шахтных вод на окружающую среду.

2. Основным фактором воздействия водной среды на поведение тяжелых металлов является показатель рН.

3. Учитывая сложную, близкую к критической, обстановку с обеспечением населения питьевой водой, целесообразно раздельное водоснабжение для санитарно-гигиенических и питьевых целей.

4. Оптимальные значения показателей рН для осаждения отдельных тяжелых металлов существенно отличаются, что вызывает необходимость использования ступенчатого осаждения при наличии в сточных водах многих компонентов.

5. Выведены аналитические зависимости растворимости металлов от уровня рН и соответственно активности водородных ионов.

Список литературы / References

1. Высоцкий, С.П. Риски затопления шахт и использование шахтных вод / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько, В.В. Лихачева // Вестник Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 1(18). – С. 88–95.

Vysotskiy, S.P., Gul'ko, S.Ye., Likhachyeva, V.V. *Riski zatopleniya shakht i ispol'zovaniye shakhtnykh vod* [Risks of inundation of mines and use of mine waters]. *Vestnik Avtomobil'no-dorozhnoho instituta Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Automobile Engineering Institute of the Donetsk National Technical University]. 2016, no. 1(18), pp. 88–95.

2. Садовникова, Л.К. Показатели загрязнения почв тяжелыми металлами при почвенно-химическом мониторинге / Л.К. Садовникова, Н.Г. Зырин // Почвоведение. – 1995. – № 10. – С. 84–89.

Sadovnikova, L.K., Zyrin, N.G. *Pokazateli zagryazneniya pochv tyazhyelymi metallami pri pochvenno-khimicheskom monitoringe* [Indices of contamination of soil with heavy metals by the soil-chemical monitoring]. *Pochvovedeniye – Soil science*, 1995, no. 10, pp. 84–89.

3. Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. – М.: Химия, 1996. – 318 с.

Maystrenko, V.N., Khamitov, R.Z., Budnikov, G.K. *Ekologo-analiticheskiy monitoring superoksidantov* [Ecoanalytical monitoring of superoxidants]. Moscow, Khimiya Publ., 1996, 318 p.

4. Шевченко, О.А. Эколого-геохимические особенности шахтных вод Донбасса (на примере Донецко-Макеевского углепромышленного бассейна) /

О.А. Шевченко, Ю.А. Проскурня // Геолого-минералогический вестник. – 2001. – № 2. – С. 38–43.

Shevchenko, O.A., Proskurnya, Yu.A. *Ekologo-geokhimicheskiye osobennosti shakhtnykh vod Donbassa (na primere Donetsko-Makeyevskogo uglepromyshlennogo basseyna)* [Ecogeochemical peculiarities of mine waters of the Donets Basin (in terms of the Donetsk-Makeyevka coal-mining basin)]. *Geologo-mineralogichnyi visnyk – Geological-mineralogical bulletin*, 2001, no. 2, pp. 38–43.

5. Гавришин, А.И. Некоторые важные закономерности химического состава шахтных вод // Фундаментальные исследования. Геолого-минералогические науки. – 2014. – № 11. – С. 465–470.

Gavrishin, A.I. *Nekotoryye vazhnyye zakonornosti khimicheskogo sostava shakhtnykh vod* [Some significant conformities of the chemical composition of mine waters]. *Fundamental'nyye issledovaniya. Geologo-mineralogicheskiye nauki – Fundamental investigations. Geological-mineralogical sciences*, 2014, no. 11, pp. 465–470.

6. Ayers, D.V., Davis, A.P., Gietka, P.M. Removing heavy metals from wastewater. Engineering Research Center Report. University of Maryland, 1994, August, 22 p.

7. Высоцкий, С.П. Влияние различных факторов на растворимость металлов и степень удаления соединений железа из раствора / С.П. Высоцкий, Т.И. Степаненко // Вестник Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 1(18). – С. 96–104.

Vysotskiy, S.P., Stepanenko, T.I. *Vliyaniye razlichnykh faktorov na rastvorimost' metallov i stepen' udaleniya soyedineniy zheleza iz rastvora* [Influence of various factors on dissolubility of metals and degree of removal of iron compounds out of the solution]. *Vestnik Avtomobil'no-dorozhnogo instituta Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Automobile Engineering Institute of the Donetsk National Technical University]. 2016, no. 1(18), pp. 96–104.

8. Voudouris, K., Voutsas, D., eds. Water quality monitoring and assessment. April 5, 2012.

Chapter 19. Odobasic, A. Determination and speciation of trace heavy metals in natural water by DPASV. 2012, pp. 429–456. doi: 10.5772/32339.

9. Aubé, B. (2004). The science of treating acid mine drainage and smelter effluents. Available at: <http://www.informine.com/publications/does/Aube.pdf> (accessed 16 March 2007).

Sergey Pavlovich Vysotskiy, Dr. Sci. (Tech.), head of subdepartment; e-mail: kafedraekologii@yandex.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 (+38 050) 64-98-436;

Sergey Yevgen'yevich Gul'ko, Cand. Sci. (Tech.), director; e-mail: dgsh@dgsh.donetsk.ua

The State Institution “Dongiproshakht”

283001, Donetsk, 125, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 305-36-11

DECREASE OF HARMFUL INFLUENCE OF MINING ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT

Purpose. Solving the problem of purification and use of mine waters for the technical and sanitary and hygienic water supply.

Methods. The results of investigations of domestic and foreign authors, as well of the authors of the work given were used for analysis of the concentration of toxic elements in mine waters and for that one of influence of the pH-index on dissolubility of basic pollutants.

Results. The high degree of the influence of the pH-value on dissolubility of heavy metals in the solutions is shown. The optimal values of the pH-index for precipitation of the separate heavy metals and aluminum differ considerably, what makes it necessary to precipitate them step-by-step, if many components are available in mine waters. The possibility of the application of the separate water supply in the cities with the use of the mine water purified for the sanitary and hygienic as well for drinking purposes is substantiated.

Scientific novelty. The necessity of the step-by-step precipitation of the heavy metals is proved. The analytical relations of dissolubility of the heavy metals in the water solutions are ascertained depending on the pH-index and activity of hydrogen ions.

Keywords: *mine water; toxic substances; concentration; heavy metals; harmful influence; decrease.*

УДК 543.452:[547.21+547.53]:614.841.2

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

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

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

Тамара Михайловна Лукомская, ведущий инж.; e-mail: tmchromic@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-39-91*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ РЕФРАКТОМЕТРИИ

Цель. Разработать метод идентификации инициаторов горения с использованием рефрактометрии и оптимальной модели аналитической зависимости «состав-свойство» для многокомпонентных смесей.

Методы. Рефрактометрический метод определения оптических свойств жидкостей. Метод математического планирования эксперимента для аналитического описания физико-химических свойств многокомпонентных углеводородных смесей.

Результаты. Определены значения показателя преломления n_D^{20} индивидуальных легковоспламеняющихся жидкостей (гексана, декана и бензола) и их бинарных и трёхкомпонентных смесей при температуре 20 °С. На основании экспериментальных данных выбрана и апробирована модель полинома четвёртого порядка для аналитического описания физико-химических свойств двух- и трёхкомпонентных смесей. Показана возможность использования экспериментально определённых и теоретически рассчитанных показателей преломления жидкостей, инициаторов горения, при их качественном анализе.

Научная новизна. Предложен экспрессный метод идентификации жидкостей, инициаторов горения, с использованием рефрактометрии и оптимальной модели аналитической зависимости «состав-свойство» для многокомпонентных смесей.

Практическая значимость. Метод реализуется без применения дорогостоящего оборудования и позволяет проводить идентификацию неизвестных жидкостей, поступающих на пожарно-технические исследования.

Ключевые слова: идентификация; инициаторы горения; показатель преломления; удельная рефракция; интерцепт рефракции; многокомпонентные смеси; метод симплекс-решётчатого планирования; полином четвёртого порядка.

Постановка проблемы. Во время пожаров обычно уничтожаются основные следы, указывающие на причины их возникновения, а также следы преступной деятельности, которые пытаются скрыть путём поджогов.

Главные задачи при расследовании поджогов – установление факта наличия легковоспламеняющейся или горючей жидкости, а также, что более важно, идентификация применённой жидкости неизвестного состава [1].

Для решения идентификационных задач существенное значение имеет количество представленного на исследование вещества. Жидкости, инициаторы горения, могут находиться в больших количествах (в различного рода ёмкостях) или в малых и следовых количествах (на объектах-носителях). Следует отметить, что в исследованиях пожаров оперировать сравнительно

большими количествами инициаторов горения приходится достаточно редко [2]. Это возможно, если на месте или вблизи пожара обнаружены ёмкость с остатками неизвестной жидкости или лужицы растёкшейся жидкости.

Определённые объёмы инициаторов горения могут подвергаться другим экспертным исследованиям, в частности экспертизе лакокрасочных материалов (исследование растворителей, входящих в состав лаков, красок, эмалей и др.), нефтепродуктов (товарных автомобильных бензинов, керосина и др.), когда их изучают в связи с возможной фальсификацией [3]. В таких случаях определяют ряд физико-химических и эксплуатационных свойств инициаторов горения.

Исследования физико-химических свойств жидкостей, кроме плотности, вязкости, температуры кипения, поверхностного натяжения, диэлектрической проницаемости, предусматривают определение показателя преломления (коэффициента рефракции).

Показатель преломления – одна из важных характеристик не только индивидуальных веществ, но и сложных многокомпонентных смесей, к которым относятся нефтепродукты. Показатель преломления (так же, как и плотность) углеводородных молекул тем меньше, чем больше в них относительная объемная доля водорода.

Наибольшими значениями плотности и показателя преломления обладают ароматические углеводороды, а наименьшими – алифатические насыщенные (предельные) углеводороды. Непредельные углеводороды занимают промежуточное положение.

Закономерности, изложенные выше для индивидуальных углеводородов, наблюдаются также и для нефтяных фракций, т. е. чем выше температура кипения фракции, тем выше её плотность и показатель преломления. По показателю преломления и плотности приближённо можно судить о групповом углеводородном составе нефтепродуктов.

Это позволяет использовать показатель преломления как константу для идентификации неизвестных веществ, которые по своей природе являются жидкостями.

В этой связи актуальной остаётся разработка экспрессных, простых и доступных методов идентификации неизвестных жидкостей, инициаторов горения, с использованием метода рефрактометрии.

Анализ последних исследований и публикаций. Для описания свойств многокомпонентных систем в научной литературе широко используются различные методы. В публикациях [4-6] дан обстоятельный анализ применения математических методов с целью описания зависимостей «состав – свойство» для многокомпонентных систем. Наиболее простым из них является применение правила аддитивности, т.е. вычисление исследуемого свойства системы, состоящей из двух или более компонентов, по сумме аналогичных свойств каждого из компонентов с учётом доли их участия в системе.

Для описания свойств многокомпонентных систем широко применяется метод симплексных решёток, разработанный Шеффе, и полиномы Шеффе

различного порядка [5]. Необходимо отметить, что первым примером использования планов Шеффе была работа американских учёных Германа и Хинмана по расчёту октановых чисел трёхкомпонентных смесей бензинов разных марок с помощью уравнения регрессии третьего порядка.

Цели исследования и постановка задач. Цель – разработка метода для экспрессной идентификации сложных многокомпонентных смесей с применением рефрактометрии и математической модели для двух- и трёхкомпонентных смесей.

В задачи настоящей работы входит:

- проведение экспериментов для установления входных параметров (компонентный состав двух- и трёхкомпонентных смесей) и определения выходных – физико-химические свойства многокомпонентных смесей (показатель преломления, плотность, удельная рефракция и интерцепт рефракции);
- выбор полинома и расчёт модели двух- и трёхкомпонентных смесей, на основании полученных экспериментальных данных для аналитического описания свойств смесей;
- проверка адекватности полученной математической модели для оценки её качества.

Изложение основного материала. Алгоритм решения поставленных задач следующий.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования взяты одни из основных компонентов наиболее распространённого инициатора горения, бензина: алифатические нормальные углеводороды (гексан и декан) и ароматический углеводород (бензол). На основе взятых чистых углеводородов приготовлена серия их двухкомпонентных и трёхкомпонентных смесей с различной концентрацией исходных компонентов. Отдельно укажем, что был использован объёмный способ выражения концентрации для смесевых компонентов, а именно объёмные доли, что более соответствует реальной технологии приготовления товарных бензинов [4].

Смешанные растворы готовили таким образом, чтобы выполнялось условие: $x_1 + x_2 + x_3 = 1$, где x_1 – объёмная доля гексана; x_2 – объёмная доля декана; x_3 – объёмная доля бензола.

Исходными данными, или входными параметрами, приняты составы двух- и трёхкомпонентных систем.

В качестве основных выходных параметров были выбраны физико-химические свойства смесей – показатель преломления и плотность.

Кроме плотности и показателя преломления, для характеристики углеводородов нефтепродуктов использовали константы, являющиеся производными этих свойств: удельную рефракцию r и интерцепт рефракции RI .

Удельная рефракция является функцией плотности и показателя преломления в соответствии с формулой Лоренца – Лорентца [7]:

$$r = \frac{(n_D^{20})^2 - 1}{(n_D^{20})^2 + 2} \frac{1}{\rho^{20}}, \quad (1)$$

где n_D^{20} – показатель преломления при температуре 20 °С;
 ρ^{20} – плотность при температуре 20 °С, кг/м³.

Другой константой, применяемой при анализе углеводородов нефти, является интерцепт рефракции RI . Он представляет собой разницу между показателем преломления и половиной плотности [7]:

$$RI = n_D^{20} - \frac{\rho^{20}}{2}. \quad (2)$$

Показатель преломления n_D^{20} указанных систем в каждой точке симплексной решётки измерили с помощью рефрактометра ИРФ-22, за результат принимали среднее арифметическое двух параллельных измерений. Точность измерений показателя преломления $\pm 10^{-4}$.

Значения показателей удельной рефракции r и интерцепта рефракции RI на основе экспериментально измеренных и рассчитанных по выбранной модели значений показателей преломления вычисляли по уравнениям (1) и (2).

Для чистых углеводородов, гексана, декана и бензола, значения плотности известны. Плотность бинарных и тернарных смесей веществ определяли экспериментально на основе данных о массе и объёме смеси.

Для описания зависимости «свойство – состав» использована матрица планирования или симплексная решётка типа $\{q, n\}$,

где $q = 3$ – количество компонентов смеси;

$n = 4$ – степень полинома.

Матрица планирования состоит из 15 опытов по экспериментальному определению показателя преломления и плотности для смесей, компонентный состав которых представлен в табл. 1. Значения показателя преломления были взяты с учетом их зависимости от температуры.

Таблица 1

Матрица планирования и значения выходных переменных для трёхкомпонентной системы: гексан (x_1) – декан (x_2) – бензол (x_3)

Номер опыта	План			Свойство смеси	Выходная переменная \hat{Y}			
	Состав смеси, объёмная доля				Эксперимент			
					n_D^{20}	$\rho^{20} \cdot 10^3$, кг/м ³	$r \cdot 10^{-3}$, м ³ /кг	$RI \cdot 10^3$, кг/м ³
x_1	x_2	x_3						
1	1	0	0	y_1	1,3750	0,659	0,3474	1,0455
2	0	1	0	y_2	1,4120	0,730	0,3409	1,0470
3	0	0	1	y_3	1,5010	0,879	0,3352	1,0615

Окончание табл. 1

Номер опыта	План			Свойство смеси	Выходная переменная \hat{Y}			
	Состав смеси, объёмная доля				Эксперимент			
	x_1	x_2	x_3		n_D^{20}	$\rho^{20} \cdot 10^3$, кг/м ³	$r \cdot 10^{-3}$, м ³ /кг	$RI \cdot 10^3$, кг/м ³
4	0,5	0,5	0	y_{12}	1,3954	0,695	0,3455	1,0482
5	0	0,5	0,5	y_{23}	1,4368	0,805	0,3250	1,0338
6	0,5	0	0,5	y_{13}	1,4526	0,769	0,3512	1,0681
7	0,25	0,75	0	y_{1222}	1,4044	0,712	0,3437	1,0483
8	0,75	0,25	0	y_{1112}	1,3864	0,677	0,3474	1,0480
9	0	0,75	0,25	y_{2223}	1,4310	0,767	0,3372	1,0471
10	0	0,25	0,75	y_{2333}	1,4741	0,842	0,3334	1,0523
11	0,25	0	0,75	y_{1333}	1,4677	0,824	0,3375	1,0563
12	0,75	0	0,25	y_{1113}	1,4059	0,714	0,3435	1,0483
13	0,25	0,25	0,5	y_{1233}	1,4438	0,787	0,3376	1,0505
14	0,25	0,5	0,25	y_{1223}	1,4210	0,749	0,3384	1,0463
15	0,5	0,25	0,25	y_{1123}	1,4142	0,732	0,3416	1,0483

Кроме значений показателя преломления n_D^{20} и плотности ρ^{20} , в табл. 1 показаны выходные переменные (удельная рефракция r и интерцепт рефракции RI , которые были вычислены по формулам (1) и (2) на основе экспериментально измеренных значений показателя преломления и плотности.

Выбор полинома и расчёт математической модели

Выбор полинома осуществлялся на основе информации, полученной в результате сбора, систематизации и анализа предварительно полученных экспериментальных данных (см. табл. 1).

Так как количество проведённых опытов достаточно велико (15 экспериментальных точек), полагали, что для получения более достоверных результатов расчёта зависимость аналитического описания физико-химических свойств (n_D^{20} , r , RI) от состава рассматриваемых двух- и трёхкомпонентных систем может быть рассчитана полиномами высоких порядков, например, полиномом четвёртого порядка [6]:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \\ & + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 + \\ & + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициенты при слагаемых в уравнении (3) рассчитывали, используя значения выходных переменных (n_D^{20} , r , RI), представленные в табл. 1, по следующим формулам [6]:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= y_1; \\ \beta_2 &= y_2; \\ \beta_3 &= y_3; \\ \beta_{12} &= 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\beta_{13} &= 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3; \\
\beta_{23} &= 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3; \\
\gamma_{12} &= 2,667(-y_1 + 2y_{1112} - 2y_{1222} + y_2); \\
\gamma_{13} &= 2,667(-y_1 + 2y_{1113} - 2y_{1333} + y_3); \\
\gamma_{23} &= 2,667(-y_2 + 2y_{2223} - 2y_{2333} + y_3); \\
\delta_{12} &= 2,667(-y_1 + 4y_{1112} - 6y_{12} + y_{1222} - y_2); \\
\delta_{13} &= 2,667(-y_1 + 4y_{1113} - 6y_{13} + y_{1333} - y_3); \\
\delta_{23} &= 2,667(-y_2 + 4y_{2223} - 6y_{23} + y_{2333} - y_3); \\
\beta_{1123} &= 32(3y_{1123} - y_{1223} - y_{1233}) + 2,667(6y_1 - y_2 - y_3) - 16(y_{12} + y_{13}) - \\
&- 5,333(5y_{1112} + 5y_{1113} - 3y_{1222} - 3y_{1333} - y_{2223} - y_{2333}); \\
\beta_{1223} &= 32(3y_{1223} - y_{1123} - y_{1233}) + 2,667(6y_2 - y_1 - y_3) - 16(y_{12} + y_{13}) - \\
&- 5,333(5y_{1222} + 5y_{2223} - 3y_{1112} - 3y_{2333} - y_{1113} - y_{1333}); \\
\beta_{1233} &= 32(3y_{1233} - y_{1123} - y_{1233}) + 2,667(6y_3 - y_1 - y_2) - 16(y_{13} + y_{23}) - \\
&- 5,333(5y_{1333} + 5y_{2333} - 3y_{1113} - 3y_{2223} - y_{1112} - y_{1222}).
\end{aligned}$$

Обработка экспериментальных данных и расчёт модели (3), проведённые с помощью табличного процессора Microsoft Excel и программного пакета Table Curve 2D, позволили получить следующую математическую зависимость между переменной «показатель преломления n_D^{20} » и составом смеси (x_1, x_2, x_3):

$$\begin{aligned}
n_D^{20} &= 1,375x_1 + 1,412x_2 + 1,501x_3 + 0,0076x_1x_2 + 0,05832x_1x_3 - 0,0788x_2x_3 + \\
&+ 0,00256x_1x_2(x_1 - x_2) + 0,00640x_1x_3(x_1 - x_3) + 0,467x_2x_3(x_2 - x_3) + \\
&+ 0,00992x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 0,259x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 0,2315x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - \\
&- 0,257x_1^2x_2x_3 - 1,785x_1x_2^2x_3 + 1,900x_1x_2x_3^2.
\end{aligned} \quad (4)$$

Вычисление ошибки эксперимента и проверка адекватности математической модели

Для оценки качества и адекватности полученной модели (4) были дополнительно взяты 11 проверочных точек с компонентным соотношением гексана, декана и бензола, отличающимся от соотношения этих компонентов для смесей, представленных в табл. 1. Для каждой точки, используя выражение (4), рассчитали значения показателя преломления n_D^{20} и определили относительную погрешность расчёта E . Оценку надёжности определения показателя преломления для каждой проверочной точки рассчитали, используя относительную погрешность и критерий Стьюдента t_p [4]:

$$t_p = \frac{\Delta n_D^{20} \sqrt{m}}{S_0 \sqrt{1+\xi}}, \quad (5)$$

где $\Delta n_D^{20} = n_{D_s}^{20} - n_{D_p}^{20}$ – разность экспериментального и рассчитанного по уравнению (4) значений показателя преломления;
 m – количество параллельных опытов в каждой точке;
 S_0 – среднеквадратичное отклонение;

ξ – величина, связанная с коэффициентами уравнения (4).

Исходные данные проверки адекватности модели (4) описания зависимости: показатель преломления n_D^{20} – состав системы: гексан x_1 – декан x_2 – бензол x_3 ; результаты расчёта относительной погрешности E и критерия Стьюдента t_p приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные проверки адекватности модели (4)

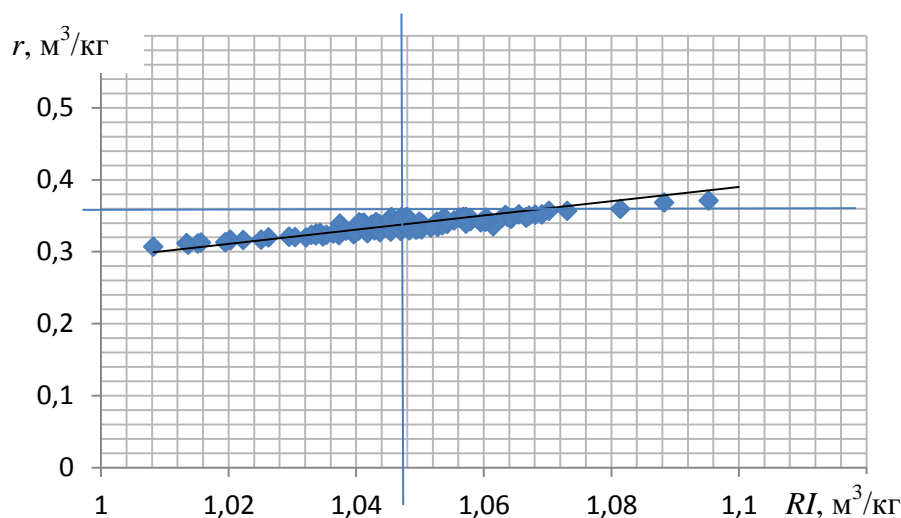
N	Состав смеси, объёмная доля			$n_{D_s}^{20}$	$n_{D_p}^{20}$	$E, \%$	$t_p \cdot 10^{-5}$
	x_1	x_2	x_3				
1	0,45	0,45	0,1	1,4040	1,4032	0,06	0,00636
2	0,4	0,4	0,2	1,4130	1,4125	0,04	0,0251
3	0,35	0,35	0,3	1,4188	1,4227	0,27	1,49
4	0,25	0,25	0,5	1,4438	1,4439	0,007	0,00085
5	0,2	0,2	0,6	1,4538	1,4546	0,06	0,0592
6	0,15	0,15	0,7	1,4672	1,4653	0,13	0,0361
7	0,1	0,1	0,8	1,4810	1,4763	0,32	2,19
8	0,05	0,05	0,9	1,4860	1,4880	0,13	4,12
9	0,25	0,5	0,25	1,4210	1,4218	0,06	0,0623
10	0,5	0,25	0,25	1,4142	1,4173	0,22	0,96
11	0,333	0,333	0,333	1,4278	1,4265	0,09	0,175

Как следует из анализа табл. 2, максимальная относительная погрешность расчёта показателя преломления для 11 проверочных точек трёхкомпонентных смесей составляет 0,32 %, что обеспечивает вполне приемлемую точность для качественного анализа смесей.

При уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 11$ табличное значение t – критерия Стьюдента $t_{\text{табл}}$ равно 2,23. Для всех контрольных точек соблюдается неравенство $t_p \leq t_{\text{табл}}$ (см. табл. 2).

Таким образом, полученная модель (4) оказалась адекватной для описания зависимости показателя преломления n_D^{20} от состава смеси. Аналогичным образом, используя вычисленные показатели удельной рефракции r и интерцепта рефракции RI (см. табл. 1), рассчитаны зависимости между переменными r и RI и составом двух- и трёхкомпонентных смесей (x_1, x_2, x_3). Графическая интерпретация полученных результатов показана на рисунке. Каждая точка на идентификационной карте отвечает одному определённому составу и свойству системы гексан–декан–бензол.

Таким образом, располагая результатами эксперимента для различных чистых веществ, их бинарных и трёхкомпонентных смесей, можно определить значение свойства для двухкомпонентной и для трёхкомпонентной смеси любого состава. Также можно решить и обратную задачу: зная свойство системы, предсказать вероятный компонентный состав смеси.



Идентификационная карта системы гексан–декан–бензол
в координатах удельная рефракция r – интерцепт рефракции RI

Имея в распоряжении рабочий атлас идентификационных карт для различных систем, можно значительно расширить возможности идентификации жидкостей неизвестного состава.

Выводы. Исследованы рефрактометрические свойства индивидуальных углеводородов (гексана, декана и бензола) и их двух- и трёхкомпонентных смесей с различными соотношениями компонентов. Выбрана и апробирована модель полинома четвёртого порядка, которая может быть использована для изучения основных физико-химических свойств: показателя преломления, плотности, вязкости, температуры кипения, поверхностного натяжения, диэлектрической проницаемости для идентификации инициаторов горения.

Показано, что, проанализировав несколько физико-химических свойств, по их совокупности можно судить о компонентном составе, принадлежности жидкости, инициатора горения, к тому или иному классу или сходстве представленных на исследования объектов и, следовательно, успешно решать идентификационные задачи. Предложенный в статье подход к расчёту основных физико-химических свойств двух- и трёхкомпонентных смесей, может быть реализован для идентификации более сложных жидких систем с количеством компонентов ≥ 4 , например, лаков, красок, светлых нефтепродуктов при проведении пожарно-технических исследований.

Список литературы/ References

1. Другов, Ю.С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды и почвы / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – СПб.: Теза, 2001. – 624 с.
Drugov, Yu.S., Rodin, A.A. *Gazokhromatograficheskaya identifikatsiya zagryazneniy vozdukha, vody i pochvy* [Gas chromatographic identification of air, water and soil pollutions]. St. Petersburg, Teza Publ., 2001, 624 p.

2. Шарапов, С.В. Экспертная диагностика остатков легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, изымаемых с места пожара, и критерии их классификации: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Шарапов. – СПб., 2000. – 144 с.

Sharapov, S.V. *Ekspertnaya diagnostika ostatkov legkovosplamenyayushchikhsya i goryuchikh zhidkostey, isymayemykh s mesta pozhara, i kriterii ikh klassifikatsii: dis. kand. tekhn. nauk* [Expert diagnostics of the residua of highly inflammable and flammable liquids being withdrawn from the fire place and criteria of their classification. Cand. techn. sci. dis.]. St. Petersburg, 2000, 144 p.

3. Россинская, Е.Р. Судебная экспертиза в уголовном, гражданском, арбитражном процессе / Е.Р. Россинская [Электронный ресурс]. URL: http://royallib.com/read/rosinskaya_elena/sudebnaya_ekspertiza_v_gragdanskom_arbitrazhnom_administrativnom_i_ugolovnom_protseesse.html#0 (дата обращения: 05.10.2016).

Rossinskaya, Ye.R. *Sudebnaya ekspertiza v ugolovnom, grazhdanskom, arbitrazhnom protseesse* [Court expertise in the criminal, civil and arbitration procedure] [Electronic resource]. Available at: http://royallib.com/read/rosinskaya_elena/sudebnaya_ekspertiza_v_gragdanskom_arbitrazhnom_administrativnom_i_ugolovnom_protseesse.html#0 (accessed 05.10.2016).

4. Николаев, В.Ф. Описание физико-химических свойств трёхкомпонентных моделей товарных бензинов / В.Ф. Николаев, И.И. Табрисов, Р.Б. Султанова // Вестн. Казанск. технол. ун-та. – 2010. – № 10. – С. 342 – 349.

Nikolayev, V.F., Tabrisov, I.I., Sultanova, R.B. *Opisaniye fiziko-chimicheskikh svoystv tryekhkompontnykh modeley tovarnykh benzinov* [Description of physicochemical properties of ternary models of commercial benzines]. *Vestn. Kazansk. tekhnol. un-ta* [Bulletin of the Kazan Technological University]. 2010, vol. 13, no. 10, pp. 342 – 349.

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

Akhmadiyev, F.G., Gil'fanov, R.M. *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya "sostav – svoystvo" mnogokomponentnykh smesey* [Mathematical modeling and optimization "composition – property" of multicomponent mixtures]. *Izvestiya KGASU* [Proceedings of the KGASU], 2012, no. 2 (20), pp. 289 – 297.

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

Sagdeyev, D.I., Khubatkuzin, A.A., Fomina, M.G. etc. *Komp'yuternoye modelirovaniye metodom simpleksnykh reshyetok plotnosti i vyazkosti mnogokomponentnykh smesey nepredel'nykh uglevodorodov v shirokom diapazone izmeneniya parametrov sostoyaniya* [Computer modeling of density and viscosity of multicomponent mixtures of unsaturated hydrocarbons in the wide range of scaling

the status variables by means of the simplex lattice method]. *Khimiya i komp'yuternoye modelirovaniye. Butlerovskiye soobshcheniya – Chemistry and computer modeling. Boutler messages*, 2002, no. 10, pp. 50 – 54.

7. Табрисов, И.И. Рефракто-денсиметрический метод контроля автомобильных бензинов на соответствие нормам Евро-4 и -5 по суммарному содержанию ароматических углеводородов и содержанию кислорода / И.И. Табрисов, Р.Б. Султанова, В.Ф. Николаев // Вестн. Казанск. технол. ун-та. – 2012. – Т. 15, № 9. – С. 5.

Tabrisov, I.I., Sultanova, R.B., Nikolayev, V.F. *Refrakto-densimetriceskiy metod kontrolya avtomobil'nykh benzinov na sootvetstviye normam Evro-4 i -5 po summarnomu sodержaniyu aromaticeskikh uglevodorodov i sodержaniyu kisloroda* [Refracto-densimetric method of control of motor benzinov na sootvetstviye normam Evro-4 i -5 po summarnomu sodержaniyu aromaticeskikh uglevodorodov i sodержaniyu kisloroda] [Bulletin of the Kazan Technological University]. 2012, vol. 15, no. 9, p. 5.

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук И.Н. Зинченко.
Дата поступления рукописи 06.10.2016

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

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

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

Tamara Mikhaylovna Lukomskaya, advanced engineer; e-mail: tmchromic@mail.ru

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

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-39-91

IDENTIFICATION OF HIGHLY INFLAMMABLE LIQUIDS BY THE REFRACTOMETRY METHOD

Purpose. To work out the method of identification of combustion initiators with the use of refractometry and the optimum model of the analytical dependence “composition – property” for multicomponent mixtures.

Methods. Refractometric method of determination of optical properties of liquids. Method of mathematical planning the experiment for analytical description of physicochemical properties of the multicomponent hydrocarbon mixtures.

Results. The values of the index of refraction n_D^{20} of the individual highly inflammable liquids (hexane, decane and benzene) and their binary and ternary mixtures at a temperature of 20 °C were determined. On the basis of experimental data the model of the quartic polynomial was chosen and approved for the analytical description of the physicochemical properties of the binary and ternary mixtures. The possibility of the use of the experimentally determined and theoretically calculated indices of refraction of the liquids, i.e. combustion initiators, is shown by their qualitative analysis.

Scientific novelty. The rapid test method of identification of the liquids, i.e. combustion initiators, with the use of the refractometry and the optimum model of the analytical dependence “composition – property” for multicomponent mixtures is proposed.

Practical value. The method is realized without the use of the expensive equipment and allows carrying-out the identification of the unknown liquids being received for fire-technical investigations.

Keywords: *identification; combustion initiators; index of refraction; specific refraction; intercept of refraction; multicomponent mixtures; method of the simplex-lattice planning; quartic polynomial.*

III. Охрана труда

УДК 622.817.47

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

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

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) 311-42-79*

ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ

Цель. Обоснование и оценка параметров, определяющих выбор режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации.

Методика. Анализ результатов функционирования систем дегазации на действующих шахтах и литературных источников, в которых определяют параметры метановыделения при работающей и отключенной дегазации.

Результаты. Изучено состояние систем дегазации шахт на территории Донецкой Народной Республики, выполнен сравнительный анализ и дана оценка параметров, характеризующих газовую обстановку на выемочных участках при работающей и отключенной дегазации.

Научная новизна. Предложен системный подход к оценке газовой обстановки на выемочных участках при работающей и отключенной системе дегазации, дана оценка компенсационных возможностей шахтных вентиляционных сетей.

Практическая значимость. Обоснованы параметры, влияющие на газовую обстановку выемочных участков, применяющих дегазацию, и определены источники резервов подачи воздуха.

Ключевые слова: состояние проветривания; шахта; выемочный участок; режимы вентиляции при работающей и отключенной системе дегазации; определяющие параметры; резервы воздуха.

Состояние вопроса. На выемочных участках газообильных шахт, где вентиляцией невозможно обеспечить концентрацию метана в исходящей струе в пределах норм, установленных Правилами безопасности в угольных шахтах, и если не выполняется условие (1), должна применяться дегазация пластов-спутников и выработанных пространств.

$$\bar{I}_{\text{уч}} \leq 0,007 \bar{Q}_{\text{уч}} \bar{C}_{\text{уч}} \quad , \quad (1)$$

где $\bar{I}_{\text{уч}}$ – средний дебит метана в исходящей струе выемочного участка, м³/мин;

$\bar{Q}_{\text{уч}}$ – средний расход воздуха в исходящей струе выемочного участка, м³/мин;

$\bar{C}_{\text{уч}}$ – норма средней объемной доли метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка, %.

Указанные средние значения параметров определяют по результатам измерений при стабильной работе лавы, после посадки основной кровли, за один месяц.

Основанием для применения систем дегазации является рост нагрузок на очистные забои как основной способ снижения себестоимости добычи угля.

Во всем мире дегазация считается одним из основных технологических процессов, обеспечивающих безопасность ведения горных работ [1]. Для снижения метановыделения и ликвидации местных скоплений метана дополнительно к системам дегазации на шахтах Донецкой Народной Республики применяют изолированный отвод метана из выработанных пространств по трубопроводам или неподдерживаемым выработкам с помощью газоотсасывающих вентиляторов ВМЦГ-7м за пределы выемочных участков или с выпуском метановоздушной смеси в исходящую струю участка (установки УСМ, УВГ и др.).

В процессе эксплуатации систем дегазации наблюдаются случаи их отключения или плановой остановки. При этом метановыделение в выработки довольно резко увеличивается, растет концентрация метана в исходящих струях участков и особенно в местах образования местных скоплений. Это существенно снижает безопасность ведения горных работ, а в отдельных случаях приводит к авариям с тяжелыми последствиями [2 – 4].

Вопросы выбора параметров и режимов проветривания выемочных участков, конкретные рекомендации по безопасным способам их осуществления при отключении систем дегазации изучены недостаточно и в основополагающих нормативных документах, проектах и паспортах отработки лав не отражены. Поэтому вопросы безопасности, обоснование параметров и выбор режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации весьма актуальны в настоящее время.

Результаты исследований. Для обоснования параметров и выбора режимов проветривания выемочных участков выполнен анализ состояния проветривания шахт, выемочных участков, способов дегазации, методов оценки газовой обстановки и наличия фактических резервов по расходу воздуха для увеличения подачи воздуха на выемочные участки (табл. 1).

Все шахты Донецкой Народной Республики, применяющие дегазацию, относятся к опасным по внезапным выбросам угля и газа. Газообильность шахт – от 12 до 200 м³/мин, а их добыча находится в пределах 245...4618 т/сут и в среднем 1911 т/сут.

Шахты обеспечены расчетным количеством воздуха на 101...142 %, т.е. на шахтах с высокой обеспеченностью имеются фактические резервы воздуха. Системой дегазации суммарно отводится 191 м³/мин метана или 35 % от выделяющегося его количества. На отдельных шахтах система дегазации отводит до 50,7 м³/мин метана или до 60 % общего его количества (шахты им. А.Ф. Засядько, № 22 «Коммунарская»).

Таблица 1

Газодинамические параметры шахт и выемочных участков, применяющих дегазацию, на территории Донецкой Народной Республики в 2016 г.

Шахта	Параметры шахты			Параметры выемочных участков					
	Метановыделение, м ³ /мин	Количество метана, отводимое дегазацией, м ³ /мин	Количество лав всего / с дегазацией	Добыча, т/сут	Расход воздуха, м ³ /мин	Объемная доля метана, %	Метановыделение, м ³ /мин	Метановыделение из выработанного пространства, м ³ /мин	Количество метана, отводимое дегазацией, м ³ /мин
Им. М.И. Калинина	14,46	2,72	1/1	245	725	0,3	5,9	3,73	2,72
«Щегловская-Глубокая»	41,13	17,29	3/3	613	1322	0,42	8,99	6,03	3,44
				643	1303	0,43	8,62	7,28	3,02
				853	2160	0,46	20,77	17,65	10,83
№ 22 «Коммунарская»	60,77	36,5	4/3	1295	2032	0,7	28,72	20,06	14,5
				1149	1553	0,7	27,17	19,94	16,3
				744	740	0,2	7,18	6,03	5,7
«Калиновская-Восточная»	12	2,06	1/1	388	1203	0,33	6,03	2,96	2,06
«Холодная балка»	58,53	14,2	1/1	987	1236	0,7	22,85	16,88	14,2
Им. С.М. Кирова	18,18	8,06	1/1	705	1220	0,71	16,72	8,56	8,06
«Ясиновская-Глубокая»	20,56	0,65	2/2	270	930	0,13	2,51	2,37	0,26
				294	972	0,27	4,22	1,1	0,39
Им. А.Ф. Засядько	81,4	48,4	2/1	2490	2497	0,7	63,7	57,9	48,4
«Ждановская»	36,7	10,4	4/1	900	1122	0,7	25,34	18,45	10,4
«Комсомолец Донбасса»	200,8	50,7	6/4	606	2296	0,9	31,76	17,1	11,1
				628	2327	0,8	27,12	13,08	8,51
				581	2669	0,9	44,12	39,22	20,7
				464	1747	0,9	26,12	21,48	10,4

Одновременно работают 25 лав, из них с дегазацией – 18 лав. Добыча лав с дегазацией колеблется от 245 до 2490 т/сут и в среднем равна 770 т/сут. На участки подается от 725 до 2669 м³/мин свежего воздуха, а концентрация метана в исходящих струях выемочных участков находится в пределах установленных Правилами безопасности норм (0,1...0,9 %), т.е. на участках есть внутренние резервы воздуха.

Основным наиболее распространенным способом дегазации при различных схемах проветривания является дегазация пластов-спутников в кровле пласта путем бурения скважин из вентиляционных выработок (рис. 1).

Все остальные способы дегазации применяют эксклюзивно в единичных случаях из-за низкой эффективности (например, дегазация разрабатываемого пласта), сложности технологии осуществления (дегазация с применением гидрорасчленения) и других причин. Параметры скважин (длина, угол наклона, расстояние между ними) определяют согласно действующим нормативным документам. Дегазацию применяют в основном при сплошной системе разработки и возвратноточной схеме проветривания 1В-Н-в(н)-вт – 9 участков, при схемах с полным 3В-Н-в(г)-вт(пт) – 4 участка и частичным разбавлением вредностей 2В-Н-в-вт(пт) – 4 участка.

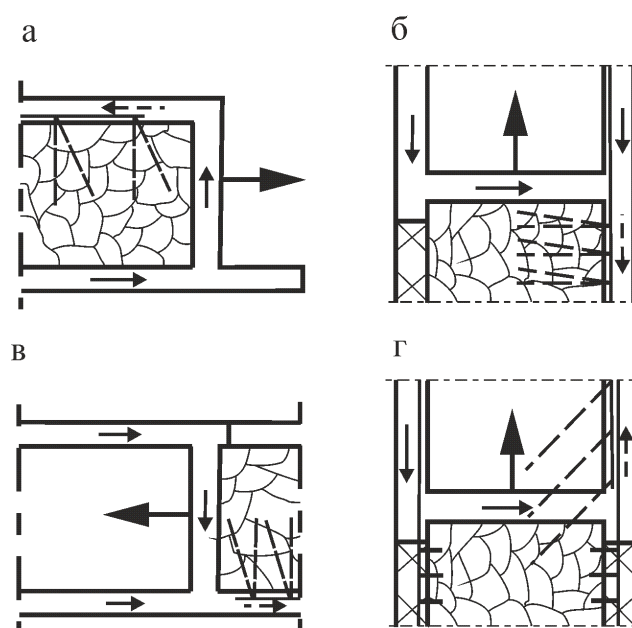


Рис. 1. Основные схемы проветривания и дегазации пластов-спутников в кровле разрабатываемого пласта:

- а – сплошная система разработки и возвратноточная схема проветривания (1В-Н-в-вт);
- б – столбовая система разработки и прямоточная схема проветривания с частичным разбавлением вредностей (2В-н-г-пт);
- в – столбовая система разработки и прямоточная схема проветривания с полным обособленным разбавлением вредностей (3В-Н-н-пт);
- г – столбовая система разработки и возвратноточная схема проветривания (1М-Н-г-вт) с комплексной дегазацией

На шахте им. А.Ф. Засядько при схеме проветривания 1М-Н-г-вт применяют комплексную дегазацию [5 – 7] пластов-спутников с дополнительным отводом метана из выработанного пространства при помощи отростков газопровода из вентиляционной и конвейерной выработок.

Периодически применяют газоотсос и отвод метана по неподдерживаемым выработкам (шахты им. А.А. Скочинского, им. А.Ф. Засядько).

Несмотря на достаточно высокую обеспеченность шахт и выемочных участков воздухом, имеют место загазовывания выработок, а на таких шахтах, как им. А.А. Скочинского, «Комсомолец Донбасса», «Щегловская-Глубокая», им. А.Ф. Засядько – свыше 50 случаев в течение года.

Одной из основных причин загазовывания выработок выемочных участков является отключение систем дегазации технологического или аварийного характера. К технологическим отключениям относятся переход с рабочего вакуум-насоса на резервный и слив воды из газопровода (табл. 2).

Таблица 2

Характерные причины и продолжительность отключения систем дегазации шахты «Социалистический Донбасс»

Причина отключения системы дегазации	Продолжительность отключения, мин				Количество отключений		Максимальная продолжительность отключения, ч
	0...10	11...20	21...30	>30	Всего	%	
Слив воды из газопроводов	34	1	1	-	36	32,7	0,5
Отсутствие электроэнергии и неисправность электрооборудования	13	12	-	2	27	24,5	1,5
Переход с рабочего вакуум-насоса на резервный	18	3	-	-	21	19,1	0,33
Ремонт вакуум-насосной станции	2	3	2	12	19	17,3	8,25
Другие	2	2	2	1	7	6,4	0,83
Итого	69	21	5	15	110	-	-
%	62,7	19,1	4,6	13,6	-	100	-

Максимальное количество отключений систем дегазации шахты происходит из-за слива воды, собравшейся в трубопроводе (32,7 %). В большинстве случаев слив воды из дегазационного трубопровода – плановая процедура и выполняется в течение первых 10 мин.

Вторая причина аварийной остановки систем дегазации – отсутствие электроэнергии и неисправность электрооборудования (24,5 %). Время 3 отключений систем дегазации по этой причине не превысило 10 мин, 12 отключений от 10 до 20 мин и два случая отключения свыше 30 мин. Максимальная продолжительность остановки системы дегазации из-за отсутствия электроэнергии 1,5 ч.

Переход на резервные вакуум-насосы (18 раз) выполнялся в течение 10 мин и 3 раза – от 10 до 20 мин, т.е. в пределах допустимого времени остановки систем дегазации.

Выполнение других видов работ, связанных с отключением систем дегазации, продолжительностью менее 30 мин – 7 раз. Максимальное время остановки систем дегазации 8,25 ч (при ремонте вакуум-насосной станции).

Для наглядности показано изменение метановыделения выемочного участка одной из шахт после отключения дегазации (рис. 2).

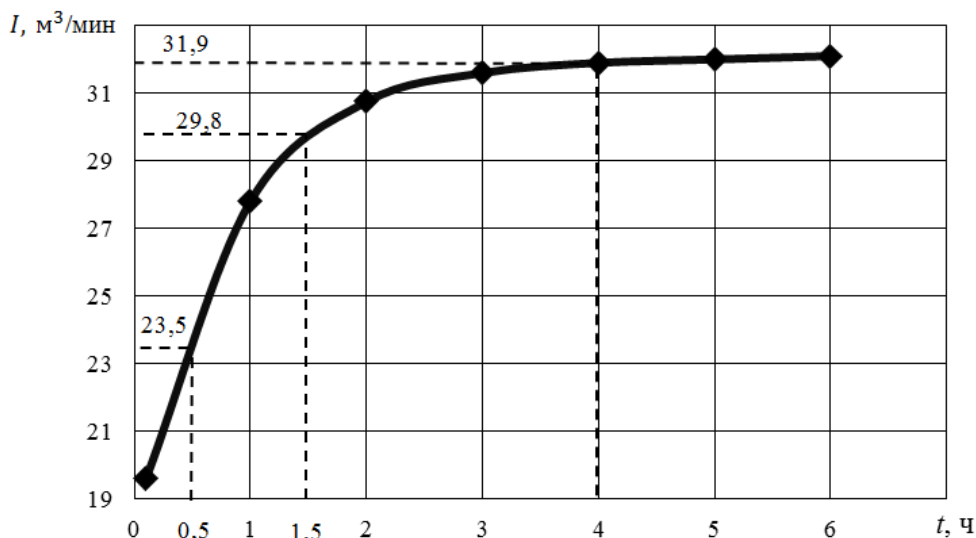


Рис. 2. Изменение интенсивности метановыделения на участке 4-й восточной лавы пл. h_{10} шахты им. газеты «Социалистический Донбасс» при отключении системы дегазации

Анализ изменения метановыделения показывает, что отключение дегазации продолжительностью до 30 мин приводит к увеличению метановыделения на $4 \text{ м}^3/\text{мин}$ (метановыделение увеличилось с $19,5$ до $23,5 \text{ м}^3/\text{мин}$).

При отключении системы дегазации на $1,5 \text{ ч}$ прирост метановыделения $10,3 \text{ м}^3/\text{мин}$, на 4 ч – увеличился до $12,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ и в дальнейшем прекратился со стабилизацией метановыделения на уровне $31,9 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Метановыделение при отключенной системе дегазации определяется экспериментально или по шахтным данным за период не менее одного месяца стабильной работы лавы после посадки основной кровли по формуле

$$I_{\text{отк}} = 0,01(\bar{C}_{\text{уч}} \bar{Q}_{\text{уч}} + \bar{C}_{\text{тр}} \bar{Q}_{\text{тр}} k_{\text{уд}}), \quad (2)$$

где $\bar{C}_{\text{тр}}$ – средняя объемная доля метана в дегазационном газопроводе, %;

$\bar{Q}_{\text{тр}}$ – средний расход метановоздушной смеси в дегазационном газопроводе, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$k_{\text{уд}}$ – коэффициент, учитывающий влияние дегазации на увеличение расхода капируемого метана. Значение $k_{\text{уд}}$ усредненно принимается равным $0,835$. С учетом эффективности дегазации $k_{\text{уд}}$ определяется по формуле

$$k_{\text{уд}} = \frac{1,0 - k_{\text{д}}}{1,06 - k_{\text{д}}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{д}}$ – коэффициент эффективности дегазации.

Значение $k_{\text{уд}}$ колеблется от $0,769$ при $k_{\text{д}} = 0,8$ до $0,92$ при $k_{\text{д}} = 0,3$.

Необходимый расход воздуха для проветривания участка при отключенной системе дегазации определяется по формуле

$$Q_{\text{отк}} = k_n (\bar{C}_{\text{уч}} \bar{Q}_{\text{уч}} + 100 \bar{I}_d k_{\text{уд}}), \quad (4)$$

где k_n – коэффициент неравномерности газовыделения;

\bar{I}_d – количество метана, отводимое дегазацией, м³/мин.

Выполненный анализ фактического состояния проветривания выемочных участков и систем дегазации, расчетов их параметров по литературным источникам позволил обосновать основные влияющие на метановыделение факторы: мощность разрабатываемого пласта, пластов-спутников, их расстояние от кровли разрабатываемого пласта, объемная доля газовыделения из выработанного пространства и эффективность дегазации.

Одним из основных мероприятий по обеспечению безопасности работ при отключении систем дегазации является увеличение подачи воздуха на выемочный участок. Внутренние резервы воздуха имеют выемочные участки, на которых фактическая концентрация метана меньше нормы, установленной Правилами безопасности. К резервам вентиляционной сети относится возможность подачи воздуха на участок за счет раскрывания регуляторов, снижения подачи воздуха на второстепенные или имеющие обеспеченность воздухом выше нормы объекты (определяется экспериментально или расчетом на ЭВМ). Резервы воздуха на вентиляторах определяются по аэродинамической характеристике вентилятора и вентиляционной сети или расчетом на ЭВМ.

На шахтах Донецкой Народной Республики, применяющих дегазацию, работают 24 вентиляторные установки, оборудованные современными однотипными рабочими и резервными вентиляторами. Подача вентиляторов находится в пределах от 1860 до 23656 м³/мин, депрессия – от 1700 до 7950 Па. Резервы подачи воздуха 17 вентиляторными установками колеблются от 200 до 8760 м³/мин и могут быть использованы при отключении систем дегазации.

Выводы. При отключении систем дегазации резко (в 1,3...3 раза) увеличивается поступление метана в выработки выемочных участков и концентрация метана в исходящих струях.

На большинстве действующих шахт имеется достаточный резерв воздуха для обеспечения проветривания выемочных участков при отключенной системе дегазации.

Обеспечение предельно допустимых Правилами безопасности норм концентрации метана в исходящих струях выемочных участков можно достигнуть за счет:

- использования фактических резервов воздуха при объемной доле метана в исходящей струе участка менее 1 %;
- раскрывания имеющихся на участке регуляторов расхода воздуха;
- снижения подачи воздуха на второстепенные объекты;
- перевода режима работы вентилятора главного проветривания на большую подачу;
- усиления одного из видов дегазации (при комплексной дегазации).

Для эффективного и безопасного использования резервов воздуха необходим специальный нормативный документ по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации с методиками расчета увеличения метановыделения, необходимого расхода воздуха, его резервов и мер безопасности.

Мероприятия по выбору режимов проветривания выемочных участков при отключении систем дегазации и расчеты параметров должны включаться в проекты отработки лав и планы ликвидации аварий.

Список литературы / References

1. Карнаух, Н.В. Особенности проветривания высоконагруженных очистных забоев на газовых шахтах / Н.В. Карнаух, Е.Я. Самойленко // Работы ДонУГИ: сб. науч. тр. – Донецк: ДонУГИ, 2007. – Вып. 105. – С. 177 – 183.

Karnaukh, N.V., Samoylenko, Ye.Ya. *Osobennosti provetrivaniya vysokonagruzhennykh ochistnykh zaboyev na gazovykh shakhtakh* [Peculiarities of ventilation of high-loaded faces at gassy mines]. *Raboty DonUGI: sb. nauch. tr.* [Works of the DonUGI: proc. of scientific papers], Donetsk, DonUGI Publ., 2007, issue 105, pp. 177 – 183.

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

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

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

Radchenko, V.V., Smolanov, S.N. etc. *Likvidatsiya avariyy v ugol'nykh shakhtakh. Teoriya i praktika* [Accident elimination in coal mines. Theory and praxis]. Kiev, Tekhnika Publ., 1999, 320 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 vyyemochnykh uchastkakh ugol'noy shakhty v normal'nykh i avariynykh usloviyakh* [Degassing control at excavation 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. Ефремов, И.А. Комплексная дегазация угольных пластов и их спутников в шахтах / И.А. Ефремов // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 36 – 45.

Yefremov, I.A. *Kompleksnaya degazatsiya ugol'nykh plastov i ikh sputnikov v shakhtakh* [The complex degassing of coal seams and their leaders in mines].

Gornospasatelnoye delo: sb. nauch. tr. / NIIGD "Respirator" [Proc. of the NIIGD "Respirator" "Mine-rescue work"]. Donetsk, 2012, issue 49, pp. 36 – 45.

6. Бокий, Б.В. Особенности комплексной дегазации выемочных участков / Б.В. Бокий // Сб. науч. тр. ИГТМ «Геотехническая механика». – 2012. – Вып. 97. – С. 89 – 101.

Bokiy, B.V. *Osobennosti kompleksnoy degazatsii vuyemochnykh uchastkov* [Peculiarities of the complex degassing of excavation districts]. *Sb. nauch. tr. IGTM "Geotekhnicheskaya mekhanika"* [Proc. of the IGTM "Geotechnical mechanics"]. 2012, issue 97, pp. 89 – 101.

7. Звягильский, Е.Л. Перспективы развития дегазации на шахте им. Засядько / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов // Уголь Украины. – 2003. – № 12. – С. 35 – 39.

Zvyagil'skiy, Ye.L., Bokiy, B.V., Kasimov, O.I. *Perspektivy razvitiya degazatsii na shakhte im. Zasyad'ko* [Prospects of development of the degassing at the Zasyad'ko mine], *Ugol' Ukrainy – Coal of the Ukraine*, 2003, no. 12, pp. 35 – 39.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.С. Гребёнкиным.
Дата поступления рукописи 04.10.2016

Pyetr Semyenovich Pashkovskiy, Dr. Sci. (Tech.), first deputy director on science;

e-mail: respirator@mail.dnmchsru;

Nikolay Victorovich Karnaukh, Cand. Sci. (Tech.), senior scientific associate; e-mail: oavr@mail.ru;

Aleksandr Victorovich 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 DNR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phones (+38 062) 311-42-79

VENTILATION OF EXCAVATION DISTRICTS BY CUTOFF OF DEGASSING SYSTEMS

Purpose. Substantiation and estimation of parameters determining the choice of ventilation conditions of the excavation districts by cutoff of the degassing systems.

Methods. Analysis of results of function of the degassing systems at the operating mines and that one of literature sources that the parameters of methane release are determined by the operating and cut off degassing in.

Results. The state of the degassing systems of the mines was studied in a territory of the Donetsk People's Republic, the comparative analysis was fulfilled, and the estimation of the parameters characterizing the gas situation at the excavation districts was given by the operating and cut off degassing.

Scientific novelty. The system approach to the estimation of the gas situation at the excavation districts is proposed by the operating and cut off degassing system, the estimation of the compensation possibilities of the mine ventilation networks is given.

Practical value. The parameters influencing on the gas situation at the excavation districts using the degassing are substantiated, and the sources of the air feed reserves are determined.

Keywords: *ventilation state; mine; excavation district; ventilation conditions by the operating and cut off degassing system; influential parameters; air reserves.*

УДК [622.835.55:622.822.22]:622.454

Евгений Александрович Головченко, ведущий инж.; e-mail: enpio_80@mail.ru

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-40-37*

ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ В ЗОНАХ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель. Исследование вентиляционных процессов, происходящих в целике угля, для определения их влияния на самовозгорание угля.

Методы. Анализ вентиляционных процессов, происходящих в образовавшихся трещинах угольных целиков, и их влияние на самонагревание (самовозгорание) угля на основе эквивалентной схемы.

Результаты. Рассмотрены вентиляционные процессы, происходящие в разрушаемых угольных целиках при образовании в них утечек воздуха, и предложены мероприятия, направленные на снижение вероятности самовозгорания целиков угля при их разрушении в зонах опорного давления.

Научная новизна. Получена эквивалентная вентиляционная схема шахтного участка с проросом воздуха через целик.

Практическая значимость. Предложены мероприятия, направленные на снижение вероятности самовозгорания целиков угля, исходя из того, что вентиляционный режим при отработке ранее оставленных угольных целиков играет очень важную роль в профилактике возникновения пожаров.

Ключевые слова: опорное давление; вентиляционный режим; самовозгорание угля; целики угля; пологие и наклонные пласты.

Постановка проблемы. На угольных предприятиях оставляют межлавные, барьерные целики и целики для охраны подготовительных выработок. С увеличением глубины горных работ размеры предохранительных целиков возрастают, что приводит к росту потерь угля. В настоящее время многие угольные предприятия приступили к выемке ранее оставленных целиков угля. Однако отработка их при резких изменениях вентиляционного режима может привести к самовозгоранию угля.

Анализ последних исследований. Исследования процессов, происходящих в горных выработках, в последние 10 лет не затрагивали процессы в оставляемых угольных целиках, которые не рассматривали как основные запасы угля для шахт. Однако в некоторых случаях именно оставление целиков угля приводит к самонагреванию и последующему самовозгоранию угля, что не учитывали из-за отсутствия данных о фильтрации воздуха через целик.

Влияние вентиляционного потока, омывающего эти целики, не рассматривалось отдельно, а только лишь в целом совместно с вентиляционной сетью выемочного участка [1].

Воздухопроницаемость целиков угля играет важную роль при расчетах возведения изолирующих сооружений как в случае аварийных ситуаций, так и при временной остановке горных работ. При этом не следует забывать о фильтрации воздуха и опорном давлении, действующем на целик [2]. В ранее проведенных исследованиях обращали внимание на эти факторы в отдельности, без учета их совместного влияния на самонагревание угля.

Цель работы. Исследование вентиляционных процессов, происходящих в целике угля, для определения их влияния на самовозгорание угля.

Материалы и результаты исследования. Целики угля в период выемки находятся в зоне активного влияния очистных работ. Под зоной активного влияния следует понимать участок породного массива, напряженное состояние которого, в результате ведения очистных работ, претерпело значительные изменения. В выработках, находящихся в указанных зонах, наблюдается увеличение смещений пород, их интенсивности и неравномерности [3].

В зависимости от интенсивности напряжений в краевой части в среднем сечении лавы выделяют четыре зоны (рис. 1):

- зона А – зона пониженных напряжений (первая зона);
- зона Б – зона повышенных напряжений;
- зона В – зона пониженных напряжений (вторая зона);
- зона Г – зона напряжений, близких к первоначальным.

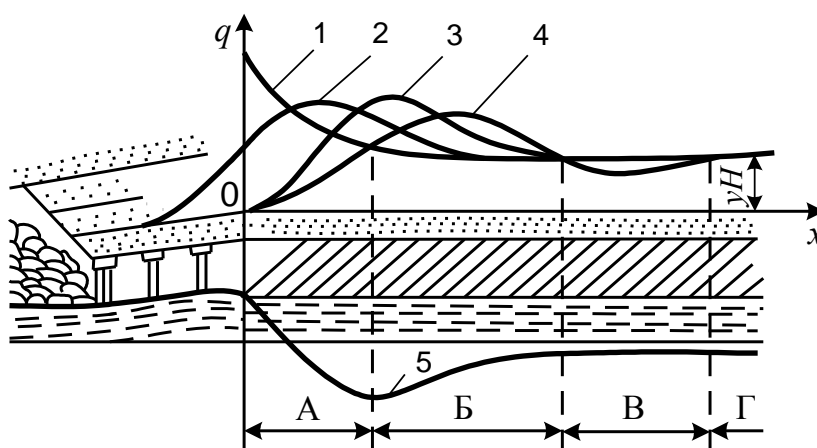


Рис. 1. Схема распределения опорного давления впереди забоя:

1 – по теории упругости; 2 – по данным Б.В. Матвеева [3]; 3 – по данным шахтных и лабораторных исследований; 4 – по теории балок на упругом основании; 5 – реактивное давление на почве пласта

Конкретное распределение этих зон зависит от строения, состава и свойства пород. Во всех случаях деформации и разрушения в краевой зоне определяются отношением интенсивности опорного давления к механическим характеристикам пласта, продолжительностью действия нагрузки и другими факторами.

Так же во всех случаях раздавливания краевой части угольных пластов силами опорного давления максимум давления перемещается дальше от забоя в глубь массива (рис. 2). При этом ширина призабойного пространства $l_{\text{п}}$ сначала увеличивается на C_1 (ширину зоны явного отжима, т.е. визуально наблюдаемого), а затем на ширину C_2 (ширину зоны уплотнения). Эпюра опорного давления все время перемещается, меняет свою форму.

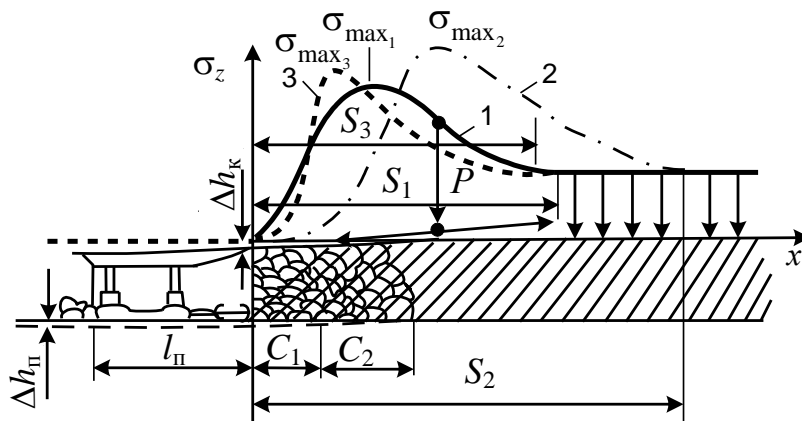


Рис. 2. Распределение опорного горного давления при раздавливании краевой части пласта:

1-3 – эпюра опорного давления σ_z соответственно до раздавливания краевой зоны пласта, после раздавливания и в случае, если происходит лишь ее уплотнение; $l_{\text{п}}$ – ширина зоны поддерживаемого призабойного пространства; $\Delta h_{\text{к}}$ и $\Delta h_{\text{п}}$ – уменьшение мощности пласта при сжатии краевой зоны опорным давлением за счет опускания кровли и поднятия почвы; T и P – соответственно составляющая давления по напластованию и вертикальная

Общий характер распределения опорного давления вблизи очистного забоя с полным обрушением кровли представлен на рис. 3. В плоскости пласта выделяют три зоны опорного давления:

- передняя I;
- задняя II;
- боковая (по падению и восстанию) III.

Кроме того, выделяют зоны: динамического проявления опорного давления a , затухания динамического проявления опорного давления b , статического опорного давления c . В зонах динамического проявления интенсивность опорного давления, как и характер его распределения, а также ширина охватываемой зоны, изменяются. Скорость этих изменений не стабильна, они могут быть медленными, а могут носить и мгновенный ударный характер. Все зоны динамического опорного давления перемещаются по мере подвигания очистного забоя.

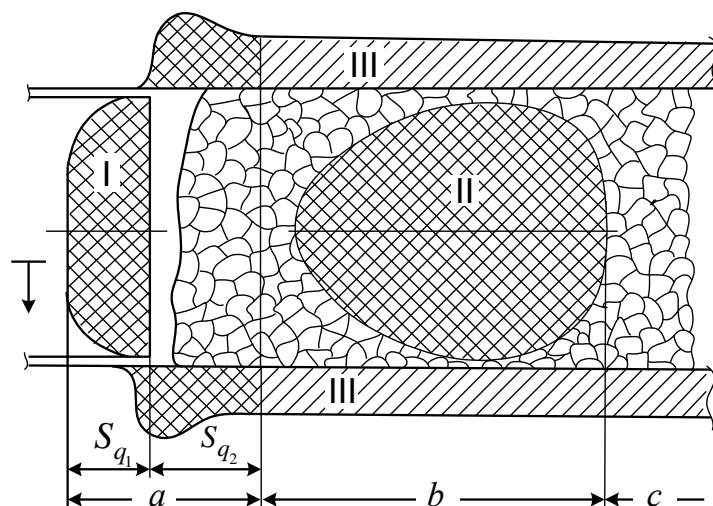


Рис. 3. Зоны опорного давления

По бокам выработанного пространства проходят две волны опорного давления, первая – при проведении штреков, вторая – при подвигании лавы. Поэтому боковые стенки выработки чаще всего раздавливаются, что приводит к деформации пород. По некоторым данным ширина передней зоны опорного давления изменяется от 20 до 250 м и более. Ширина боковой зоны (по падению и восстанию) изменяется от 15 до 50 м. Наиболее четко динамика опорного давления отмечается в передней зоне S_{q1} и боковых зонах S_{q2} . И только позади задней зоны опорного давления располагаются зоны статического опорного давления, при этом следует заметить, что зоны опорного давления по простиранию не имеют четкого разграничения.

Утечки воздуха $Q_{ут}$, м³/мин, через отрабатываемый целик угля можно приблизительно рассчитать по формуле

$$Q_{ут} = 0,3K \frac{mlh}{b},$$

где K – коэффициент, учитывающий влияние очистных работ;

$K = 1$ – на участке, отстоящем от лавы более чем на 30 м;

l – длина целика, м;

h – депрессия между откаточным и вентиляционным штреками (среднее значение h для реальных условий можно принять постоянным и равным 15), дПа;

b – ширина целика (равная длине лавы), м.

Самовозгорание или интенсивное самонагревание угля в целиках наблюдается чаще всего в шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, тем не менее разработка пластов угля, не склонного к

самовозгоранию, также сопряжена с эндогенными пожарами в угольных целиках [4].

Самовозгорание угля в целиках обусловлено фильтрацией воздуха через целик, так как даже самая незначительная его деформация приводит к резкому увеличению проницаемости целика.

Из практики известно, что если при данном установившемся вентиляционном режиме, а следовательно, и при данной депрессии на участке, процессов самовозгорания не наблюдалось, то изменение этого режима (следовательно, и депрессии) в ту или другую сторону рискованно, так как часто ведет к возникновению или интенсификации процессов самонагрева.

Поэтому для иллюстрации того, как изменение вентиляционного режима может быть опасно в пожарном отношении, рассмотрим следующий пример.

В угольном целике, разделяющем два штрека А и В (рис. 4), из которых по штреку А подается свежий воздух в один из рабочих участков шахты, а по штреку В отводится исходящая струя, образовалась сквозная трещина $a - b$, по которой начался просос воздуха, не вызывающий, однако, нагревания целика.

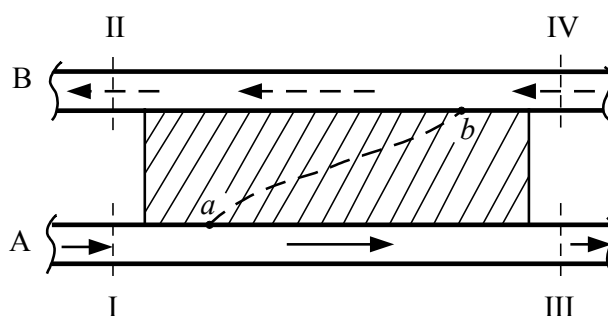


Рис. 4. Схема выемочного участка с целиком угля, в котором происходит просос воздуха по трещине $a - b$

Уменьшить расход воздуха, поступающего на участок, можно, при возникновении в этом необходимости, установкой временной перемычки с проемом. С точки зрения вентиляции, перемычку можно разместить в любом месте штрека А или штрека В. Однако вентиляционный режим трещины $a - b$ (т.е. утечка воздуха через целик) зависит от того, где поставить перемычку. Это хорошо видно, если схему шахтного участка заменить эквивалентной вентиляционной схемой (рис. 5).

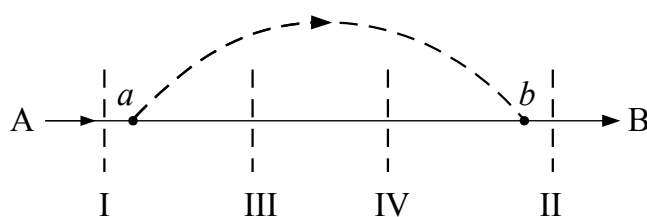


Рис. 5. Эквивалентная вентиляционная схема шахтного участка с прососом воздуха через целик

Установка перемычки с окном в штреке А в сечении I (т.е. до устья трещины) или же в штреке В, в сечении II (за выходом этой трещины в штрек) уменьшит утечки воздуха через целик, так как при этом депрессия в трещине снизится.

Установка же перемычки в сечении III штрека А (т.е. за устьем трещины) или в сечении IV штрека В (т.е. перед выходом трещины в этот штрек) увеличит просос, так как создаст подпор воздуха перед устьем трещины.

Таким образом, если бы образование трещины $a - b$ и просос воздуха через нее вызвало нагревание целика, и для прекращения нагревания нужно было бы ослабить просос, то достигнуть этого можно установкой дополнительного сопротивления (перемычки) в сечении I или в II. И, наоборот, если бы потребовалось усилить ток воздуха через целик, то для этого следовало поставить дополнительное аэродинамическое сопротивление в сечении III или IV.

Целики могут обрабатываться не только на пологих пластах, но и наклонных. В последнем случае движение воздуха по выработкам, примыкающим к целику, может быть восходящим или нисходящим. Возникающая же в трещинах при самонагревании угля тепловая депрессия всегда имеет восходящее направление. Поэтому если выработка проветривается восходящей струей, то это совпадение направлений тепловой депрессии и вентиляционной струи благоприятствует прохождению воздуха через трещины в целике. При проветривании же выработки нисходящей струей тепловая депрессия имеет направление, противоположное вентиляционной струе, уменьшает просос воздуха и может совершенно прекратить его и остановить процесс самонагревания.

Чем круче наклон пласта, тем это торможение прососа значительнее. Отсюда следует, что при отработке целиков при нисходящем проветривании вероятность развития пожара меньше, чем при восходящем проветривании.

Ошибочно также полагать, что чем шире целик, тем он более пожаробезопасен. В работе [5] показано, что в пределах скоростей фильтрации воздуха, наблюдающихся в предохранительных целиках и обусловленных их проницаемостью и существующими перепадами давления, увеличение скорости фильтрации ведет к резкому повышению температуры угля в целике. При этом влияние скорости фильтрации тем сильнее, чем шире целик. Отсюда следует, что (при невозможности изменить вентиляционный режим) наиболее эффективным средством снижения эндогенной пожароопасности угольных целиков является их изоляция по поверхности обнажения.

Обобщая вышесказанное, следует еще раз подчеркнуть, что вентиляционный режим при отработке ранее оставленных угольных целиков играет очень важную роль в профилактике возникновения пожаров, так как вентиляционный режим является тем фактором, который может вызвать возникновение эндогенного пожара в одном случае и, наоборот, оградить шахту от его возникновения – в другом.

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать выводы, что для снижения вероятности самовозгорания целиков угля:

- недопустимо располагать регуляторы расхода воздуха в пределах выемочных участков, обрабатывающих целики угля;
- не следует увеличивать подачу воздуха в очистные забои сверх расчетного значения для того, чтобы не увеличивать депрессию целика угля и утечки воздуха через него;
- при возможности, проветривание очистных забоев следует планировать таким образом, чтобы вентиляционная струя по ним двигалась сверху вниз (в случае самонагрева угля тепловая депрессия будет направлена встречно к основному потоку воздуха, создаваемому вентилятором главного проветривания);
- изолировать обрабатываемый целик специальными полосами со стороны откаточного или вентиляционного штрека;
- своевременно погашать выработанное пространство за очистной выработкой;
- при проектировании предпочтение следует отдавать возвратноточной схеме проветривания выемочного участка.

Список литературы / References

1. Проскуряков, Н.М. Управление состоянием массива горных пород / Н.М. Проскуряков. – М.: Недра, 1991. – 268 с.
Proskuryakov, N.M. *Upravleniye sostoyaniyem massiva gornyykh porod* [Control of the state of rock mass]. Moscow, Nedra Publ., 1991, 268 p.
2. Пучков, Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л.А. Пучков. – М.: Изд-во МГГУ, 1993. – 267 с.
Puchkov, L.A. *Aerodinamika podzemnykh vyrabotannykh prostranstv* [Aerodynamics of underground wastes]. Moscow, MGGU Publ., 1993, 267 p.
3. Производственные процессы в очистных забоях угольных шахт / И.Ф. Ярембаш, В.Д. Мороз, И.Г. Ворхлик, И.С. Костюк. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 288 с.
Yarembash, I.F., Moroz, V.D., Vorkhlik, I.G., Kostyuk, I.S. *Proizvodstvennyye protsessy v ochistnykh zaboyakh ugol'nykh shakht* [Production processes in mining faces of coal mines]. Donetsk, DonNTU Publ., 2007, 288 p.
4. Пашковский, П.С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П.С. Пашковский, В.И. Лебедев. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с.
Pashkovskiy, P.S., Lebedev, V.I. *Provetrivaniye shakht pri podzemnykh pozharakh* [Ventilation of mines by underground fires]. Donetsk, Privat business “Arpi” Publ., 2012, 448 p.
5. Смоланов, С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия / С.Н. Смоланов. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 272 с.

Smolanov, S.N. *Likvidatsiya slozhnykh podzemnykh avariya metodami ventilyatsionnogo vozdeystviya* [Elimination of complicated underground accidents by ventilation influence methods]. Dnepropetrovsk, Nauka i obrazovaniye Publ., 2002, 272 p.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.С. Гребёнкиным.
Дата поступления рукописи 03.10.2016

Yevgeniy Aleksandrovich Golovchenko, advanced engineer; e-mail: *ennio_80@mail.ru*
The “Respirator” State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection
of the MChS DNR
283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-40-37

AIR PERMEABILITY OF COAL PILLARS IN ABUTMENT ZONES

Purpose. Investigation of ventilation processes taking place in the coal pillar to determine their influence on the spontaneous combustion of coal.

Methods. Analysis of ventilation processes taking place in cracks of the coal pillars formed and their influence on the spontaneous heating (spontaneous combustion) of coal on the basis of the equivalent outline.

Results. The ventilation processes occurring in the coal pillars being disrupted by formation of air losses in them are considered, and the measures directed at reduction of possibility of the spontaneous combustion of the coal pillars by their disruption in the abutment zones are proposed.

Scientific novelty. The equivalent ventilation scheme of a mine district with suck of air through the pillar was received.

Practical value. The measures directed at reduction of possibility of the spontaneous combustion of the coal pillars are proposed in terms of that fact that the ventilation conditions by recovery of the coal pillars left earlier play the very important part in the prevention of origin of fires.

Keywords: *abutment pressure; ventilation conditions; spontaneous combustion of coal; coal pillars; gentle and inclined seams.*

УДК 614.894.7

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

Руслан Сергеевич Плетенецкий, нач. отд.; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Валерий Владимирович Говжеев, науч. сотр.; e-mail: oszd_niigd_2@mail.ru;

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

*Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР
283048, Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-39-73*

ИЗОЛИРУЮЩИЙ САМОСПАСАТЕЛЬ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Цель. Разработка изолирующего самоспасателя СГЭ с химически связанным кислородом для эвакуации людей из мест массового их пребывания при пожаре.

Методика. Стендовые испытания и испытания с участием испытателей-добровольцев опытных образцов самоспасателя СГЭ: проверка герметичности футляров самоспасателей и их воздухопроводных систем, определение условий дыхания в самоспасателе на стенде «искусственные легкие» и на испытателях-добровольцах при движении на беговой дорожке и в высотном здании в условиях, приближенных к реальным, испытания на стенде-имитаторе транспортных нагрузок, климатические и тепловые испытания самоспасателей.

Результаты. Обеспечено заданное время защитного действия самоспасателя (не менее 15 мин) с комфортными физиолого-гигиеническими показателями условий дыхания в среде, не пригодной для дыхания.

Научная новизна. Получены зависимости протекания регенеративных реакций от конструктивных особенностей аппарата, позволившие создать самоспасатель, соответствующий требованиям стандарта ГОСТ Р 52360-2009.

Практическая значимость. Значительное снижение количества пострадавших от опасных факторов пожара при применении разработанного изолирующего самоспасателя СГЭ для эвакуации.

Ключевые слова: *самоспасатель; изолирующий дыхательный аппарат; химически связанный кислород; не пригодная для дыхания среда; опытный образец; стендовые испытания; испытатели-добровольцы.*

Постановка проблемы. Анализ причин гибели людей вследствие пожаров показывает, что наиболее часто летальный исход у пострадавших наступает от отравления продуктами сгорания [1]. Системы коллективной защиты, способные предотвратить подобные трагические последствия отсутствуют (часто уже на стадии проектирования) [2] или находятся в состоянии полной непригодности [3, 4]. Особенно негативные последствия в подобной ситуации могут возникнуть при пожаре в высотном здании.

В подобной ситуации наиболее эффективным способом сохранения жизни и здоровья людей являются наличие и применение изолирующих индивидуальных средств защиты органов дыхания человека [5, 6].

Существующие в настоящее время аппараты не предназначены для применения неподготовленным человеком (например, использование загубника в качестве лицевой части требует определенных навыков) или фактически не соответствуют требованиям нормативных документов.

Испытания в НИИГД «Респиратор» российского самоспасателя СПИ-20 показали, что фактическое время его защитного действия 12 мин, вместо задекларированных 20 мин. Фактическое время защитного действия определяли по превышению нормированных показателей объемной доли CO_2 во вдыхаемом воздухе.

Анализ последних исследований. Оснащение зданий с массовым пребыванием людей средствами защиты органов дыхания регламентируется соответствующими нормативно-правовыми актами [7]. В Техническом регламенте РФ к средствам индивидуальной защиты предписывается требование обязательного обеспечения безопасности эвакуации людей, но тип самоспасателя (изолирующий, фильтрующий) не конкретизируется.

В Своде правил устанавливаются нормы, правила размещения и применения в сооружениях с массовым пребыванием и проживанием людей конкретных типов самоспасателей исходя из их назначения, защитных свойств, этажности и предназначения зданий. В данном документе в зависимости от этажности зданий допускается использование любого типа самоспасателей или предписывается наличие только изолирующих аппаратов.

В Правилах пожарной безопасности Украины регламентируется обеспечение средствами защиты обслуживающего персонала для организации эвакуации в случае возникновения пожара, при этом указывается, что данные аппараты являются фильтрующими, что не дает возможности обеспечить безопасность пользователя самоспасателя.

Требования строительных норм обязывают оснащать гостиницы категории «3 звезды» с условной высотой свыше 26,5 м, а также гостиницы категорий «4 звезды» и «5 звезд», независимо от высоты, средствами индивидуальной защиты органов дыхания по количеству мест в номерах и численности обслуживающего персонала.

Также в требованиях к высотным общественным зданиям предписывается их оснащение средствами защиты органов дыхания в следующих случаях:

- на рабочих местах в помещениях, размещенных на высоте свыше 26,5 м;
- в помещениях с массовым пребыванием людей;
- в отельных номерах;
- в объектовых пунктах пожаротушения;
- в пожароопасных зонах.

Обоснованность выбора типа и функциональных характеристик, а также количество средств защиты необходимо подтверждать расчетом.

Таким образом, хотя существующая нормативно-правовая база и предусматривает оснащение зданий и мест с массовым пребыванием людей средствами индивидуальной защиты органов дыхания, но эти требования не конкретизируют тип самоспасателя или предписывают использовать фильтрующий аппарат, который не может обеспечить гарантированную безопасность пользователя.

Цель настоящей работы – создание изолирующего самоспасателя с химически связанным кислородом.

Материалы и результаты исследований. Для решения проблемы самостоятельной эвакуации людей в местах массового их пребывания при пожаре и других чрезвычайных ситуациях НИИГД «Респиратор» разработан изолирующий самоспасатель СГЭ с химически связанным кислородом и временем защитного действия не менее 15 мин (согласно ГОСТ Р 53260-2009 такой аппарат именуется самоспасателем общего назначения). Он рассчитан на применение при температуре окружающей среды от минус 10 до плюс 60 °С, относительной влажности до 100 %. Масса рабочей части самоспасателя (в положении для применения) – не более 2,0 кг. Портативность самоспасателя аварийного назначения является одним из условий возможности его массового практического использования. Физиологические требования к таким самоспасателям учитывают кратковременность и эпизодичность их использования и то, что данные аппараты не рассчитаны на выполнение физической работы, поэтому требования к условиям дыхания в них несколько снижены.

Самоспасатель СГЭ представляет собой дыхательный аппарат разового действия с химически связанным кислородом, готовый к немедленному применению. Он состоит из регенеративного патрона, заполненного кислородсодержащим продуктом, пускового устройства с запасом химически связанного кислорода объемом до 7 дм³, воздухопроводной системы, включающей в себя дыхательный мешок полезным объемом не менее 6 дм³, гофрированную трубку, лицевую часть в виде полумаски ПР-7 и капюшона с иллюминатором, предохраняющих органы дыхания и лицо пользователя от токсичных продуктов горения и теплового воздействия пожара (рис. 1, 2).



Рис. 1. Самоспасатель СГЭ в состоянии готовности к применению



Рис. 2. Испытания самоспасателя СГЭ с участием испытателя-добровольца на беговой дорожке

Аппарат СГЭ используют в условиях высокой загазованности, недостатка кислорода (менее 17 %) и даже полном его отсутствии. Самоспасатель обладает кратковременной огнестойкостью к тепловому воздействию (до 200 °С) и воздействию открытого пламени с температурой (850±50) °С.

Самоспасатель СГЭ хранится в помещении в постоянной готовности к применению и не требует сложного технического обслуживания в течение всего срока службы (до 5 лет). СГЭ предназначен для применения в зданиях, время эвакуации из которых не превышает 15 мин, что соответствует требованиям к самоспасателям общего назначения. Этим самоспасателем могут пользоваться взрослые и дети. Надежность изоляции органов дыхания не зависит от размеров головы, наличия бороды и усов.

При протекании регенеративного процесса в изолирующем самоспасателе СГЭ, снаряженном кислородсодержащим веществом на основе надпероксида калия KO_2 , происходят химические реакции, связанные с поглощением из выдыхаемого человеком воздуха водяных паров и диоксида углерода и образованием кислорода, и физические процессы, связанные с массо- и теплообменом, плавлением и спеканием продуктов реакции. В самоспасателе СГЭ этот процесс максимально оптимизирован конструктивно благодаря применению разветвленных перфорированных теплогазораспределителей (ТГР) из металла с достаточной теплопроводностью и кондиционированию выдыхаемого воздуха, а также варьированию толщины слоя продукта.

В результате исследований были получены зависимости протекания регенеративных реакций от конструктивных особенностей аппарата, позволяющие на 14...17 минуте испытаний, при использовании кислородсодержащего продукта хорошего качества, соответствующего требованиям технических условий на его изготовление, добиться плавления продуктов реакции с эффективным дополнительным поглощением диоксида углерода и выделением кислорода и предотвратить спекание, которое происходило незначительно и только в центральных секциях ТГР. Увеличенная в соответствии с полученными закономерностями площадь сегментов ТГР способствует выносу определенной части теплоты из регенеративного патрона и увеличению времени защитного действия (рис. 3).

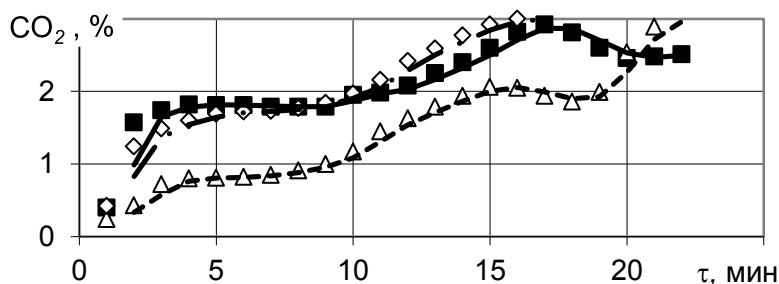


Рис. 3. Объемная доля диоксида углерода в регенеративных патронах с различной конфигурацией ТГР в зависимости от длительности работы (эксперимента) τ :

◇ – конструкция патрона № 1; ■ – конструкция патрона № 2; Δ – конструкция патрона № 3

Так, конструкции № 2 и 3, имеющие на 15 % большую площадь сегментов, позволили увеличить фактическое время защитного действия на 5 мин.

Опытные образцы самоспасателей СГЭ успешно прошли предварительные и приемочные испытания, которые являются обязательными перед постановкой серийного производства продукции (табл. 1).

Таблица 1

Техническая характеристика самоспасателя СГЭ

Параметр	Значение параметра
Время защитного действия, мин, не менее:	
• номинальное при легочной вентиляции 35 дм ³ /мин и температуре окружающей среды (25±2) °С	15
• при легочной вентиляции 35 дм ³ /мин и температуре окружающей среды минус (10±2) °С	12
• при легочной вентиляции 35 дм ³ /мин и температуре окружающей среды (60±2) °С	12
• при легочной вентиляции 70 дм ³ /мин и температуре окружающей среды (25±2) °С	4,5
Сопротивление дыханию при легочной вентиляции 35 дм ³ /мин, кПа, не более	0,8
Сопротивление дыханию при легочной вентиляции 70 дм ³ /мин, кПа, не более	1,8
Температура вдыхаемого из самоспасателя воздуха при температуре окружающей среды (25±2) °С, °С, не более	50
Объемная доля кислорода во вдыхаемом воздухе, %, не менее	21
Объемная доля диоксида углерода во вдыхаемом воздухе, %, не более	3
Масса самоспасателя в состоянии готовности к работе, кг, не более	2
Габариты самоспасателя в футляре, мм, не более:	
высота	201
ширина	113
длина	215
Назначенный срок службы самоспасателя в ожидании применения, годы	5

Дополнительно были проведены натурные испытания самоспасателей СГЭ в высотном (24 этажа) здании с участием испытателей-добровольцев. Эти испытания проходили в более жестких условиях в отличие от предусмотренных нормативной документацией и заключались в быстрых подъеме на 24-й этаж и

спуске по маршевой лестнице, причем ни один из испытателей не был знаком с дыхательной аппаратурой с химически связанным кислородом.

Фактическое время защитного действия аппаратов СГЭ – от 8 до 12 мин при такой сложной и тяжелой физической нагрузке, как быстрая ходьба или бег по маршевой лестнице. Скорость движения испытателей была ориентировочно 21...31 м/мин, что, учитывая угол наклона лестничного марша 45...50°, являлось передвижением вверх или вниз бегом; это недопустимо при включении в дыхательный аппарат и приводит к срыву дыхания у человека и преждевременному выключению из самоспасателя. Нормируемое время защитного действия самоспасателя общего назначения при испытании в тяжелом режиме – не менее 4,5 мин.

Выводы. Натурные испытания подтвердили работоспособность новой модели изолирующего самоспасателя СГЭ, рассчитанного для самостоятельной эвакуации гражданского населения при пожаре в местах их массового пребывания. Разработана конструкторская документация, необходимая для начала серийного изготовления продукции.

Список литературы / References

1. Современные средства изолирующей защиты органов дыхания гражданского населения при пожарах и других чрезвычайных ситуациях / С.В. Гудков, Н.В. Крилова, С.Б. Путин, А.Ю. Хромов // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 2. – С. 58 – 62.

Gudkov, S.V., Krilova, N.V., Putin, S.B., Khromov, A.Yu. *Sovremennyye sredstva izoliruyushchey zashchity organov dykhaniya pri pozharakh i drugikh chrezvychaynykh situatsiyakh* [Modern means of isolating protection of breathing organs of the civil population by fires and other emergencies]. *Pozharovzryvobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 58 – 62.

2. Салига, В. Найтиповіші помилки на стадії проектування / В. Салига // Пожежна безпека. – 2006. – № 5 (80). – С. 31.

Salyga, V. *Naitypovishi pomylky na stadii proektuvannia* [The most typical errors at the design stage]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2006, no. 5 (80), p. 31.

3. Сірий, Р. Хмарочоси «волають» про допомогу / Р. Сірий // Пожежна безпека. – 2006. – № 5 (80). – С. 19.

Siryi, R. *Khmarochosy "volaiut" pro dopomogu* [The skyscrapers “are calling” for help]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2006, no. 5 (80), p. 19.

4. Куньовський, О. Будинок підвищеної поверховості / О. Куньовський // Пожежна безпека. – 2006. – № 1 (76). – С. 22 – 23.

Kuniovs'kyi, O. *Budynok pidvyshchenoi poverkhovosti* [High-rise building]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2006, no. 1 (76), pp. 22 – 23.

5. Бушманов, С.А. Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 1. Современные самоспасатели для защиты органов дыхания и зрения / С.А. Бушманов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 41 – 46.

Bushmanov, S.A. *Obespecheniye bezopasnosti lyudey pri pozharakh v zdaniyakh posredstvom primeneniya samospasateley. Chast' 1. Sovremennyye samospasateli dlya zashchity organov dykhaniya i zreniya* [Guaranteeing the safety of the people by fires in buildings by the use of self-rescuers. Part 1. Modern self-rescuers for protection of breathing and visual organs]. *Pozharovzrybobezopasnost' – Fire and explosion safety*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 41 – 46.

6. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С.В. Гудков, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, В.П. Тавров. – М.: Машиностроение, 2008. – 86 с.

Gudkov, S.V., Dvoretzkiy, S.I., Putin, S.B., Tavrov, V.P. *Izoliruyushchiye dykhatel'nyye apparaty i osnovy ikh proyektirovaniya* [Self-contained breathing apparatus and grounds of their designing]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2008, 86 p.

7. Євсеєнко, О. Про нові нормативні документи з питань пожежної безпеки / О. Євсеєнко // Пожежна безпека. – 2009. – № 3 (114). – С. 12 – 14.

Yevseienko, O. *Pro novi normatyvni dokumenty z pytan' pozhezhnoi bespeky* [About new normative documents on fire safety questions]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 2009, no. 3 (114), pp. 12 – 14.

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.Ф. Долженковым.
Дата поступления рукописи 31.08.2016

Lyubov' Alekseyevna Zborshchik, senior scientific associate; e-mail: oszd_niigd_1@mail.ru;

Ruslan Sergeevich Pletenetskiy, head of department; e-mail: zoloto-russland@yandex.ru;

Valeriy Vladimirovich Govzheyev, scientific associate; e-mail: oszd_niigd_2@mail.ru;

Victor 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 DNR

283048, Donetsk, 157, ulitsa Artyema. Phone (+38 062) 311-39-73

SELF-CONTAINED SELF-RESCUER FOR EVACUATION OF THE PEOPLE BY A FIRE

Purpose. Working-out the СГЭ self-contained self-rescuer, chemical oxygen type, for evacuation of the people from the places of their mass stay by the fire.

Methods. Benchmark tests and examiner-volunteer-aided tests of prototypes of the СГЭ self-rescuer: air-tightness control of cases of the self-rescuers and their air-duct systems, determination of breathing conditions in the self-rescuer at the “artificial lung” stand and at the examiners-volunteers by the motion on the running track and in the high-rise building under conditions that are approximate to the real conditions, tests at the simulator stand of transport loads, climatic and thermal tests of the self-rescuers.

Results. The preset duration (not less than 15 min) with the comfortable physiologic and hygienic factors of the breathing conditions in the irrespirable environment is guaranteed.

Scientific novelty. The dependences of behavior of regenerative reactions on constructive peculiarities of the apparatus have been received. They allowed creating the self-rescuer that meets the requirements of the standard ГОСТ Р 52360-2009.

Practical value. Considerable decrease of a number of persons suffered from dangerous factors of the fire by the use of the СГЭ self-contained self-rescuer worked out for evacuation.

Keywords: *self-rescuer; self-contained breathing apparatus; chemically bound oxygen; irrespirable environment; prototype; benchmark tests; examiners-volunteers.*

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Для рассмотрения принимаем только научные статьи, которые имеют такие необходимые элементы: постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами; анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение не решенных раньше частей общей проблемы, которым посвящена данная статья; формулирование целей статьи (постановка задачи); изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы из данного исследования и перспективы дальнейших работ в этом направлении.

Текст рукописи статьи (7–8 страниц, включая таблицы, рисунки) разместить на белой бумаге формата А4 (210×297 мм) с полями: верхнее и нижнее 20 мм, левое 25 мм и правое 15 мм. Страницы не нумеровать (нумерацию выполнить карандашом), на последней странице – подписи авторов. Рукопись статьи оформить с применением редактора Win Word (не ниже версии 7.0), шрифтом Times New Roman, кегль 14, распечатать в одном экземпляре с высоким качеством печати (через полтора интервала) без переносов.

Порядок оформления: слева, не отступая от верхнего поля, печатать УДК; имена, отчества и фамилии авторов (не более четырех), сведения об ученой степени, должности, адрес электронной почты; наименование организации, почтовый адрес её, номер телефона; название статьи печатать прописными буквами (жирным шрифтом) без переносов, аннотация и ключевые слова (5–15). Сведения, содержащиеся в заглавии, не следует повторять в тексте аннотации. Избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся.

Каждый графический объект (рисунок, график, схема, фотография) следует представлять с разрешением не менее 300 dpi в формате *.gif, *.jpg. Все позиции, обозначения и надписи, показанные на рисунке, должны быть набраны печатными буквами, позиции – расположены по часовой стрелке и объяснены. Под каждым рисунком указывается его номер и название. Рекомендуются, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла 20...25 % общего объема статьи.

Формулы и математические знаки должны быть понятны, показатели степени и индексы – меньше основных знаков. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом межстрочный интервал увеличивается на 6 пунктов. Латинские буквы выполняются курсивом, а русские, греческие буквы и функции – прямо. Все физические величины приводятся в системе СИ.

Таблицы должны иметь название, порядковый номер и располагаться после первого упоминания в тексте. Желательный объем таблицы – не больше одной страницы.

Список литературы (не больше 10 источников, изданных не раньше чем за 20 лет) должен быть приведен в конце статьи в соответствии с принятым стандартом. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

Необходимо представить электронную копию статьи. Статья на бумажном носителе – с визой начальника отдела.

Заявление о соблюдении редакционной этики

Редакционная коллегия журнала определяет для себя следующие правила профессиональной этики.

Для авторов

1. Соблюдать нормы авторского права.
2. Фальсификацию данных, плагиат рассматривать как нарушение кодекса чести.
3. Не представлять в редакцию ранее опубликованные работы.
4. Обеспечивать возможность проверки полученных результатов другими исследователями путем понятного изложения аргументации поставленного вопроса, а также методов (способов, подходов).

Для редакторов

1. Ориентироваться на интересы читателей и авторов.
2. Обеспечивать высокое качество редактирования, оформления и представления публикуемых материалов.
3. Содействовать свободному выражению мнений на страницах журнала.
4. Следовать принципам открытости, научной честности и независимости по отношению к авторам, рецензентам и читательской аудитории.

Для рецензентов

1. Выполнять принятые на себя обязательства по рецензированию рукописей добросовестно, в установленные сроки и только в пределах профессиональной компетенции.
2. При написании рецензии следовать принципам объективности, конструктивности, непредубежденности и корректности.
3. Соблюдать конфиденциальность рецензии и не допускать возможности использования информации, полученной в ходе рецензирования, в каких-либо целях (за исключением целей, связанных с публикацией).
4. Избегать любых возможных конфликтов интересов.

Научный вестник НИИГД «Респиратор»

Научно-технический журнал
2017, № 1 (54)

На русском и английском языках

Редактор Э.Я. Бранопольская

Переводчик О.А. Шестакова

Верстальщик Т.Н. Филатова

Основатель и издатель

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

Поступившие на издание статьи проходят рецензирование

Подписано в печать 27.01.2017. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура таймс.
Печать лазерная. Усл. печ. л. 7. Тираж 100 экз. Заказ № 19

НИИГД «Респиратор», ул. Артема, 157, Донецк, 283048
Телефоны: (+38 062) 311-69-52; 311-31-47
E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru
URL: <http://respirator.dnmchs.ru>