

*Средство массовой информации сетевое издание
«Пожарная и аварийная безопасность» зарегистрировано Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) (свидетельство о регистрации средства массовой информации
Эл № ФС77-61575 от 30 апреля 2015 г.)*

*Все статьи, опубликованные в журнале, размещаются в базе данных
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU*

Состав редакции:

- И. А. Малый** (*главный редактор, ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; кандидат технических наук, доцент*),
- О. В. Потемкина** (*заместитель главного редактора, ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; кандидат химических наук, доцент*),
- Д. И. Коровин** (*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; доктор экономических наук, доцент*),
- Н. Ш. Лебедева** (*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; доктор химических наук, доцент*),
- А. Г. Бубнов** (*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; доктор химических наук, доцент*),
- С. В. Королева** (*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; доктор медицинских наук, доцент*),
- А. Л. Никифоров** (*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново; доктор технических наук, старший научный сотрудник*)

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

Левашов Н. Ф., Акулова М. В., Потемкина О. В. Применение методов тонкого анализа для оценки влияния компонентов заполнителя на структуру пенобетона5

Наумов А. Г., Зарубина Е. В., Комельков В. А. Опыт применения СОТС при резании труднообрабатываемых материалов.....15

ПОЖАРОТУШЕНИЕ

Полетаев В. А. Исследование деталей, упрочненных электродуговой металлизацией, на износостойкость28

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Батов Д. В., Мочалова Т. А., Сторонкина О. Е. Особенности описания показателей пожарной опасности углеводородов в рамках аддитивно-группового метода: температура вспышки и энтальпия испарения.....37

Егорова Н. Е. Построение математической модели гашения турбулентности в воздушных сепараторах.....46

Ефремов А. М., Беляев С. В., Титова Е. С. Кинетика и механизмы плазмохимической деструкции хлористого водорода56

ГУМАНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ

Суровегин А. В. Педагогические условия формирования познавательного интереса курсантов образовательных учреждений МЧС России.....68

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гордеева А. В., Закинчак А. И. К вопросу о создании комплексной системы мониторинга безопасности в регионе77

Сараев И. В., Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю. Эксплуатационные затраты в расчёте относительной общей пользы при выборе аварийно-спасательного оборудования86

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

УДК 666.97:691.618.92:001.8

Н. Ф. Левашов, М. В. Акулова, О. В. Потемкина

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТОНКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ ПЕНОБЕТОНА

В работе приведены результаты использования методов термогравиметрического анализа для определения фазового состава и исследования свойств цементного камня теплоизоляционного материала – пенобетона на основе жидкостекольных композиций с добавками боя стекла и шамотной глины, предназначенного для защиты строительных объектов и технологического оборудования от высоких температур, возникающих при пожарах или нештатных аварийных ситуациях. На основе применения метода термогравиметрического анализа было установлено, что состав пенобетона, основанный на использовании комплекса термостойких материалов, включающих бой стекла и жидкое стекло, превосходит по своим эксплуатационным показателям существующие аналоги, добавка шамотной глины снижает скорость разложения цементного камня при высокотемпературном воздействии, а добавка жидкого стекла повышает его огнестойкие свойства.

Ключевые слова: пенобетон, натриевое жидкое стекло, стеклобой, шамот, термогравиметрический анализ, высокотемпературный нагрев, фазовый состав.

Интенсивное развитие промышленности, внедрение новых технологий, наряду с решением важнейших проблем жизнедеятельности человека, сопровождается чрезвычайными ситуациями (пожарами, авариями) вплоть до техногенных катастроф. Все это вызывает возникновение опасных аварийных ситуаций, которые требуют более совершенных средств защиты людей, борющихся с этими опасными для жизни ситуациями. Поэтому в настоящее время актуальной является проблема разработки новых конструкционных материалов и изделий теплозащитного и огнестойкого назначения, которые могли бы использоваться в качестве огнезащитных преград, а также разработка и усовершенствование методов анализа их поведения в условиях высокотемпературных воздействий.

Повышение термостойкости бетона и растворов приобретает особую остроту и актуальность в современных условиях. Достичь решения данной проблемы можно введением натриевого жидкого стекла как одного из составляющих композиционного вяжущего [1]. Однако механизм взаимодействия и влияния силиката натрия на свойства и структуру цементных композитов до конца не изучен, поэтому применение методов термогравиметрического и дифференциально-термогравиметрического анализа с целью исследования поведения жидкостекольных композиций при высоких температурах является актуальным.

Целью данной работы является исследование влияния добавки жидкого стекла на структуру пенобетонного камня различного состава повышенной теплостойкости. Приведены методики и результаты исследования фазового состава пенобетона с добавками жидкого стекла, фазового состава пенобетона с добавками жидкого стекла, боя стекла и шамота с помощью термогравиметрического анализа, а также проведен сравнительный анализ исследования по определению влияния добавок на структуру пенобетонов различных составов.

В данной работе использовались следующие материалы:

1) цемент марки М500-ДО производства ОАО «Мордовцемент», соответствующий ГОСТ 31108-2003: «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515-97 «Цементы. Общие технические условия для приготовления бетона»;

2) песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736- 93 «Песок для строительных работ. Технические условия», использовался в качестве мелкого заполнителя. Свойства песка определены согласно ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытания»;

3) дистиллированная вода городской водопроводной сети, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 6709-72* «Вода дистиллированная. Технические условия» для затворения бетонной смеси;

4) пенообразователь ПБ-2000 производства ОАО «Ивхимпром» (соответствующий требованиям ТУ 2481-185-05744685-01);

5) натриевое жидкое стекло, производимое на предприятиях химической промышленности, плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$ и с силикатным модулем – 2,8–3,0;

б) бой листового стекла, крупностью не более 0,63 мм;

7) шамот марки НВО, соответствующий следующим характеристикам: а) плотность – 1950 кг/м^3 ; б) открытая пористость – 27–31 %; в) температура применения $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, коэфф. теплового расширения $5,0\text{--}5,3 \times 10^{-6}$, прочность на сжатие (в хол. сост.) $> 15 \text{ Мпа}$.

С целью проведения анализа влияния состава и вида заполнителя на теплофизические свойства при высокотемпературном нагреве были изготовлены составы сырьевых композиций для получения цементного камня и различных видов пенобетона [5]:

- 1 – цемент: вода;
- 2 – цемент: песок: вода: пенообразователь;
- 3 – цемент: песок: вода: пенообразователь: жидкое стекло;
- 4 – цемент: песок: вода: пенообразователь: бой стекла;
- 5 – цемент: песок: вода: пенообразователь: жидкое стекло: бой стекла;
- 6 – цемент: песок: вода: жидкое стекло: шамот;
- 7 – цемент: песок: вода: пенообразователь: жидкое стекло: шамот.

Термогравиметрический (ТГ) анализ образцов [2–5] проводился на термоанализаторе SETARAM TGA 92-24. Исследование проводилось на пробах, измельченных до крупности частиц 0,8 мм. При расшифровке термограмм использовались работы В. С. Рамачадрана, М. С. Гаркави, М. М. Сычева и др. [6]. Температура максимального развития реакции определялась по кривой ТГ в точке перелома кривой. По величине площадей и пиков выявлялась степень интенсивности физико-химических процессов. Гидратационная активность цемента оценивалась по количеству химически связанной воды. При расчете степени гидратации алита (C_3S) за основу принималась интенсивность эндотермического пика, соответствующая разложению $Ca(OH)_2$.

Нагрев образцов исследуемых материалов осуществлялся в интервале температур от комнатной до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость нагрева составляла $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Результаты опытов представлены на термограммах (рис. 1).

Анализ полученных термограмм исследуемых образцов позволил выявить следующие закономерности: кривые ТГ характеризуются тремя эндотермическими пиками, третий из которых имеет сложную форму за счет частичного перекрывания эффектов, а также одним незначительным экзоэффектом. Рассмотрим каждый пик термограмм.

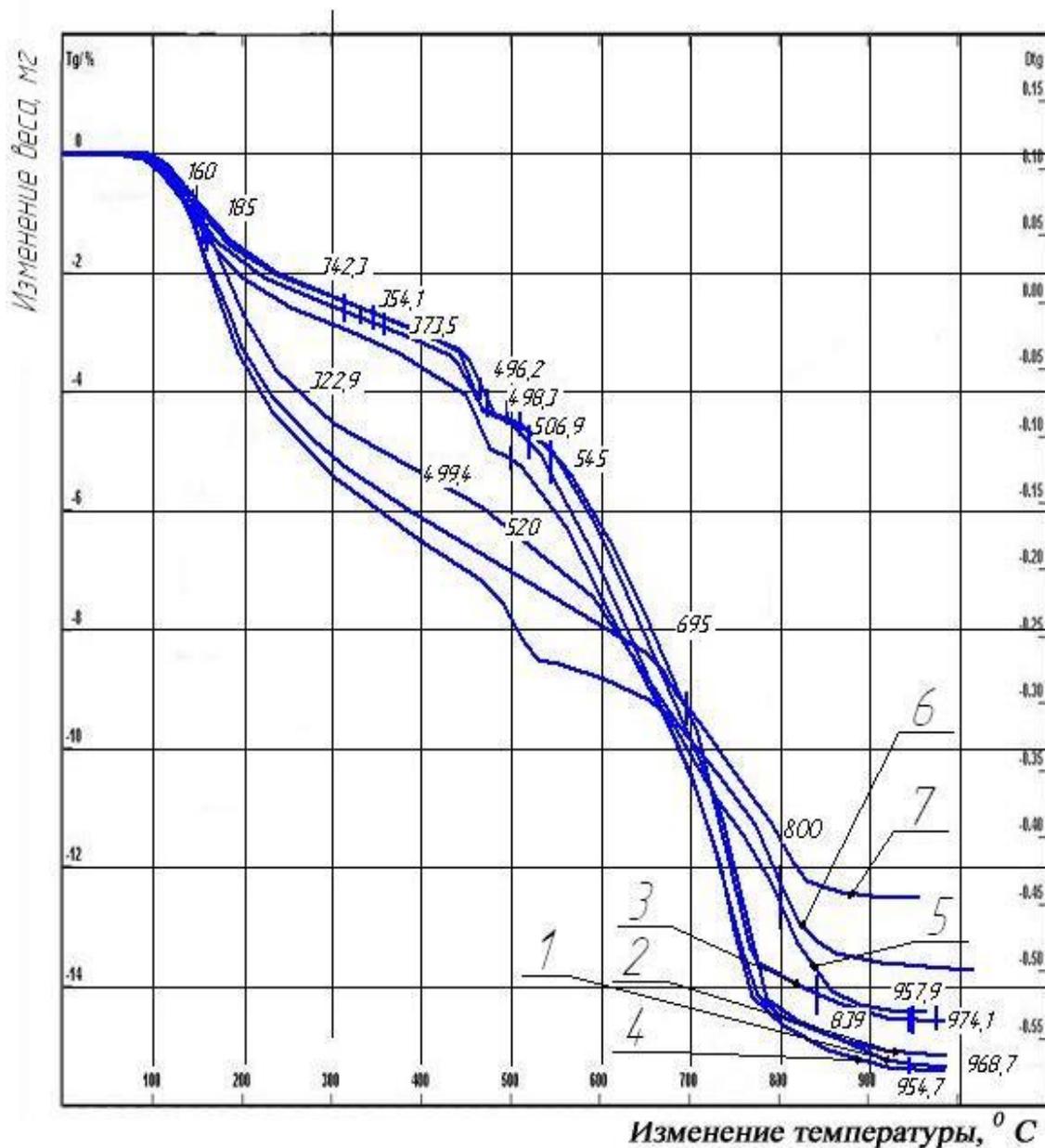


Рис. 1. Термогравиметрический (термовесовой) анализ

1 – цемент: песок: вода: пенообразователь;

2 – цемент: песок: вода: пенообразователь: жидкое стекло;

3 – цемент: песок: вода: пенообразователь: бой стекла;

4 – цемент: песок: вода: пенообразователь: жидкое стекло: бой стекла: вода;

5 – вода: цемент;

6 – цемент: песок: вода: жидкое стекло: шамот;

7 – цемент: песок: вода: жидкое стекло: шамот: пенообразователь

На термограммах всех кривых первый эндоэффект наблюдается при температуре $\sim 70\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Широкая эндотермическая впадина связана с испарением свободной и физически связанной воды [7]. Чем больше потеря массы при испарении физически связанной воды, тем крупнее поры в цементном камне, тем ниже его прочность и термостойкость. Следовательно, с этих позиций лучший образец тот, который потерял меньше всех физически связанной влаги, то есть, образец пенобетона с добавлением боя стекла и образец с совместным добавлением жидкого стекла и боя стекла. Второй эндотермический эффект, отмеченный при температуре $\sim 454\text{--}540\text{ }^{\circ}\text{C}$, характерен для процесса дегидратации гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, возникшего при гидратации фазы C_3S и удаления химически связанной воды. Чем больше потеря массы при дегидратации фазы $\text{CSH}(\text{I})$ и $\text{CSH}(\text{II})$, тем больше в цементном камне этой фазы образовалось. Известно, что $\text{CSH}(\text{I})$ придает цементному камню прочность (при сжатии), а $\text{CSH}(\text{II})$, имея развитую волокнистую структуру, обеспечивает лучший контакт между твердыми частицами непрореагировавшего клинкера и новообразованиями (что повышает прочность при изгибе). Следовательно, чем больше потеря массы при дегидратации фазы CSH , тем лучше [6]. Согласно табл. 1, лучший образец пенобетона с этих позиций – пенобетон с добавлением жидкого стекла и боя стекла, контрольный образец, а также пенобетон с добавкой жидкого стекла и шамота. Третий пик имеет сложную форму за счет частичного перекрытия эффектов и приходится на интервал \sim от 560 до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот период связан с дегидратацией высокоосновных гидросиликатов кальция и с возможным разложением хорошо закристаллизованного карбоната кальция, в основном, в виде кальцита (CaCO_3), а также с проявлением других диффузных процессов. Наибольшей потерей массы при данной температуре обладает образец с добавлением жидкого стекла и образец с добавлением боя стекла. Четвертый температурный интервал приходится на диапазон температур \sim от 750 до $890\text{ }^{\circ}\text{C}$. Изменение массы в данном интервале показывает на начало разложения оксидов и удаление гидратной воды из высокоосновных силикатов кальция. Изменение массы для всех цементных композиций в данном интервале практически одинаково, что показывает на основное удаление физически и химически связанной воды при более низких температурах.

По кривым полученных термограмм устанавливались температурные границы химических и физико-химических превращений и обсчитывались данные количественного изменения содержания влаги в образцах, а также общее изменение массы и изменения энергии.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

Общее изменение массы вычислялось по формуле:

$$(m_n - m_{пр}) / m_n * 100\%, \quad (1)$$

где: m_n – начальная масса образца, г; $m_{пр}$ – масса прокаленного образца, г.

Потерю влаги определяли по формуле:

$$(m_n - m_1) / m_n * 100\%, \quad (2)$$

где: m_n – начальная масса образца, г; m_1 – масса образца при температуре 90–140 °С, г.

Количественный анализ изменения структуры пенобетонов при нагревании приведен на рис. 2.

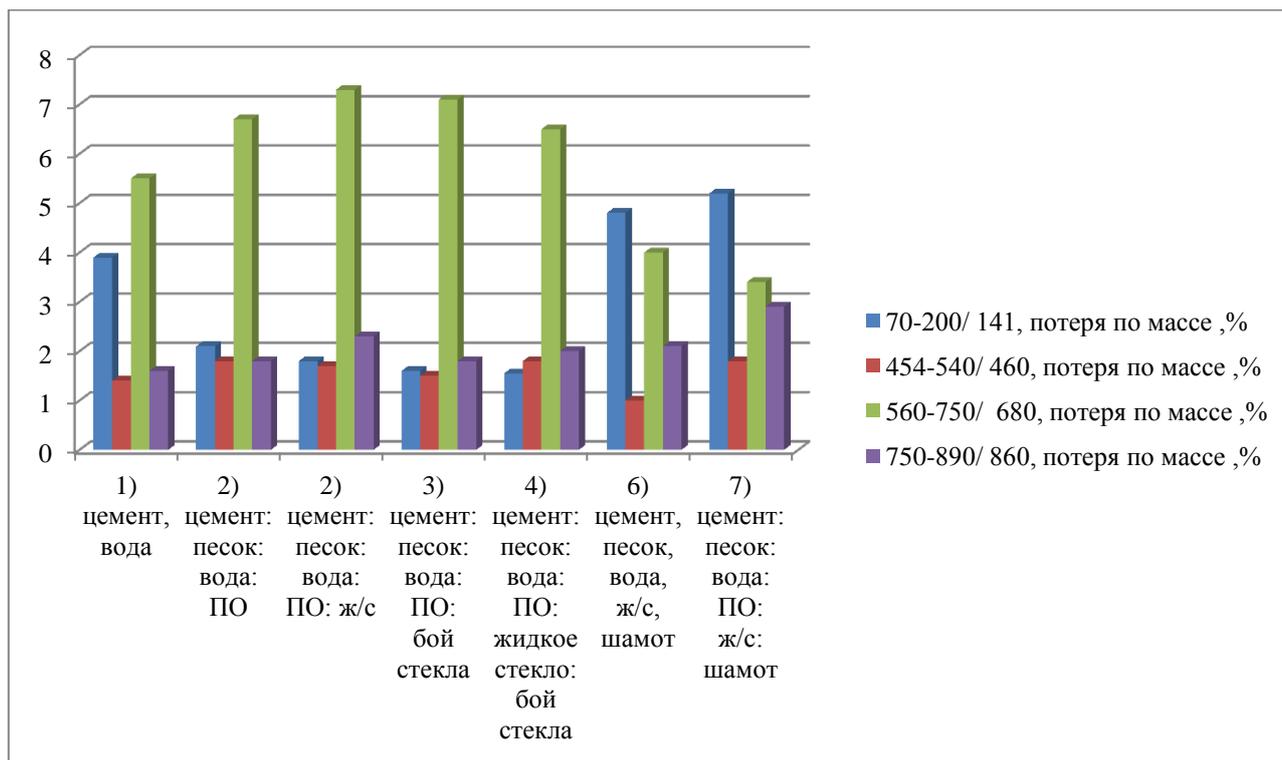


Рис. 2. Изменение массы исследуемых образцов в термоанализаторе

Представленные данные свидетельствуют о зависимости кинетических характеристик твердения цемента от добавки жидкого стекла и различных заполнителей: боя стекла, шамота, песка. Как показали исследования, наилучший эффект выявлен при совместном применении жидкого стекла и боя стекла в составе пенобетона. Изменения в кинетике, положительно сказавшиеся на фазовых превращениях, обусловлены образованием более прочных химических связей, о чем свидетельствует, например, третий температурный эффект, характеризующийся более глубокими пиками, смещенным в сторону более высоких температур. В результате анализа полученных термограмм было определено, что в порах пенобетонов различного состава находится большое количество физически связанной воды. Добавка шамота несколько снижает гигроскопичность материала вследствие его более плотной и гладкой структуры, а также снижает скорость разложения гидросиликатов кальция разной основности, в том числе и портландита. Добавка жидкого стекла увеличивает количество низкоосновных силикатов кальция за счет связывания гидроксида кальция, чем сдвигает процесс разложения цементного камня в сторону более высоких температур.

В результате проведенного термогравиметрического анализа по оценке влияния добавок жидкого стекла и боя стекла на устойчивость пенобетона к высокотемпературному нагреву было определено, что лучшую устойчивость показал пенобетон с совместным применением жидкого стекла и боя стекла. Пенобетон с добавлением шамота дольше всех сохраняет при нагреве в своей структуре воду, поэтому также увеличивает свою устойчивость при высокотемпературном воздействии.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что метод термогравиметрического анализа достаточно удобен и эффективен для применения с целью исследования свойств и характера поведения новых материалов на основе цементных составов, созданных для защиты от высоких температур, возникающих во время пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашов Н.Ф., Акулова М.В., Потемкина О.В. Применение методики расчета огнестойкости строительных конструкций для анализа влияния силикатных добавок в растворах на свойства защитного слоя арматуры // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 10. С. 30–34.
2. Физико-механические и физико-химические исследования цемента / П. Ф. Коновалов и др. М.; Л.: Стройиздат, 1960. 316 с.
3. Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н. Д. Топор и др. М.: МГУ, 1987. 190 с.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

4. *Уэнландт У.* Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 527 с.

5. *Шестак Я.* Теория термического анализа. М.: Мир, 1987. 456 с.

6. *Рамачадран В. С.* Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. М.: Стройиздат, 1977. 407 с.

7. Методы исследования цементного камня и бетона / под ред. Э. М. Ларионовой. М.: Стройиздат, 1970. 156 с.

8. *Кокурина Г. Л.* Методы исследования строительных материалов (дериватография): методические указания к выполнению лабораторных работ. Иваново: ИГАСА, 1998. 34 с.

9. Влияние жидкого стекла на термостойкость цементных композитов / М. В. Акулова и др. // Приволжский научный журнал. 2013. № 1. 2013. С. 17–21.

N. F. Levashov, M. V. Akulova, O. V. Potemkina

**USING THE THERMAL ANALYSIS METHODS TO ASSESS
THE INFLUENCE OF COMPONENTS AGGREGATE
ON THE STRUCTURE OF FOAM CONCRETE**

The results of using methods of thermogravimetric analysis to determine the phase composition and study the properties of cement paste thermal insulating material - foam concrete based liquid glass compositions with the addition of glass breakage and chamotte clay, designed to protect construction sites and production equipment from high temperatures, resulting in fires or another emergency situations. On the basis of the method of thermogravimetric analysis, it was found that the composition of the foam concrete based on the use of complex heat-resistant materials, including glass battle and water glass, is superior in its performance parameters existing analogues additive chamotte reduces the rate cement paste decomposition at high temperature exposure, and an additive liquid glass improves its fire-resistant properties.

Keywords: foam concrete, sodium silicate solute, cullet, chamotte, thermogravimetric analysis, high-temperature heating, phase composition.

REFERENCES

1. *Levashov N. F., Akulova M. V., Potemkina O. V.* Primenenie metodiki rascheta ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij dlja analiza vlijaniya silikatnyh dobavok v rastvorah na svojstva zashhitnogo sloja armatury // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2015. T.24. №. 10. S. 30–34.
2. *Fiziko-mehanicheskie i fiziko-himicheskie issledovanija cementa / P. F. Konovalov i dr. M.; L.: Strojizdat, 1960. 316 s.*
3. *Termicheskij analiz mineralov i neorganicheskikh soedinenij / N. D. Topor i dr. M.: MGU, 1987. 190 s.*
4. *Ujenlandt U.* Termicheskie metody analiza. M.: Mir, 1978. 527 s.
5. *Shestak Ja.* Teorija termicheskogo analiza. M.: Mir, 1987. 456 s.
6. *Ramachadran V. S.* Primenenie differencial'nogo termicheskogo analiza v himii cementov. M.: Strojizdat, 1977. 407 s.
7. *Metody issledovanija cementnogo kamnja i betona / pod red. Je. M. Larionovoj. M.: Strojizdat, 1970. 156 s.*
8. *Kokurina G. L.* Metody issledovanija stroitel'nyh materialov (derivatografija): metodicheskie ukazaniya k vypolneniju laboratornyh rabot. Ivanovo: IGASA, 1998. 34 s.
9. *Vlijanie zhidkogo stekla na termostojkost' cementnyh kompozitov / M. V. Akulova i dr. // Privolzhsckij nauchnyj zhurnal. 2013. № 1. 2013. S. 17–21.*

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

Левашов Никита Фёдорович

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Россия, г. Иваново

E-mail: irisacareva@rambler.ru

Levashov Nikita Fedorovich

Ivanovo State Polytechnical university,
Russian Federation, Ivanovo

Акулова Марина Владимировна

Заведующий кафедрой

Доктор технических наук

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Россия, г. Иваново

E-mail: Akylova@yandex.ru

Akulova Marina Vladimirovna

Ivanovo State Polytechnical university,
Russian Federation, Ivanovo

Потемкина Ольга Владимировна

Заместитель начальника академии

Кандидат химических наук

Доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: molodkina@mail.ru

Potemkina Ol'ga Vladimirovna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

УДК 621.9

А. Г. Наумов, Е. В. Зарубина, В. А. Комельков

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СОТС ПРИ РЕЗАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время качественная обработка поверхностей отдельных элементов систем пожаротушения играет важную роль в пожарной безопасности объектов. Частота обработки поверхности в свою очередь зависит от выбора смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых в металлообработке. Данная статья направлена на решение вопроса о повышении эффективности смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и, в частности, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) при обработке резанием жаропрочных, коррозионностойких и других труднообрабатываемых материалов. Исследования проводились на различных операциях механической обработки никелевых и титановых сплавов, молибдена, нержавеющей стали. Повышение эффективности СОТС достигалось введением веществ с прочной связью между атомами и химически активных компонентов, воздействием на СОТС коронным разрядом. Из представленных результатов следует, что применение поверхностно-активных веществ с окисляющими присадками в среднем повышает стойкость резцов от 2 до 4 раз по сравнению с точением при использовании стандартной эмульсии.

При использовании микродозированной подачи в качестве СОТС применялись магниточувствительные микрокапсулы, компоненты которых были подобраны из условия, что при их деструкции и разрушении образуются химически активные частицы и соединения, способные эффективно взаимодействовать с металлами с образованием разделительных смазочных пленок на границе контакта инструмент-обрабатываемый материал.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические средства, обработка резанием, величина износа резцов, эффективность, обработка, никель, титановые сплавы, молибден, нержавеющие стали.

Современные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) помимо высоких технологических характеристик должны обладать целым рядом других, не менее важных, свойств, к которым можно отнести экологичность, стоимость, возможность и простота утилизации, экономичность и др. Одним из основных параметров СОТС, в большинстве случаев

превосходящего по значимости технологические характеристики, является экологическая чистота и безопасность при использовании СОТС.

В этой связи применение таких хорошо зарекомендовавших себя в качестве компонентов СОТС элементов, как сера, хлор, фосфор, минеральные масла и ряд других, должно быть минимизировано или вообще исключено. Таким образом, необходима адекватная замена этих веществ другими веществами, отвечающими существующим требованиям. Такими альтернативными веществами могут выступать представители жидких кристаллов, которые обладают хорошими трибологическими характеристиками [1]. Однако невысокие температуры их термодеструкции не позволяют в полной мере их использование в качестве компонента СОТС при всех применяемых режимах обработки резанием [2].

Для решения задачи по расширению области возможного использования ЖК как компонентов СОТС прослеживаются два пути. С одной стороны, это возможно при увеличении температуры их термодеструкции, а с другой – разработка новых методов их подачи в естественном состоянии непосредственно в зону контактных взаимодействий.

Одним из таких методов подачи СОТС в зону резания может являться технология подачи СОТС в виде магнитных микрокапсул (МК), результаты исследования которой представлены в данной работе на примере использования в качестве СОТС органических и неорганических соединений с трибоактивными присадками.

Другим направлением уменьшения вредного влияния на окружающую среду является уменьшение количества вредных примесей до пределов допустимых значений, за счет минимизации количества подаваемых в зону резания СОТС. Это достигается за счет распыления или подачи СОЖ в виде микрокапсул (МК). Как известно из литературных источников [1], для достижения смазочного эффекта достаточно 0,5–10 грамм в час распыленного масла и 50–70 грамм в час распыленной эмульсии для достижения охлаждающего эффекта, при этом стойкость инструмента возрастает в 2–6 раз при обработке по сравнению с резанием в сухую. При этом расход эмульсии сокращается в 10–20 раз, а масла в сотни раз. Недостатком этого метода является образование масляного тумана, который негативно влияет на здоровье обслуживающего персонала.

Метод подачи СОТС в виде микрокапсул (МК) заключается в формировании микрокапсул из существующего ассортимента масляных СОТС методом коацервации в растворе пленкообразующего материала, в качестве одного применяется желатин. Размеры МК варьировались от 10 до 80 мкм. Благодаря оригинальной технологии, разработанной в ИвГУ, оболочку, возможно, формировать с заданными свойствами (эластичность, прочность,

термостойкость). Способность к направленному дрейфу задавалась с помощью электромагнитных полей в зоне резания путем введения в состав МК магнетита Fe_3O_4 . При этом стойкость инструмента при применении магнитных МК в 1,5 раза выше, нежели при применении не магнитных. Таким образом, использование МК для подачи СОТС в зону резания при лезвийной обработке оказывает положительное влияние, как на стойкость инструмента, так и на шероховатость обрабатываемой поверхности. При этом количестве вредных компонентов в зоне резания уменьшается более чем в 1000 раз.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике при резании металлов находят широкое применение смазки с присадками йода и его соединений. Применение йодистых смазок особенно эффективно при резании труднообрабатываемых материалов: нержавеющей сталей, молибденовых и никелевых сплавов (увеличение стойкости твердосплавных резцов до 10 раз). В соответствии с нашей теорией, в основе высокого смазочного действия йодистых смазок лежит механизм разрушения нейтральных молекул на радикалы (прочность связи между атомами йода составляет 3706 ккал/моль) и зарождение цепных реакций с образованием защитных пленок.

Особенно успешным применение йода оказалось при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. В это связи Ф.П. Боуден отмечает, что «...чистый титан имеет коэффициент трения, равный 1,2 выдержка в парах йода при комнатной температуре приводит к немедленной реакции с образованием черной пленки. Это имеет большое практическое значение и представляет собой область, в которой необходима дальнейшая работа».

Химические пленки, образованные в результате реакции паров йода с титаном, имеет низкий коэффициент трения (0,3) и сохраняют свои фрикционные свойства до температуры 400 °С.

Ранее отмечалось, что повышенная активность йода проявляется с повышением температур. При этом, как установлено настоящими исследованиями, действие йода носит избирательный характер. На рис. 1 представлены результаты термографических исследований, проведенных с целью изучения взаимодействия йода с различными металлами в процессе их нагрева.

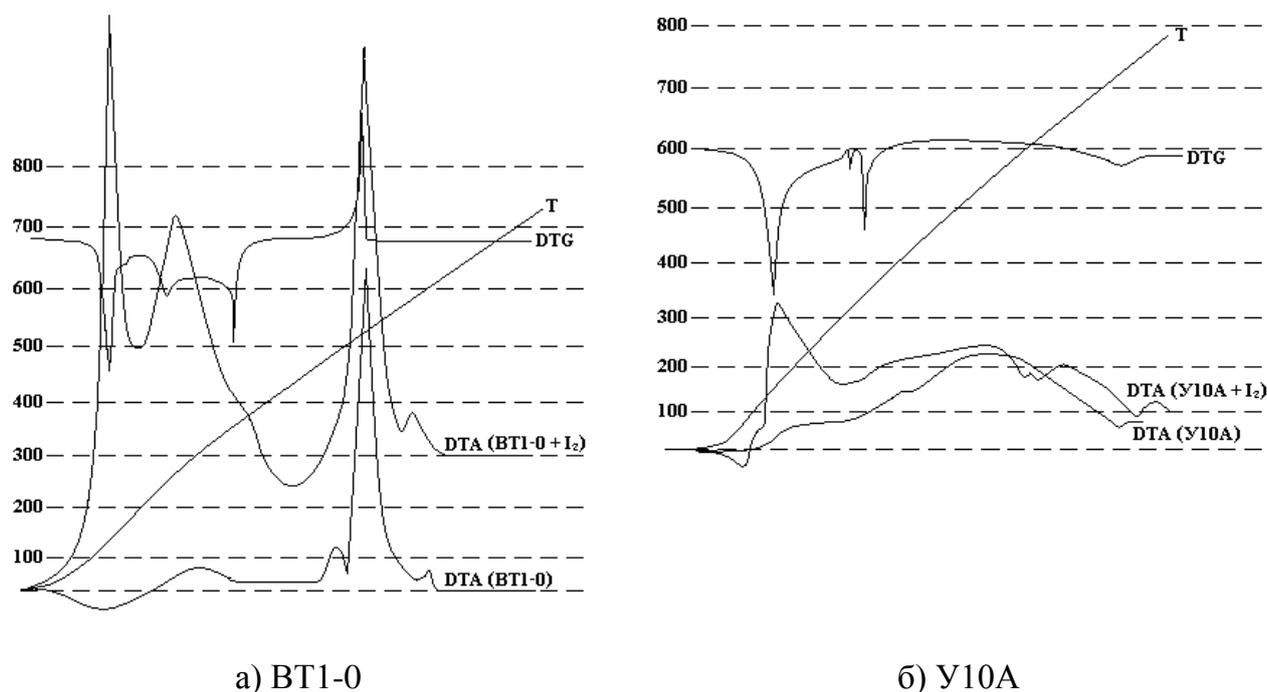


Рис. 1. Взаимодействие кристаллического йода с различными металлами при совместном нагреве

Анализ термограмм, приведенных на рис. 1, показал, что интенсивность экзотермических превращений (величина пика) у всех исследованных материалов различна. Максимальная величина пиков наблюдалась у титанового и алюминиевого сплавов, минимальная – у нержавеющей стали.

Выше было показано, что применение паров йода или йодсодержащих СОТС обеспечивает химическую реакцию радикалов йода с металлами (никель, титан, железо) при температуре 260–420 °С с образованием неустойчивых соединений. Возгоняющиеся йодистые пленки создают благоприятную для трения газовую атмосферу, обеспечивающую минимальное трение. Пленки соединений йода имеют рыхлое строение и низкую температуру плавления, что подтверждается следующими данными.

Тип пленки	Плотность г/см ³	Температура плавления в °С
Cu J ₂	5,62	605
Cu J	5,6	600
Fe J ₂	5,31	592
Al J ₃	3,98	180

Электронно-микроскопическое исследование контактных поверхностей резцов стружек и свободных поверхностей показывает, что применение паров йода или йодсодержащих СОТС, действительно, способствует образованию рыхлых, тонких смазочных пленок толщиной 80–100 ангстрем.

В ряде случаев на контактных поверхностях, образуются соединения шаровидной формы, аналогичные сульфидным включениям в стали. Влияние йодсодержащих СОТС подтверждено экспериментальными данными при точении стали 1Х18Н10Т, сплава ВТ – 5 и молибдена. Смазки йодистого класса оказались эффективными и при резании алюминия и его сплавов [2].

Применение присадок иодистого калия и ПАВ (сульфорецинат Е, эмульсол Т) обеспечивает, например, уменьшение температуры резания в 2 раза по сравнению с атмосферой и 20–30 % по сравнению с такими эффективными СОТС, как водные растворы H_2O_2 .

Влияние присадки йода к маслу показано на рис. 2.

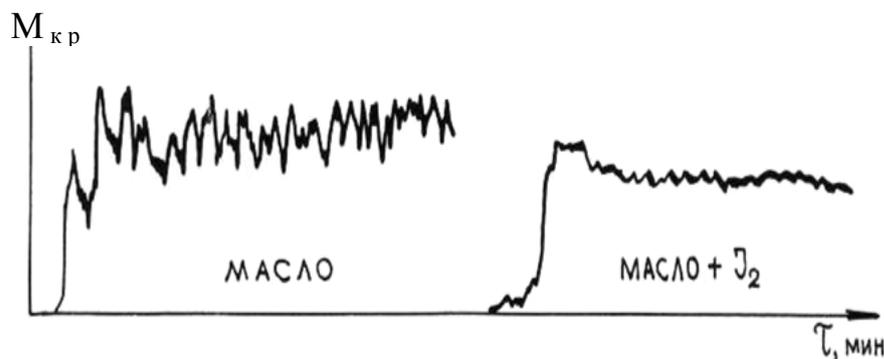


Рис. 2. Осциллограммы $M_{кр}$ при нарезании резьбы из ст. Х18Н10Т

Было произведено сопоставление энергии разрыва связей между атомами в различных галоидных соединениях, применяемых как компоненты СОТС, со стойкостью резцов Р18 при точении стали 45 и нержавеющей стали 1Х18Н10Т.

Таблица 1

№	Компонент СОТС	Тип связи	Прочность связи в ккал/моль	Стойкость резцов в мин.		Примечание
				сталь 45	сталь 1Х18Н10Т	
1.	Cl_2	Cl – Cl	57,2	43	18	$V = 50$ м/мин
2.	Br_2	Br – Br	45,4	54	25	$S = 0,2''$
3.	I_2	I – I	35,5	65	25	$t = 1,5''$

Аналогичное влияние на процесс резания оказывают натриевые и калиевые смазки, т.к. процесс разрушения их молекул на радикалы требует еще меньшей затраты энергии (11,8–17,5 ккал/моль).

Применение йодсодержащих компонентов в СОТС хорошо зарекомендовало себя при резании и трении труднообрабатываемых и химически инертных материалов. Еще в 50-х годах французские инженеры Робертс и Ф`юри [3] обнаружили аномальное повышение стойкости резцов при обработке титановых сплавов и нержавеющей стали, а также было зафиксировано, что введение микродоз присадок йода (0,01–0,001 %) в состав смазки в несколько раз уменьшает коэффициент трения (табл. 2)

Таблица 2. Значения коэффициента трения и износа образцов при введении в состав смазки микродоз йода

Материал пары трения	Коэффициент трения		Износ, мм	
	Нефтяное масло	Нефтяное масло + 0,075 % I ₂	Нефтяное масло	Нефтяное масло + 0,075 % I ₂
Сталь - сталь	0,088	0,088	-	-
Алюминий - алюминий	0,094	0,041	0,36	0,48
Золото - золото	0,070	0,010	0,60	0,60
Стекло - стекло	0,125	0,046	2,05	0,0

Дальнейшие работы [1,2] подтвердили, что наибольшая эффективность от использования йода зафиксирована при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. Небольшие присадки йода к СОТС, в количестве 0,01–0,0075%, уменьшают интерметаллический контакт и снижают трение между трибосопряженными рабочими поверхностями инструмента и обрабатываемым материалом. При этом стойкость инструментов может быть значительно увеличена.

Причины высокой эффективности йодсодержащих технологических средств точно не установлены. Предполагается, что в этом случае имеют место адсорбционная и химическая активность йода по отношению к металлам, его способность образовывать комплексные соединения, также не исключается возможность особой роли электрических и магнитных явлений [4].

Так, Робертс и Оуэнс предположили, что при взаимодействии йода с компонентами смазки в контактной зоне образуются новые соединения, оказывающие влияние на электрические явления при трибосопряжениях металлических поверхностей – комплексы с переносом заряда (КПЗ) (рис. 3).

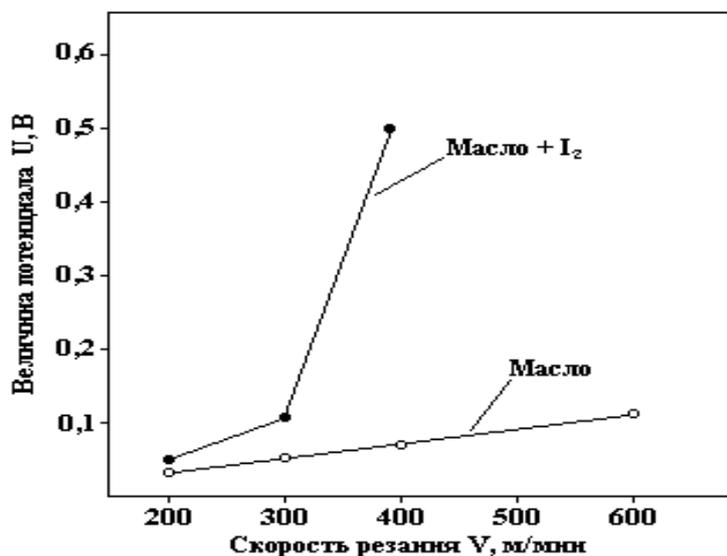
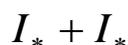


Рис. 3. Величина ЭДС при трении стали 45 с использованием в качестве смазочной среды масла

По нашему мнению в основе высокого смазочного действия йодсодержащих СОТС лежит механизм разрушения нейтральных молекул йода на радикалы в результате различного вида энергетических воздействий на последние. При этом, образование радикалов может проходить по схемам:



где e – электрон, эмитируемый свежевскрытой металлической поверхностью; I_2^* – возбужденная молекула йода; I – радикал йода; V – свободная валентность на ювенильной поверхности; VII – химический радикал.

Образованные радикалы йода участвуют в поверхностных химических реакциях, а также могут выступать в роли инициаторов зарождения цепных реакций, в результате чего в контактной зоне происходит образование вторичных структур – различных соединений йода с металлами контактирующих поверхностей.

Температура резания, так же как и силы, является важным показателем эффективности применяемой СОТС. Тепло, выделяющееся в контактной зоне, напрямую связано с работой резания. Чем интенсивнее идет образование разделительных смазочных слоев между трибосопряженными поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов, тем в меньшей степени активизируются адгезионные взаимодействия между ними, т.е. уменьшается трение, а, следовательно, снижается выделяемое количество теплоты [5].

Изучение теплового состояния контактной зоны проводилось с использованием метода полуискусственной термопары при точении титанового сплава ВТ-5. В ходе исследований было установлено, что наличие в составе используемой СОТС йода приводит к значительному снижению температур резания по сравнению с такими эффективными технологическими средами как нитрит натрия, четыреххлористый углерод и др. (рис. 4). Изучение эффективности действия паров йода на температуру резания в сравнении с широко используемыми в качестве компонентов СОТС парами хлора и фосфора, проведенное при строгании стали 45 и алюминия в вакуумной камере, так же показало превосходство йода (рис. 5)

Мельчайшие частицы йодсодержащей СОТС, размерами от десятых долей микрометра до десятков микрометров, что соизмеримо с распыленной жидкостью, покрываются оболочкой из непроницаемого для него материала, в состав которого вводится ферромагнитный компонент. Такая композиция получила название магнитной микрокапсулы.

Хотя механизм проникновения технологических сред в зону резания до настоящего времени остаётся предметом обсуждения, установленным является тот факт, что технологические жидкости и другие среды, несмотря на высокие давления, проникают на поверхности контакта и существенно влияют на процесс резания и изнашивание режущего инструмента. Поскольку температура в зоне резания почти всегда выше 100°C , жидкость попадает на поверхности контакта не в обычном своём агрегатном состоянии, а в виде паров и отдельных частиц – молекул, их радикалов или ионов.

Проникающее действие смазочного материала зависит как от физических свойств СОТС (размеры молекул, ионов, агрегатное состояние), так и от способа подвода ее в зону резания.

Физические явления, сопровождающие процессы резания металлов, в частности, электромагнитные поля, которые неизбежно возникают при трении и резании металлов, так же могут быть использованы для усиления проникающей способности СОТС [6].

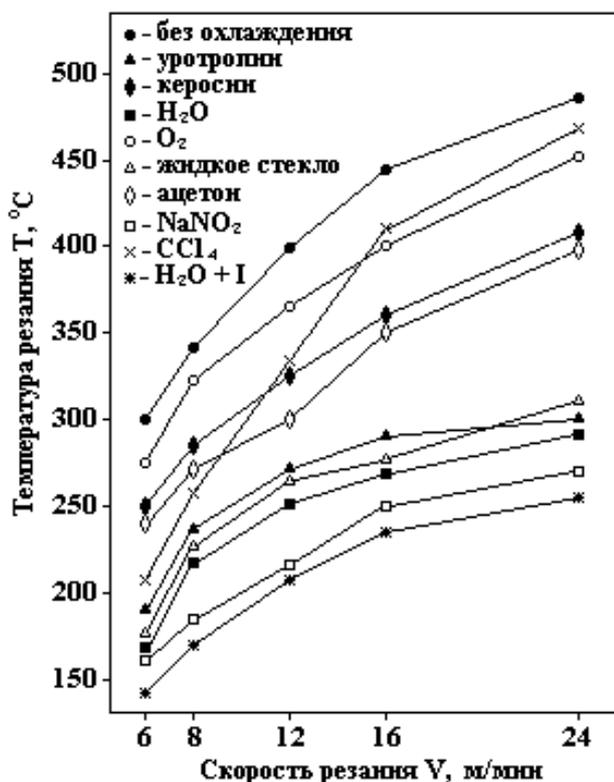


Рис. 4. Зависимость температуры от скорости резания при точении сплава ВТ-5 резцами из стали Р18

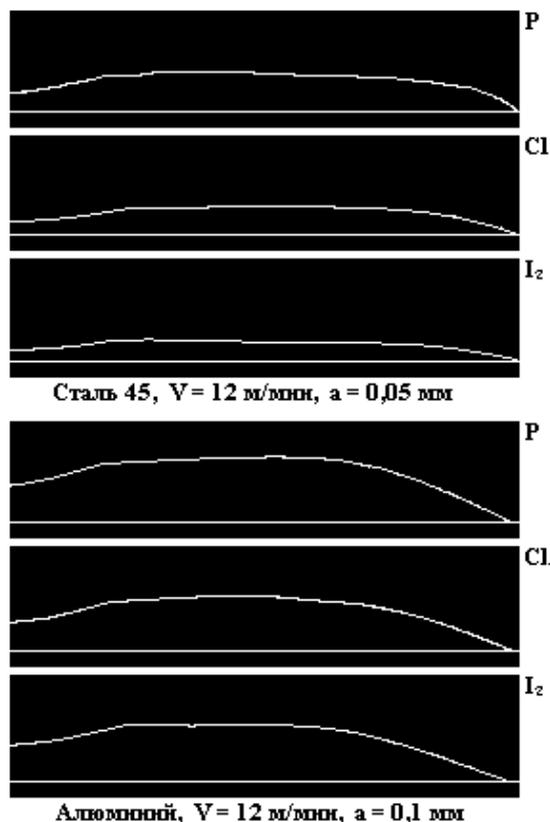


Рис. 5. Термограммы температур, зафиксированные при строгании металлов в контролируемой атмосфере

Наличие магниточувствительного вещества в составе микрокапсулы приводит к тому, что под действием магнитной составляющей электромагнитного поля, имеющего свое максимальное значение в области вершины режущего инструмента, микрокапсула с заключенной в ней йодсодержащей СОТС приобретает движение к зоне контактирования инструментального и обрабатываемого материалов. При этом кинетическая энергия микрокапсулы постоянно возрастает с уменьшением расстояния до зоны контакта.

Совокупность физико-механических характеристик микрокапсул (размеры, температура 200-215⁰С, возможность без разрушения выдерживать давления 1,7-2,0 МПа, скорость движения к контактной зоне до 32 мм/с) определила высокую проникающую способность магнитных микрокапсул. Экспериментальные данные, полученные при изучении передней поверхности резцов с помощью электронной микроскопии после проведения резания с

использованием магнитных микрокапсул, показали наличие постороннего вещества вплоть до вершины резцов.

Следствием высокой проникающей способности магнитных микрокапсул явилось как улучшение характеристик процесса резания и обработанных поверхностей, так и повышение износостойкости инструментов (рис. 6).

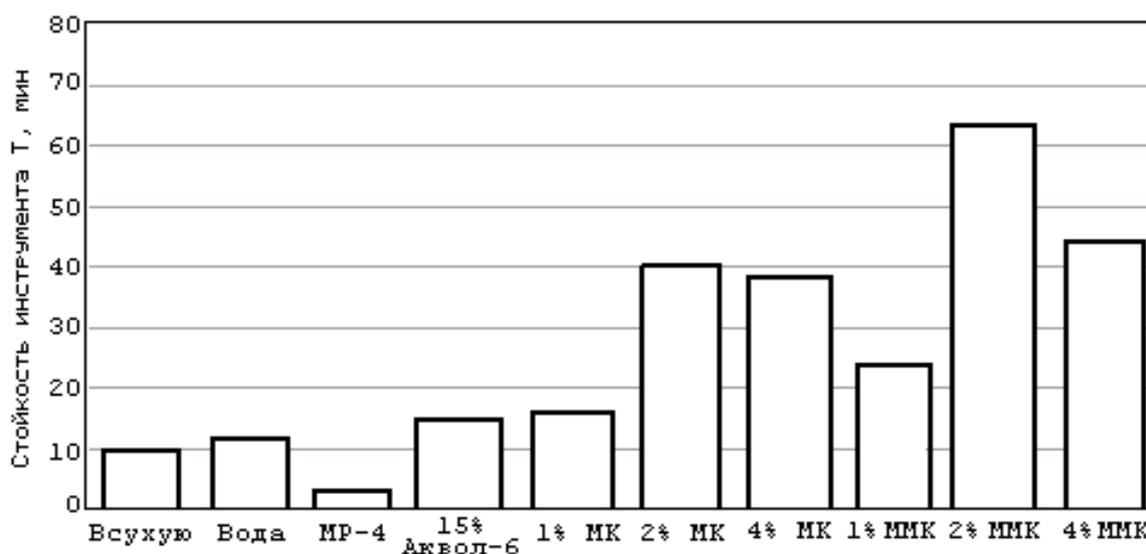


Рис. 6. Гистограмма стойкости резцов из стали Р6М5 при использовании различной концентрации микрокапсул в носителе при точении сплава ВТ6

$$V = 0,48 \text{ м/с}, S = 0,1 \text{ мм/об}, t = 0,5 \text{ мм}$$

На основании проведенных исследований установлено, что наличие микродоз йода в зоне трибосопряжений при трении и резании металлов оказывает положительное действие на процессы, протекающих на поверхностях границы раздела инструмент - обрабатываемый материал. Вместе с тем, существующие теории механизма действия йода описывают процесс облегчения процесса резания как результат действия в зоне контактирования йодсодержащих разделительных пленок. Однако, на наш взгляд, механизм более сложен.

Таким образом, из выше приведенного следует, что предложенная теория образования смазочных пленок в контактной зоне на данном этапе развития науки о резании металлов наиболее полно описывает кинетику физико-химических процессов, протекающих при резании в присутствии СОТС. Однако, существуют экспериментальные данные, объяснение которых в рамках

существующих представлений затруднительно. Поэтому, необходимо проводить дальнейшие более «тонкие» научные исследования с привлечением современных положений смежных научных направлений и, в первую очередь, физики и химии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Латышев В.Н.* Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение, 1985. 64 с.
2. *Наумов А.Г.* Повышение эффективности лезвийной обработки быстрорежущим инструментом при использовании экологически чистых СОТС // Дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГТУ «Станкин», 1999. 378 с.
3. *Фьюри М.Дж.* Действие йода при получении особо низкой величины трения. *Wear*. 1966. Т. 9. № 5.
4. *Naumov A. G., Latyshev V. N., Radnyuk V. S., Repin D. S., Kurapov K. V., Marshalov M. S.* Experimental Studies of Tribological Phenomena during Material Cutting // *Trenie i Iznos*, 2010, Vol. 31, No. 5, pp. 500–510.
5. *Латышев В.Н.* Исследование механохимических процессов и эффективности применения смазочных сред при трении и обработке металлов. Дис. ... д.т.н. М.: 1973. 412 с.
6. *Латышев В.Н., Наумов А.Г., Подгорков В.В., Раднюк В.С.* К вопросу о проникновении СОТС на контактные площадки при резании металлов // *Вестник машиностроения*. 2007. № 9. С. 53–54.
7. *Латышев В.Н.* Трибология резания металлов. Ч. I–X. Иваново: Изд-во ИвГУ, 2000–2004.
8. Исследование эффективности лезвийной обработки авиационных материалов с использованием микродозированной подачи СОТС в виде магнитных микрокапсул / В.Н. Латышев и др. // *Материалы научно-техн. симпозиума «Двигатели и экология»*. М., 17–18 апреля 2002 г. С. 68–72.
9. *Наумов А.Г.* Улучшение экологии процессов лезвийной обработки металлов // *Станки и инструмент*. 2002. № 7. С. 9–13.
10. *Латышев В.Н.* Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение, 1985. 65 с.

A. G. Naumov, E. V. Zarubina, V. A. Komel'kov

EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF COTS WHEN CUTTING HARD MATERIALS

Currently high-quality processing of surfaces of individual elements of fire extinguishing systems plays an important role in fire safety of objects. Frequency of surface treatment in turn depends on the choice of lubricant cooling technological means used in metal processing. This article is aimed at addressing the issue of improving the efficiency of lubricating-cooling technological tools (COTS) and, particularly, lubricating fluids (coolant) for cutting work of heat-resistant, corrosion-resistant and other hard materials. Researches were conducted on the different operations of tooling of nickeliferous and titanic alloys, molybdenum, non-rusting staley. The increase of efficiency of SOTS was arrived at introduction of matters with flimsy connection between atoms and chemically active components, by influence on SOTS a corona digit. Researches were conducted on the different operations of tooling of nickeliferous and titanic alloys, molybdenum, non-rusting staley. The increase of efficiency of SOTS was arrived at introduction of matters with flimsy connection between atoms and chemically active components, by influence on SOTS a corona digit. At the use of the mikrodozirovannoy serve as SOTS magnitochuvstvitel'nye microcapsules komponenty of which were neat from a condition were used, that at their destruction and destruction active particles and connections, capable effectively to cooperate with metals with formation of dividing lubricating tapes on the border of contact the instrument-processed material, appear chemically.

Keywords: lubricating and cooling technological tools, cutting, the wear of the cutters efficiency, processing , nickel , titanium alloys , molybdenum , stainless steel.

REFERENCES

1. *Latyshev V.N.* Povyshenie jeffektivnosti SOZh. M.: Mashinostroenie, 1985. 64 s.
2. *Naumov A.G.* Povyshenie jeffektivnosti lezviynoj obrabotki bystrorezhushhim instrumentom pri ispol'zovanii jekologicheski chistyh SOTS // Dis. ... d-ra tehn. nauk. M.: MGTU «Stankin», 1999. 378 s.
3. *F'juri M.Dzh.* Dejstvie joda pri poluchenii osobo nizkoj velichiny trenija. Wear. 1966. T. 9. № 5.
4. *Naumov A. G., Latyshev V. N., Radnuyk V. S., Repin D. S., Kurapov K. V., Marshalov M. S.* Experimental Studies of Tribological Phenomena during Material Cutting // *Trenie i Iznos*, 2010, Vol. 31, No. 5, pp. 500–510.
6. *Latyshev V.N.* Issledovanie mehanohimicheskikh processov i jeffektivnosti primeneniya smazochnyh sred pri trenii i obrabotke metallov. Dis. ... d.t.n. M.: 1973. 412 s.
7. *Latyshev V.N., Naumov A.G., Podgorkov V.V., Radnjuk V.S.* K voprosu o proniknovenii SOTS na kontaktnye ploshhadki pri rezanii metallov // *Vestnik mashinostroeniya*. 2007. № 9. S. 53–54.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

8. *Latyshev V.N.* Tribologija rezanija metallov. Ch. I–X. Ivanovo: Izd-vo IvGU, 2000–2004.

9. Issledovanie jeffektivnosti lezvijnoj obrabotki aviacionnyh materialov s ispol'zovaniem mikrodozirovannoj podachi SOTS v vide magnitnyh mikrokapsul / V.N. Latyshev i dr. // Materialy nauchno-tehn. simpoziuma «Dvigateli i jekologija». M., 17–18 aprelja 2002 g. S. 68–72.

10. *Naumov A.G.* Uluchshenie jekologii processov lezvijnoj obrabotki metallov // Stanki i instrument. 2002. № 7. S. 9–13.

11. *Latyshev V.N.* Povyshenie jeffektivnosti SOZh. M.: Mashinostroenie, 1985. 65 s.

Наумов Александр Геннадьевич

Заведующий лабораторией физико-технических исследований ИвГУ,
научный руководитель Трибологического центра ИвГУ
Доктор химических наук
Профессор

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,
Россия, г. Иваново

E-mail: agn8@yandex.ru

Naumov Aleksandr Gennad`evich

Ivanovo State University,
Russia, Ivanovo

SPIN-код автора: 8458-2646

Зарубина Екатерина Витальевна

Старший преподаватель
Кандидат технических наук
Доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: katya.zarubina.15@mail.ru

Zarubina Ekaterina Vitalievna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Комельков Вячеслав Алексеевич

Начальник кафедры
Кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: kafppv@mail.ru

Komelkov Vyacheslav Alexeyevich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

SPIN-код автора: 7982-9685

ПОЖАРОТУШЕНИЕ

УДК 621.793.7

В. А. Полетаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ, НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Материалы деталей электронасосных агрегатов испытывают воздействия факторов внешней среды: влаги, резкой смены температуры, агрессивных газов и аэрозолей, контактов с морской водой и щелочными растворами. Для изготовления деталей электронасосов и электродвигателей используют различные конструкционные и электротехнические материалы. Нанесение на их поверхности специальных покрытий позволит улучшить комплекс их эксплуатационных свойств.

Приведены результаты исследования механических и триботехнических свойств деталей электронасосных агрегатов после их комбинированного упрочнения (нанесение металлизационного покрытия и его последующие дополнительные обработки алмазным выглаживанием и импульсным магнитным полем).

Ключевые слова: упрочнение, металлизационное покрытие, износ, качество поверхности, алмазное выглаживание.

Введение

Известно, что до 70 % причин выхода из строя машин и механизмов связано с износом поверхностей трения узлов. Изменение свойств поверхностей трения узлов возможно за счет использования покрытий и их дополнительной механической обработки с целью увеличения их коррозионной стойкости и износостойкости. В результате нанесения таких покрытий не только восстанавливаются размеры деталей, но и упрочняются их поверхности. Поэтому детали с покрытиями обычно имеют высокую износостойкость и служат в несколько раз дольше, чем детали без покрытий.

Примером, где применение покрытий может дать большой практический эффект, может служить работа электронасосных агрегатов для воды. Агрегат состоит из центробежного насоса и электродвигателя, которые выходят из строя вследствие разрушения поверхностей трения узлов электронасосных агрегатов в местах контакта с резинометаллическими подшипниками и жидкостью, проходящей через элементы агрегата. Материалы деталей электронасосных агрегатов испытывают воздействия факторов внешней среды:

влаги, резкой смены температуры, агрессивных газов и аэрозолей, контактов с морской водой и щелочными растворами [1–3]. Для изготовления деталей электронасосов и электродвигателей используют различные конструкционные и электротехнические материалы. Нанесение на их поверхности специальных покрытий позволит улучшить комплекс их эксплуатационных свойств [4–5].

В настоящее время существует необходимость улучшения существующих систем покрытий и их дополнительного поверхностного упрочнения с целью удовлетворения постоянно возрастающих требований технологов и конструкторов. Недостаточно полно изучены методы комбинированного упрочнения поверхностей трения узлов машин, такие, например, как нанесение металлизационного покрытия и его последующие дополнительные обработки алмазным выглаживанием и импульсным магнитным полем.

Целью исследований является повышение качества изготовления деталей электронасосных агрегатов для воды путем применения упрочняющей обработки, включающей нанесение металлизационного покрытия и последующего его поверхностно-пластического деформирования и импульсной магнитной обработки.

Для повышения долговечности электронасосов в конструкцию электродвигателя вместо роторной втулки предлагается нанесение на поверхность ротора под подшипником металлизационного покрытия из металла методом электродугового напыления [6].

Электродуговое напыление осуществлялось с применением электродугового металлизатора ЭДМ-5М, токарного станка и сварочного выпрямителя типа ВДУ-600. В качестве наплавочного материала использовалась порошковая проволока диаметром 2 мм марки 40Х13. С целью обеспечения прочности сцепления напылительного материала с поверхностью ротора на последней нарезалась «рваная» резьба глубиной 3 мм и шагом 1,5 мм с последующей струйно-коррундовой обработкой до получения сплошного матового состояния поверхности. После этого осуществлялось нанесение покрытия на металлизаторе ЭДМ-5М.

Алмазное выглаживание заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом – выглаживателем. При этом неровности поверхности, оставшиеся от предшествующей обработки, сглаживаются частично или полностью, поверхность приобретает зеркальный блеск, повышается твердость поверхностного слоя, в нем образуются сжимающие остаточные напряжения, изменяется микроструктура, и создается направленная структура (текстура). После выглаживания поверхность остается чистой, не шаржированной осколками абразивных зерен, что обычно происходит при процессах абразивной обработки. Такое сочетание свойств выглаженной поверхности

предопределяет ее высокие эксплуатационные качества – износостойкость, сопротивление усталости и т.д.

Одним из прогрессивных методов упрочнения деталей является магнитная обработка. Применяемые на практике методы магнитной обработки материалов различны как по своим физическим и технологическим принципам, так и по конструктивным исполнениям установок. Магнитную и магнитно-импульсную обработку применяют для упрочнения различных деталей, конструкций и сборочных единиц, например, заклепочных, сварных, резьбовых соединений; зубчатых и червячных передач; опорных устройств и муфт; рессор и пружин; стальных канатов и тросов грузоподъемных машин; режущего инструмента и т.д.

Для упрочнения деталей импульсной магнитной обработкой использовалась установка [7], которая состоит из двух узлов: возбuditеля импульсов и магнитного индуктора.

Для испытания материалов трением использовалась экспериментальная установка, представляющая собой динамометр с индуктивными датчиками для измерения силы давления.

Установка (рис. 1) включает: образец 1; шпиндель станка 2; державка 3; стрелочный индикатор 4; динамометр 5; резцедержатель станка 6; салазки 7; контртело 8.

Державка устанавливается в динамометр с индуктивными датчиками, смонтированном на токарном станке 16К20. Контртело (пруток сечением 10×10) изготовлено из серого чугуна состава: 3,0 С; 0,8 Мп; 1,4 Si; 0,1Р; $\leq 0,15$ S. Контактная с деталью поверхность 3 выполнена вогнутой цилиндрической в зависимости от диаметра исследуемой детали. Скорость вращения детали 100–200 об/мин. Нагрузка на зону контакта составляла 100Н и измерялась протонированным индикатором [8].

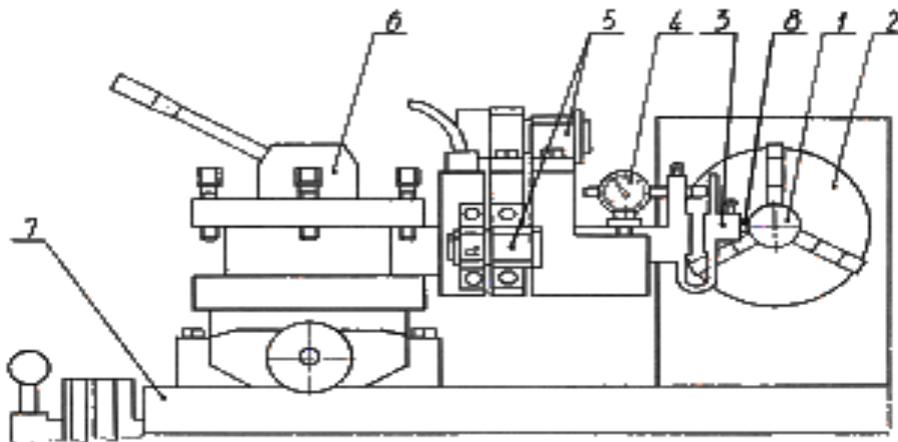


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Через заданные промежутки времени и после износа изнашиваемые детали снимались с экспериментальной установки, взвешивались, а поверхности износа фотографировались на модернизированном металлографическом микроскопе МИМ-8 цифровой камерой. Взвешивание деталей для определения величины съема металла выполнялось на весах модели METTLER TOLEDO с точностью измерения 0, 000001 г; класс точности – по ГОСТ 24104-МПМ03М762/1. Испытания на износ деталей проводились до достижения критического состояния, при котором наступает катастрофическое разрушение покрытия деталей.

Металлизированные шейки ротора обрабатывались точением с последующим шлифованием или алмазным выглаживанием до номинального размера. На рис. 2 показаны микрофотографии поверхности покрытия детали после точения, шлифования и алмазного выглаживания до износа, а на рис. 3 – после износа.

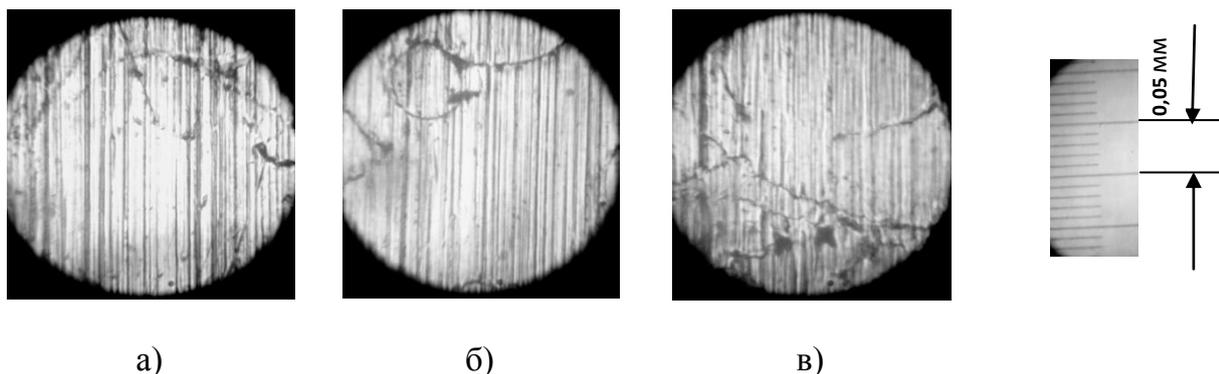


Рис. 2. Микрофотографии поверхности покрытия деталей до износа:

а – после точения, б – после шлифования, в – после алмазного выглаживания

Покрyтия, полученные методом распыления всегда находятся в напряженном состоянии. Большое влияние на структуру покpытия оказывает закалка частиц, происходящая в результате быстрого охлаждения их воздушной струей. При этом твердость металлизационных покpытий повышается за счет включений окислов металлов. Кроме того имеет место явление наклепа поверхности покpытия вследствие ударов быстролетающих частиц металла. Разрушение поверхности металлизированной детали происходит преимущественно по границам частиц, окаймленным окислами.

На рис. 4 представлена зависимость износа металлизационной поверхности ротора с исходными поверхностями после обработки точением, шлифованием и алмазным выглаживанием. Анализ графиков (рис. 4) показывает, что характер изнашивания поверхностей различен.

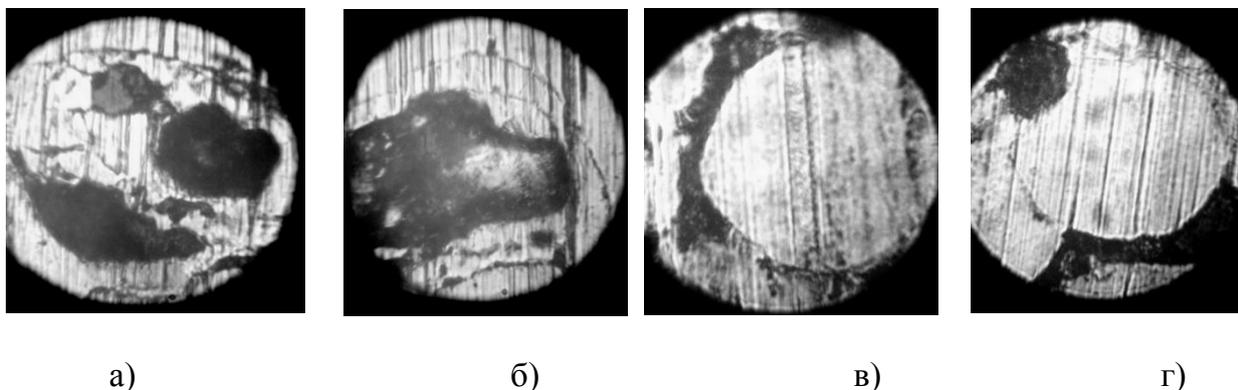


Рис. 3. Микрофотографии поверхности покрытия деталей после износа: а – с исходной поверхностью после точения, б – после шлифования, в – после алмазного выглаживания, г – после алмазного выглаживания и импульсной магнитной обработки

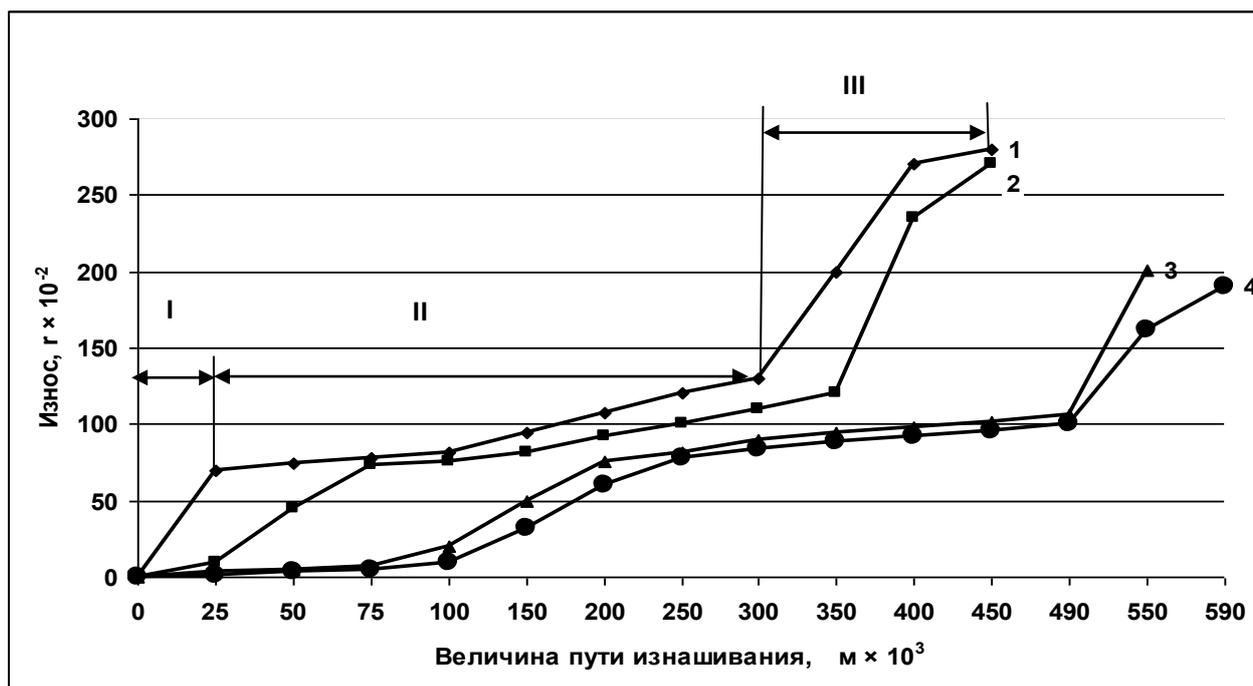


Рис. 4. Зависимость износа металлизированной поверхности детали: 1 – исходная поверхность после обработки точением; 2 – после обработки шлифованием; 3 – после алмазного выглаживания; 4 – после алмазного выглаживания и импульсной магнитной обработки

Кривые изнашивания 1 и 2 металлизационных поверхностей (рис. 4.) после точения и шлифования соответствуют трем стадиям изнашивания: I – начальное изнашивание, наблюдаемое при приработке поверхностей деталей; II –

установившееся изнашивание; III – процесс резкого возрастания скорости изнашивания, соответствующий стадии катастрофического изнашивания.

Кривая 3 относится к случаю, когда приработка отсутствует, а период нормальной эксплуатации наступает сразу после начала работы. В данном случае поверхность детали после пластического поверхностного деформирования методом алмазного выглаживания работает длительное время практически без истирания.

Кривые изнашивания 1 и 2 металлизационных поверхностей после точения и шлифования на участке II соответствуют установившемуся изнашиванию. Причем установившееся изнашивание для поверхностей, обработанных точением, начинается раньше, чем после обработки шлифованием. Но длины участков стадий изнашивания поверхностей (II), обработанных точением и шлифованием, примерно одинаковы. Это в 2 раза меньше, чем для металлизационных поверхностей, обработанных алмазным выглаживанием.

Анализ микрофотографий изнашивания поверхностей деталей из стали 45 с металлизационным покрытием показывает, что исходные поверхности металлизированных покрытий после точения, шлифования и алмазного выглаживания различны [9–10]. Поэтому и характер изнашивания этих поверхностей различен. Если на металлизированных поверхностях после обработки алмазным выглаживанием видны границы деформированных частиц напыляемого металла, то после точения и шлифования эти границы не видны и при изнашивании сначала начинается приработка поверхностей деталей до появления границ частиц металла покрытия, а затем уже только появляется стадия установившегося изнашивания. Процессы резкого возрастания скорости изнашивания, соответствующие стадии катастрофического изнашивания, также различны (стадия III): если после обработки точением и шлифованием разрушение поверхности металлизированных покрытий происходит одновременно и по границам частиц металла и внутри самих частиц, то после обработки алмазным выглаживанием разрушение металлизационной поверхности детали происходит преимущественно по границам частиц металла. Кроме того частицы металла на поверхности покрытия после алмазного выглаживания дополнительно расплющиваются и увеличиваются в размерах в 1,5–2 раза. Импульсная магнитная обработка металлизационного покрытия после алмазного выглаживания увеличивает величину длины изнашивания поверхности деталей.

Выводы

В результате исследований на износ деталей из стали 45, упрочненных методом металлизации материалом из стали 40X13, установлено следующее:

– кривые изнашивания металлизационных поверхностей после точения и шлифования соответствуют трем стадиям: первая – приработка, вторая –

установившееся изнашивание, третья – резкое возрастание скорости изнашивания;

– кривая изнашивания металлизационного покрытия после алмазного выглаживания не содержит участка приработки, а период нормальной эксплуатации деталей наступает с момента работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азарх Д.Н., Попова Н.В., Монахова Л.П.* Насосы: Каталог–справочник. 3-е изд., испр. ВНИИгидромашиностроение. Л.: Машгиз (Ленингр. отд–ние), 1960. 552 с.
2. Насосы: справочное пособие / К. Бадене и др.; пер. с нем. В.В. Малюшенко, М.К. Бобка. М.: Машиностроение, 1979. 502 с.
3. Насосы и компрессоры. М.: Недра, 1974. 296 с.
4. *Полетаев В.А., Самок Г.С., Королькова Г.С.* Исследование механических свойств деталей электронасосов, упрочненных комбинированным способом // Вестник ИГЭУ, 2008. Вып. 3. С. 22–25.
5. *Полетаев В.А., Самок Г.С., Королькова Г.С.* Исследование деталей электронасосов, упрочненным комбинированным способом, на износостойкость // Вестник ИГЭУ. 2009. Вып. 3. С. 14–17.
6. *Королькова Г.С., Полетаев В.А., Ведерникова И.И.* Обработка деталей электронасосов электродуговым напылением // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструментов и технологической оснастки от нано- до микроуровня: матер. 12-й междунар. научно-практ. конф. Ч.1. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. С. 132–136.
7. Импульсная магнитная установка для упрочнения режущих инструментов / В.А. Полетаев и др. // Вестник ИГЭУ. 2011. Вып. 4. С. 35–39.
8. *Полетаев В.А., Королькова Г.С., Ведерникова И.И.* Исследование на износостойкость деталей, упрочненных электродуговой металлизацией // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 8. С. 24–27.
9. *Самок Г.С., Королькова Г.С.* Влияние метода упрочняющей обработки на качество поверхностного слоя деталей электронасосов // Вестник ИГЭУ. 2011. Вып. 1. С. 57–62.
10. *Полетаев В.А., Пучков П.В.* Повышение качества поверхностей трения деталей электронасосов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. № 9. С. 74–76.

V. A. Poletaev

THE STUDY OF THE PARTS, HARDENED BY ARC METALLIZATION, WEAR RESISTANCE

Materials of parts of electric pump units are experiencing the impact of environmental factors: moisture, sharp changes in temperature, aggressive gases and aerosols, contact with sea water and alkaline solutions. For manufacturing details of pumps and electric motors use various structural and electrotechnical materials.

The results of investigations of mechanical and tribological properties of parts of electric pump units after their combined strengthening (application of the metalized coating and subsequent additional processing diamond smoothing and pulsed magnetic field).

Keywords: strengthening, metallized coating, wear, surface quality, diamond burnishing.

REFERENCES

1. Azarh D.N., Popova N.V., Monahova L.P. Nasosy: Katalog–spravochnik. 3-e izd., ispr. VNIIGidromashinostroenie. L.: Mashgiz (Leningr. otd–nie), 1960. 552 s.
2. Nasosy: spravochnoe posobie / K. Badene i dr.; per. s nem. V.V. Maljushenko, M.K. Bobka. M.: Mashinostroenie, 1979. 502 s.
3. Nasosy i kompressory. M.: Nedra, 1974. 296 s.
4. Poletaev V.A., Samok G.S., Korol'kova G.S. Issledovanie mehanicheskikh svojstv detalej jelektronasosov, uprochnennykh kombinirovannym sposobom // Vestnik IGJeU, 2008. Vyp. 3. S. 22–25.
5. Poletaev V.A., Samok G.S., Korol'kova G.S. Issledovanie detalej jelektronasosov, uprochnennym kombinirovannym sposobom, na iznosostojkost' // Vestnik IGJeU. 2009. Vyp. 3. S. 14–17.
6. Korol'kova G.S., Poletaev V.A., Vedernikova I.I. Obrabotka detalej jelektronasosov jelektrodugovym napyleniem // Resursosberegajushhie tehnologii remonta, vosstanovlenija i uprochnenija detalej mashin, mehanizmov, oborudovanija, instrumentov i tehnologicheskoy osnastki ot nano- do mikrourovnja: mater. 12-j mezhdunar. nauchno-prakt. konf. Ch.1. SPb.: Izd-vo politehn. un-ta, 2010. S. 132–136.
7. Impul'snaja magnitnaja ustanovka dlja uprochnenija rezhushhix instrumentov / V.A. Poletaev i dr. // Vestnik IGJeU. 2011. Vyp. 4. S. 35–39.
8. Poletaev V.A., Korol'kova G.S., Vedernikova I.I. Issledovanie na iznosostojkost' detalej, uprochnennykh jelektrodugovoj metallizaciej // Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah. 2010. № 8. S. 24–27.
9. Samok G.S., Korol'kova G.S. Vlijanie metoda uprochnjajushhej obrabotki na kachestvo poverhnostnogo sloja detalej jelektronasosov // Vestnik IGJeU. 2011. Vyp. 1. S. 57–62.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

10. *Poletaev V.A., Puchkov P.V.* Povyshenie kachestva poverhnostej trenija detalej jelektronasosov // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. 2015. № 9. S. 74–76.

Поletaев Владимир Алексеевич

Профессор

Доктор технических наук

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Poletaev Vladimir Alekseevich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Firefighting

Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination

of Consequences of Natural Disasters»;

Russian Federation, Ivanovo

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 544.355 – 122: 532.00

Д. В. Батов, Т. А. Мочалова, О. Е. Сторонкина

ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ УГЛЕВОДОРОДОВ В РАМКАХ АДДИТИВНО-ГРУППОВОГО МЕТОДА: ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ И ЭНТАЛЬПИЯ ИСПАРЕНИЯ

Предложенный авторами ранее вариант аддитивно-группового метода адаптирован для расчета температуры вспышки и энтальпий испарения предельных углеводородов. Полученное уравнение для расчета температуры вспышки учитывает асимптотическую зависимость ее от размера молекул углеводородов.

Ключевые слова: показатели пожарной опасности; температура вспышки; энтальпия испарения; аддитивно-групповой метод; структурные фрагменты; асимптотическая зависимость; предельные углеводороды; межмолекулярные и внутримолекулярные взаимодействия.

Исследование взаимосвязи между строением соединений и их свойствами остается актуальной химической задачей. В рамках аддитивно-группового метода эту проблему можно решить и качественно и количественно. Целью настоящей работы явилось установление взаимосвязи между температурой вспышки и энтальпиями испарения предельных углеводородов, составом и строением их молекул с использованием метода аддитивности химических связей. Следует отметить, что температура вспышки и энтальпия испарения характеризуют процесс формирования пожаро- и взрывоопасных паровоздушных смесей над поверхностью жидкостей и поэтому относятся к основным показателям пожарной опасности.

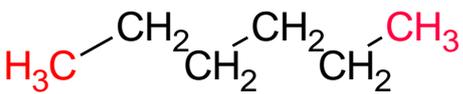
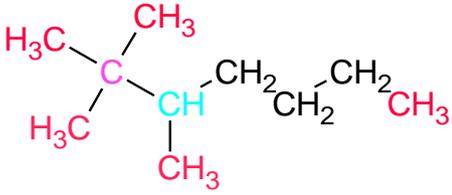
Ранее аддитивно-групповой подход в приближении аддитивности связей был использован нами для описания и прогнозирования температур вспышки спиртов, кетонов и сложных эфиров [1, 2]. Однако проведенный анализ данных по температуре вспышки [3–7] показал, что для предельных углеводородов постоянный вклад связи СН в метиленовой группе (CH_2) или метиленовой группы в целом соблюдается для соединений, начиная с додекана или

тридекана. Это подтверждает регрессионный анализ температур вспышки нормальных алканов с числом связей CH_s $s \geq 20$ (число атомов углерода в молекуле $N_C \geq 12$), используя соотношение (1).

$t_{\text{всп}} = t_{\text{всп}}(\text{CH}_p) \cdot p + t_{\text{всп}}(\text{CH}_s) \cdot s = (-8.08 \pm 0.30) p + (6.30 \pm 0.07) s$, стандартное отклонение $s_f = 0.3$ °C, коэффициент корреляции $R = 0.9999$, размер выборки $n = 4$ ($\text{C}_{13}\text{H}_{28}$, - $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) (1)

Здесь $t_{\text{всп}}(\text{CH}_s)$ и $t_{\text{всп}}(\text{CH}_p)$ – вклады связей метиленовой группы и метильного радикала в температуру вспышки, s и p – количество связей СН в метиленовых группах и метильных радикалах молекулы. Их значения определяли разделением молекул на соответствующие структурные фрагменты. Примеры выделения СН-связей разного вида в молекулах предельных углеводородов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Вид и количество СН-связей в молекулах н-гексана и 2,2,3-триметилгептана

Н-гексан				2,2,3-триметилгептан			
							
CH_p	CH_s	CH_t	C_h	CH_p	CH_s	CH_t	C_h
6	8	0	0	15	6	1	1

Примечание. CH_p – связи СН метильных радикалов, CH_s – связи СН метиленовых групп, CH_t – связи СН третичного атома углерода, C_h – четвертичные атомы углерода.

Если принять вклады СН-связей в метильных радикалах постоянными для всех углеводородов, то рассчитать вклад фрагмента CH_s в температуру вспышки данного н-алкана можно по формуле (2).

$$t_{\text{всп}}(\text{CH}_s) = [t_{\text{всп}} - 6 t_{\text{всп}}(\text{CH}_p)]/s \quad (2)$$

Рассчитанные таким образом величины представлены на рис. 1 в зависимости от числа атомов углерода в молекуле н-алкана.

Приведенные данные показывают, что наблюдается асимптотическая зависимость $t_{\text{всп}}(\text{CH}_s)$ от размера молекул предельных углеводородов нормального строения.

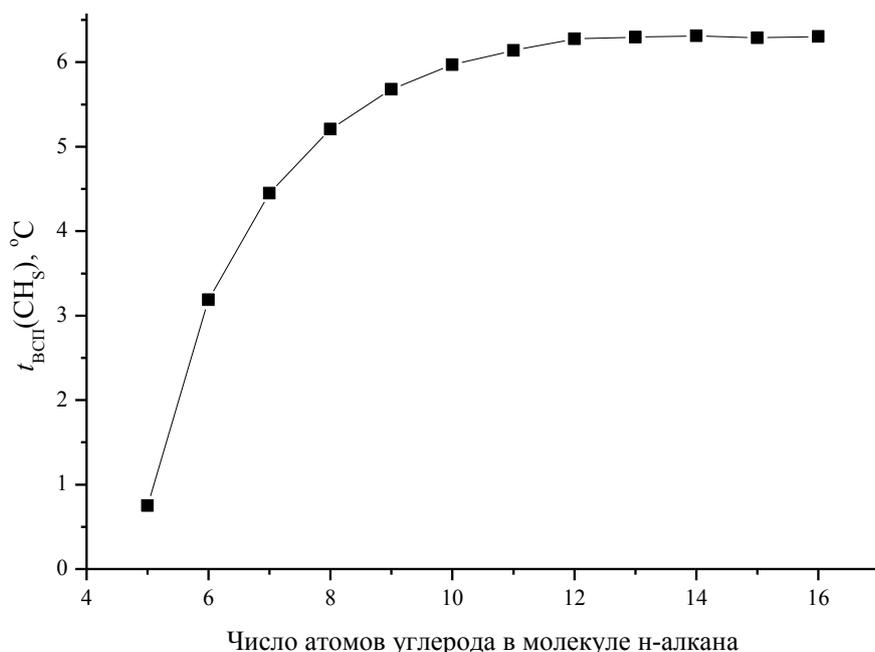


Рис. 1.
Зависимость вклада связи СН метиленовой группы в температуру вспышки n-алканов в закрытом тигле от числа атомов углерода в молекуле

Авторы работы [8] отмечали, что некоторые другие свойства углеводородов (плотность, термический коэффициент объемного расширения) также имеют асимптотическую зависимость от размера молекул. Как справедливо указано авторами [9], свойства низших членов гомологического ряда n-алканов обусловлены межмолекулярными связями; при достаточно большом «n» n-алканы по своей природе приближаются к полимерам, свойства которых, в большей степени, определяются внутримолекулярными взаимодействиями. Такой качественный переход неизбежно должен сопровождаться *асимптотическим* стремлением с ростом «n» полной энергии парафина к энергии полимера. Эти особенности межчастичных взаимодействий в углеводородах осложняют применение аддитивно-группового подхода для описания их свойств.

Асимптотическую зависимость $t_{\text{всп}} = f(s)$ хорошо описывают экспоненциальные модели с тремя подгоночными коэффициентами (3, 4).

$$t_{\text{всп}} = A - B \cdot C^s \quad (3)$$

$$t_{\text{всп}} = A + B \exp(C \cdot s) \quad (4)$$

В настоящей работе было использовано выражение (4), в котором коэффициент A равен предельному значению вклада связи CH_s в температуру вспышки углеводородов (6.35°C , см. уравнение 1).

В результате было получено уравнение (5) для описания вклада группы CH_s в температуру вспышки предельных углеводородов.

$$t_{\text{всп}}(\text{CH}_s) = 6.3 - (29.51 \pm 0.89) \exp[(0.279 \pm 0.004) s], s_f = 0.06^\circ\text{C}, R^2 = 0.9992, n = 12, (\text{C}_5\text{H}_{12} - \text{C}_{16}\text{H}_{34}) \quad (5)$$

Комбинация уравнений (1) и (5) дает выражение (6) для описания температуры вспышки предельных углеводородов нормального строения.

$$t_{\text{всп}} = t_{\text{всп}}(\text{CH}_p) \cdot p + t_{\text{всп}}(\text{CH}_s) \cdot s = -8.08 p + [6.3 - 29.51 \exp(0.279 s)] s \quad (6)$$

Согласно определению, температуре вспышки соответствует некоторое давление пара жидкости над ее поверхностью. Таким образом, $t_{\text{всп}}$ характеризует, на первый взгляд, процесс испарения жидкости при данной температуре. Другой важной характеристикой процесса испарения является его энтальпия. Рассмотрим это свойство с позиций аддитивно-группового подхода.

На рис. 2 представлена зависимость энтальпий испарения n -алканов при 25°C , заимствованных из справочника [10], от размера их молекул.

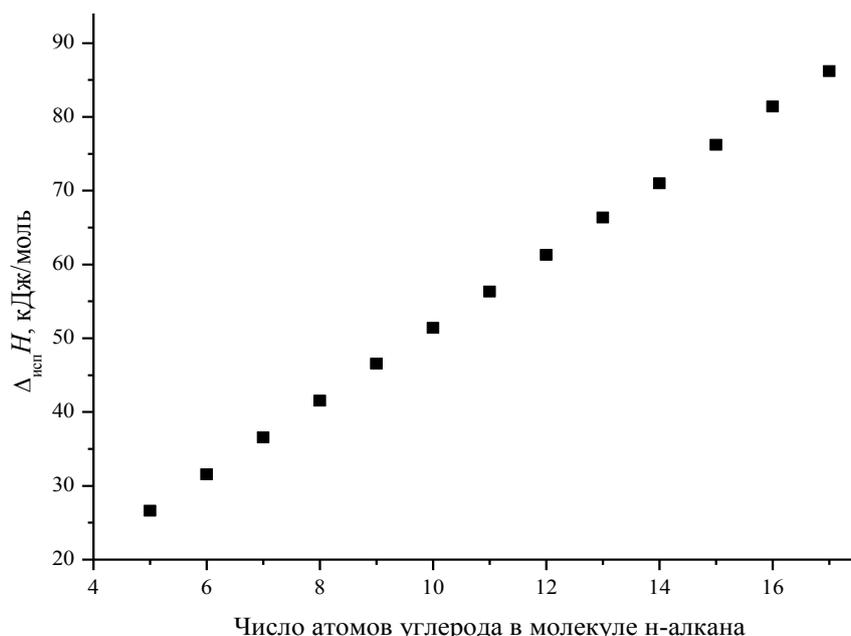


Рис. 2. Зависимость энтальпий испарения n -алканов при 25°C от числа атомов углерода в их молекулах

Из рис. 2 видно, что для энтальпий испарения наблюдается хорошая линейная зависимость, то есть вклад метиленовой группы и, соответственно, структурного фрагмента CH_s является постоянным независимо от размера молекулы *n*-алкана. Это подтверждается очень хорошей корреляцией (7).

$$\Delta_{\text{исп}}H^0 = \Delta_{\text{исп}}H^0(\text{CH}_p) \cdot p + \Delta_{\text{исп}}H^0(\text{CH}_s) \cdot s = (1.953 \pm 0.013) p + (2.480 \pm 0.001) s, \quad (7)$$

$s, s_f = 0.1$ кДж/моль, $R = 0.9999$, $n = 13$ (C_5H_{12} - $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$)

Возникает вопрос: почему два свойства вещества, характеризующие процесс его испарения, имеют разные зависимости от состава молекул? По-видимому, температура вспышки отражает разрыв малой доли межмолекулярных взаимодействий в жидкости.

В этом случае внутримолекулярные взаимодействия в углеводородах составляют заметную конкуренцию взаимодействиям между молекулами в жидкой фазе. На фоне энтальпий испарения, характеризующих разрушение всех видов межмолекулярных взаимодействий, особенности внутримолекулярных взаимодействий не проявляются.

Для завершения описания температур вспышки предельных углеводородов нормального строения и их изомеров были определены вклады связи CH третичного атома углерода (CH_t) и четвертичного атома углерода (C_h) путем регрессионного анализа температур вспышки структурных изомеров *n*-алканов. Следует отметить, что в указанных справочных изданиях [3–6] имеются температуры вспышки только для углеводородов при $s < 20$, причем многие величины являются рассчитанными по температуре кипения. Для расчета были использованы температуры вспышки следующих углеводородов: 2,4-диметилпентан, 2,5-диметилгептан, 4,4-диметилгептан, 2,2,5-триметилгексан, 2,3,4-триметилгексан, 2,2,3,3-тетраметилпентан, 2-метилпентан (расч.), 3-метилпентан (расч.), 2-метилгексан (расч.), 3-метилгексан (расч.), 2,2-диметилпентан (расч.), 2,3-диметилпентан (расч.), 2-метилгептан (расч.), 3-метилгептан (расч.), 2,3-диметилгексан (расч.), 2,4-диметилгексан (расч.), 2,2,3-триметилпентан (расч.), 2-метилоктан (расч.), 3-метилоктан (расч.), 4-метилоктан (расч.), 3,3-диметилгептан (расч.), 3,3-диэтилпентан (расч.), 2,4-диметил-3-этилпентан (расч.), 2-метилнонан (расч.), 2,3-диметилоктан (расч.), 4,5-диметилоктан (расч.), 2,5,5-триметилгептан (расч.), 2-этилоктан (расч.), 3-этилоктан (расч.), 4-этилоктан (расч.), 2-метилдекан (расч.), 2,2,3,3-тетраметилгептан (расч.).

При расчете постулировалось, что вклады связей CH_p и CH_s являются одинаковыми как в *n*-алканах, так и в их изомерах. Поэтому регрессионному анализу была подвергнута разность между температурой вспышки изомера и

величиной температуры вспышки, обусловленной наличием в молекуле общего числа связей CH_p и CH_s ($t_{\text{всп},i}$). Таким образом было получено соотношение (8) для вкладов структурных фрагментов CH_t и C_h .

$$t_{\text{всп},i} = (55.92 \pm 0.45) t + (95.28 \pm 0.93) h, s_f = 3.5 \text{ }^\circ\text{C}, R^2 = 0.9990 \text{ } n = 32 \quad (8)$$

Комбинирование уравнений (6) и (8) дает выражение (9) для описания и прогнозирования температуры вспышки в закрытом тигле предельных углеводородов нормального строения и их структурных изомеров.

$$t_{\text{всп}} = -8.08 p + [6.3 - 29.51 \exp(0.279 s)] s + 55.92 t + 95.28 h \quad (9)$$

Средняя погрешность расчета $t_{\text{всп}}$ по уравнению (9) для двенадцати *n*-алканов C_5 – C_{16} и указанных выше изомеров составляет $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Описание энтальпий испарения предельных углеводородов в различных вариантах аддитивно-группового подхода выполнялось неоднократно [10, 11, 12]. Учитывая зависимость на рис. 2, это не представляет особых трудностей. Поэтому в настоящей работе мы эту задачу не ставили. Например, в работе [12] для 56 алканов различного строения были определены вклады в энтальпию испарения радикалов CH_3 , CH_2 , CH и C , которые равны 5.74 ± 0.30 , 4.96 ± 0.06 , 2.63 ± 0.50 и 0.41 ± 0.50 кДж/моль соответственно. По мнению авторов работы [12] разветвленность молекул увеличивает вероятность внутримолекулярных контактов. Поскольку при фиксированном значении размера молекулы (равенстве V_w соединений с разветвленной и неразветвленной цепью) суммарное число межмолекулярных и внутримолекулярных контактов остается постоянным, увеличение внутримолекулярного взаимодействия при разветвлении молекул ослабляет межмолекулярное взаимодействие. Это приводит к уменьшению энтальпии испарения.

Таким образом в настоящей работе проведен анализ температур вспышки и энтальпий испарения предельных углеводородов. Отмечено асимптотическое изменение температуры вспышки от размера молекул углеводородов. В рамках аддитивно-группового метода получено уравнение для описания и прогнозирования температуры вспышки предельных углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батов Д.В., Мочалова Т.А., Петров А.В. Описание и прогнозирование температур вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно - группового метода // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. Вып. 2. С. 15–18.

2. Батов Д.В., Мочалова Т.А., Петров А.В. Использование аддитивно-группового метода для расчета температуры вспышки спиртов, кетонов и сложных эфиров // Журн. прикл. химии. 2011. Т. 84. Вып. 1. С. 55–60.

3. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1/ А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. М.: Химия, 1990. 496 с.

4. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 2/ А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. М.: Химия, 1990. 384 с.

5. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004, Ч. 1. 713 с.

6. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 2. 774 с.

7. Acros Organics. – Режим доступа: <http://www.acros.com/>.

8. Карцев В.Н., Забелин В.А., Штыкова Л.С. Межмолекулярные взаимодействия и объёмные свойства жидких n-алканов и n-спиртов // Вопросы прикладной физики. 1998. Вып.4. С.92–94.

9. Шахпаронов М.И., Сперкач В.С. Теория вязкости жидкостей. II Кинетический компенсационный эффект в n-алканах // Журн. физ. химии. 1980. Т. 54. № 2. С. 312–315.

10. Лебедев Ю.А., Мирошниченко Ю.А. Термохимия парообразования органических веществ. Теплоты испарения, сублимации и давление насыщенного пара. М.: Наука, 1981. 216 с.

11. Абрамзон А.А., Славин А.А. Об аддитивности энергии межмолекулярного взаимодействия органических соединений по входящим в них группам // Журнал физической химии. 1970. Т. 44. № 3. С. 564–569.

12. Инкременты энтальпий испарения органических соединений / Г.В. Королев, А.А. Ильин, Е.А. Сизов и др. // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70. Вып. 7. С. 1088–1091.

D. V. Batov, T. A. Mochalova, O. E. Storonkina

**DESCRIPTION FEATURES OF THE FIRE HAZARD INDICATORS
OF HYDROCARBONS WITHIN THE ADDITIVE-GROUP METHOD:
FLASH POINT AND ENTHALPY OF VAPORIZATION**

The version of the additive-group method that was earlier proposed by the authors is adapted to calculate the flash point and enthalpy of vaporization in saturated hydrocarbons. The resulting equation for calculating the flash takes into account its asymptotic dependence on the hydrocarbon molecules size.

Keywords: fire hazard indicators; flash point; enthalpy of vaporization; additive-group method; the structural fragments; the asymptotic dependence; saturated hydrocarbons; intermolecular and intramolecular interactions.

REFERENCES

1. *Batov D.V., Mochalova T.A., Petrov A.V.* Opisanie i prognozirovanie temperatur vspyshki slozhnyh jefirov v ramkah additivno - gruppovogo metoda // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2010. T. 19. Vyp. 2. S. 15–18.
2. *Batov D.V., Mochalova T.A., Petrov A.V.* Ispol'zovanie additivno-gruppovogo metoda dlja rascheta temperatury vspyshki spirtov, ketonov i slozhnyh jefirov // *Zhurn. prikl. himii*. 2011. T. 84. Vyp. 1. S. 55–60.
3. *Korol'chenko A.Ja.* *Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov i sredstva ih tushenija: Sprav. izd.: v 2 knigah; kn. 1/ A. N. Baratov, A. Ja. Ko-rol'chenko, G. N. Kravchuk i dr. M.: Himija, 1990. 496 s.*
4. *Korol'chenko A.Ja.* *Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov i sredstva ih tushenija: Sprav. izd.: v 2 knigah; kn. 2/ A. N. Baratov, A. Ja. Ko-rol'chenko, G. N. Kravchuk i dr. M.: Himija, 1990. 384 s.*
5. *Korol'chenko A.Ja., Korol'chenko D.A.* *Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov i sredstva ih tushenija. Spravochnik: v 2-h ch. – 2-e izd., pererab. i dop. M.: Ass. «Pozhnauka», 2004. Ch. 1. 713 s.*
6. *Korol'chenko A.Ja., Korol'chenko D.A.* *Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov i sredstva ih tushenija. Spravochnik: v 2-h ch. – 2-e izd., pererab. i dop. M.: Ass. «Pozhnauka», 2004. Ch. 2. 774 s.*
7. Acros Organics. – Rezhim dostupa: <http://www.acros.com/>.
8. *Karcev V.N., Zabelin V.A., Shtykova L.S.* *Mezhmolekuljarnye vzaimo-dejstvija i ob#jomnye svojstva zhidkih n-alkanov i n-spirtov // Voprosy prikladnoj fiziki. 1998. Vyp.4. S.92–94.*
9. *Shahparonov M.I., Sperkach V.S.* *Teorija vjazkosti zhidkостей. II Kineticheskij kompensacionnyj jeffekt v n-alkanah // Zhurn. fiz. himii. 1980. T. 54. № 2. S. 312–315.*

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

10. *Lebedev Ju.A., Miroshnichenko Ju.A.* Termohimija paroobrazovanija organicheskikh veshhestv. Toploty isparenija, sublimacii i davlenie nasyshhennogo para. M.: Nauka, 1981. 216 s.

Батов Дмитрий Вячеславович

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

Ведущий научный сотрудник

Доктор химических наук

Старший научный сотрудник

ФГБУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук»,

Россия, г. Иваново

E-mail: bat21dv@yandex.ru

РИНЦ:http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=5730-0728

Batov Dmitriy Vjacheslavovich

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS,

Russian Federation, Ivanovo

Мочалова Татьяна Александровна

Заместитель начальника кафедры

Кандидат биологических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

РИНЦ:http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=742406

Mochalova Tatyana Aleksandrovna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Сторонкина Ольга Евгеньевна

Старший преподаватель

Кандидат химических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: Oleg1968@mail.ru

Storonkina Olga Evgen'evna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

УДК 628.511: 004.942

Н. Е. Егорова

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАШЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРАХ

С проблемой очистки воздуха от пыли сталкиваются многие предприятия разных отраслей промышленности. Пыль ухудшает условия труда, оказывает негативное влияние на долговечность работы оборудования, а отдельные виды пыли являются пожаро- и взрывоопасными. Поэтому поиск способов, позволяющих улучшить работу сепарации воздуха, является актуальным. Одним из путей повышения эффективности очистки воздуха является снижение турбулентности воздушных потоков, подаваемых на сепарацию. Для гашения турбулентных пульсаций предлагается применять вязкоупругое покрытие. Физико-технологические показатели покрытия оказывают непосредственное влияние на поведение воздушных потоков. Чтобы подобрать подходящие характеристики покрытия и оценить степень гашения турбулентности, предлагается провести численный эксперимент. Эксперимент должен базироваться на математической модели предлагаемого гасителя турбулентности. В работе подробно рассматриваются этапы построения данной математической модели и предлагается алгоритм ее применения для оценки эффективности гасителя турбулентности.

Ключевые слова: очистка воздуха от пыли, воздушный сепаратор, турбулентность, гашение турбулентности, математическая модель, волновое уравнение, численный эксперимент.

Многие отрасли промышленности при выполнении технологических процессов сталкиваются с выделением пыли. Это и текстильная, и химическая, и деревообрабатывающая, и пищевая, и другие отрасли.

Запыленность воздуха в рабочей зоне резко ухудшает условие труда рабочих, снижает их работоспособность, приводит к заболеваниям. Пыль загрязняет рабочие органы машин, что приводит к их преждевременному износу. Некоторые виды пыли по своему составу являются пожаро- и взрывоопасными. Например, взрывы текстильных пылей представляют большую опасность, так как часто влекут за собой не только большие материальные убытки, но и гибель людей [1].

Турбулентные воздушные потоки, возникающие в процессе очистки воздуха от пыли, отрицательно влияют на эффективность работы сепаратора. Из-за того, что турбулентные пульсации носят случайный характер, очень сложно заранее предсказать точное месторасположение пылинки в сепараторе и тем самым предугадать, будет ли она уловлена.

Способом гашения турбулентности является, например, уменьшение скорости подачи запыленного воздуха в сепаратор. Так как с возрастанием скорости ламинарное движение теряет свою устойчивость; при этом любые случайные малые возмущения, которые вначале вызывали лишь малые колебания вокруг устойчивого ламинарного движения, начинают быстро развиваться и приводят к турбулентному движению. Минусом такого способа гашения турбулентности является малая пропускная способность сепаратора, а значит, большие потери во времени.

Малый уровень турбулентных пульсаций частично достигается предотвращением отрывов потока на поворотах и в расширениях проточной части аэротрубы, а также путем создания схемы, работающей на свободное всасывание практически не возмущенного потока из очень большого помещения, объем которого значительно превосходит объем проточных частей установки [2].

Частичное гашение турбулентности также можно достичь при установке специальных детурбулизирующих устройств (сеток). Согласно [3], затухание турбулентности описывается выражением:

$$\langle u^2 \rangle = \langle u_0^2 \rangle \left(1 + 0,58 \frac{\sqrt{\langle u_0^2 \rangle}}{U_{cp}} \frac{x - x_0}{L_0} \right), \quad (1)$$

где $\langle u_0^2 \rangle$ и $\langle u^2 \rangle$ – интенсивность турбулентных пульсаций соответственно в точках x_0 и x ; L_0 – интегральный масштаб турбулентности, пропорциональный размеру M ячеек детурбулизирующих сеток; U_{cp} – средняя скорость потока.

Анализируя представленное выражение (1), можно сделать вывод, что чем мельче детурбулизирующие сетки, тем минимальнее возможный масштаб турбулентности после системы детурбулизации. Низкую степень турбулентности также обеспечивают большие расстояния $x - x_0$ от детурбулизирующих сеток до рабочего участка; при этом средняя скорость U_{cp} на этом расстоянии должна быть минимальной, что достигается созданием достаточно длинных форкамер, имеющих большие поперечные сечения.

Для гашения турбулентных пульсаций воздуха предлагается обтянуть внутренние стенки центробежного сепаратора упругой вязкой оболочкой. Турбулентный вихрь, натываясь на твердую неупругую стенку, отражается от нее, но при этом теряет очень незначительное количество энергии, то есть гашения турбулентности не происходит. Напротив, сталкиваясь с упругой вязкой стенкой, вихрь отражается от нее с гораздо меньшей скоростью, то есть происходит гашение пульсаций воздуха. Для более эффективного гашения турбулентности необходимо правильно подобрать технологические параметры гасителя (упругость, вязкость, масса и пр.).

Для моделирования турбулентности воздуха используем колебания конечной струны. Будем считать, что чем больше максимальное отклонение струны от положения равновесия, тем больше сила пульсаций воздуха, и наоборот, чем меньше максимальное отклонение струны, тем меньше энергия турбулентных пульсаций (рис. 1).

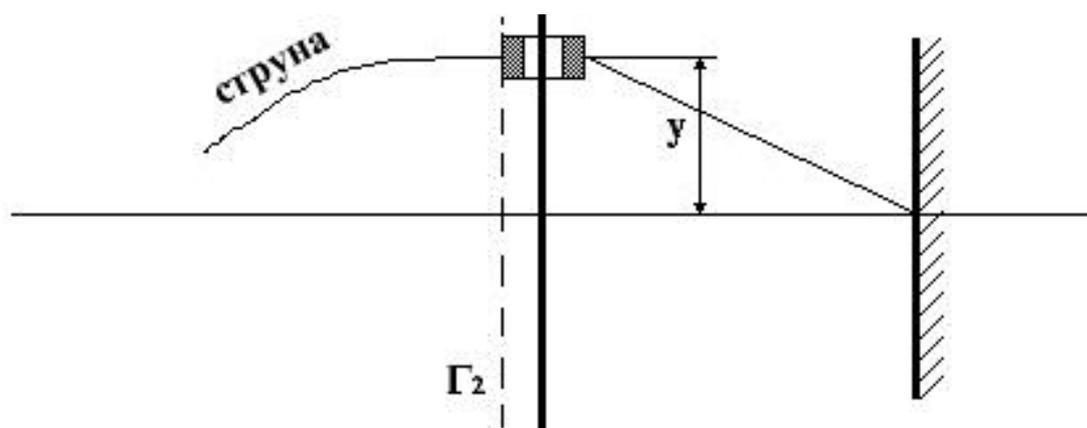


Рис. 1. Конструкция гасителя колебаний

Уравнение колебания струны выглядит следующим образом:

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где U – отклонение струны от положения равновесия, ρ – погонная плотность струны, T – натяжение струны.

Обозначив через $c^2 = \frac{T}{\rho}$ – квадрат скорости распространения волны, можно переписать уравнение (2):

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Пусть на границе Γ_1 струна закреплена жестко, а на границе Γ_2 расположен гаситель колебаний, а значит и пульсаций воздуха (рис. 1). Тогда граничные условия будут выглядеть следующим образом:

$$U|_{\Gamma_1} = 0, \quad U|_{\Gamma_2} - \text{гаситель колебаний.}$$

Гасителем служит некоторое цилиндрическое тело массой m , к которому с одной стороны жестко прикреплена струна, а с другой стороны цилиндр упруго прикреплен к стенке. Из-за колебания струны цилиндр может передвигаться по вертикальному штырю. Так как гаситель обладает массой, вязкостью и упругостью, он препятствует колебаниям струны, и те постепенно затухают.

Уравнение, описывающее движение гасителя, предлагается взять в следующем виде:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -c_1 y - \mu \frac{dy}{dt} - F, \quad (4)$$

где y – отклонение гасителя от положения равновесия, m – масса гасителя, c_1 – упругость, μ – коэффициент, пропорциональный вязкости, F – сила, действующая со стороны струны.

Если бы струна отсутствовала, то сила F равнялась бы нулю, и рассматриваемое уравнение (4) приняло бы вид:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c_1 y + \mu \frac{dy}{dt} = 0.$$

Это уравнение, описывающее свободное движение гасителя, имеет аналитическое решение $y = Ae^{-bt} \sin(\omega t + \varphi)$, где $\frac{c_1}{m} = \omega^2$, $\frac{\mu}{m} = 2b$. График этой функции показан на рис. 2. Как видно из рисунка, при отсутствии струны колебания гасителя со временем быстро затухают.

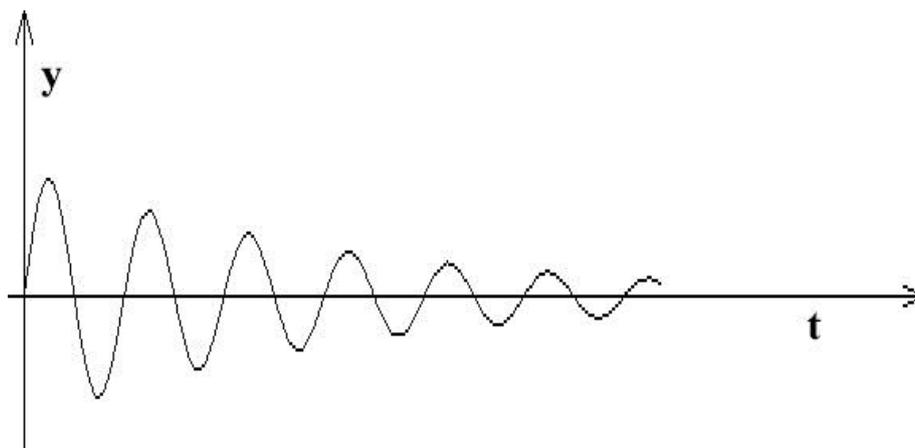


Рис. 2. Затухающие колебания гасителя

В нашем же случае струна препятствует скорому затуханию колебаний гасителя, и поэтому сила $F \neq 0$.

На рис. 3 показано, что на гаситель со стороны струны действует сила натяжения T . Но поскольку гаситель может двигаться только по вертикальному штырю, силу можно представить в виде произведения: $F = T \cdot \sin \alpha$.

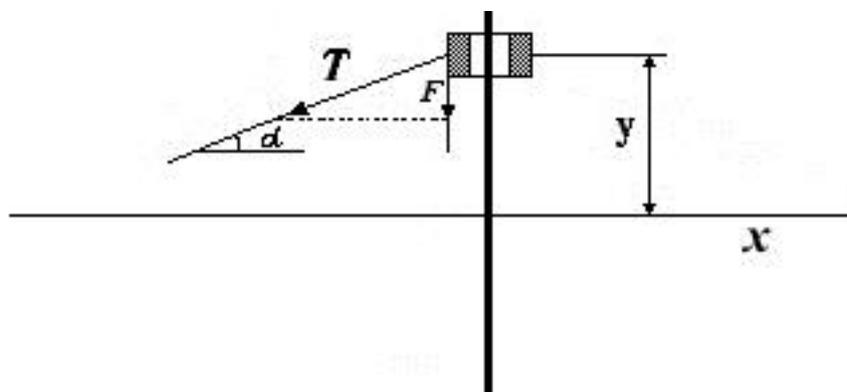


Рис. 3. Векторы сил, действующих на гаситель

При малых углах α имеем, что $\sin\alpha \ll \operatorname{tg}\alpha$, поэтому выражение для силы можно переписать: $F = T \cdot \operatorname{tg}\alpha$. В свою очередь тангенс угла наклона касательной совпадает с производной функции в точке касания, то есть $\operatorname{tg}\alpha = \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{\Gamma_2}$, что позволяет окончательно выразить силу, действующую со стороны струны:

$$F = T \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{\Gamma_2}. \quad (5)$$

Тогда граничное условие для уравнения (3) примет вид: $U|_{\Gamma_2} = y$.

Таким образом, для нахождения наиболее подходящих технологических параметров гасителя, требуется решить систему уравнений (3)–(5). Полученная система решается методом установления с применением явной разностной схемы.

Отрезок на оси x с границами Γ_1 и Γ_2 разбивается на n равных частей (рис. 4), при этом $n=2m$, где $m \in \mathbb{Z}$. Длину разбиения обозначается через h .

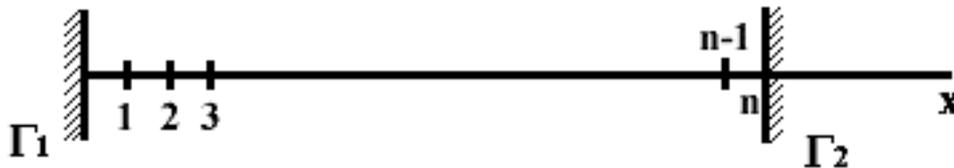


Рис. 4. Разбиение отрезка струны на интервалы

Тогда наши уравнения в конечно-разностной схеме примут вид:

$$\frac{U_i^{k+1} - 2U_i^k + U_i^{k-1}}{\tau^2} = c^2 \frac{U_{i+1}^k - 2U_i^k + U_{i-1}^k}{h^2}, \quad \text{где } i = 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

$$m \frac{y^{k+1} - 2y^k + y^{k-1}}{\tau^2} = -c_1 y^k - \mu \frac{y^{k+1} - y^k}{\tau} - F^k; \quad (7)$$

$$t^{k+1} = t^k + \tau; \quad (8)$$

$$F^k = T \frac{U_n^k - U_{n-1}^k}{h} - \text{силовое условие.} \quad (9)$$

Преобразуем уравнения (6) и (7), перенеся в левую часть слагаемые, относящиеся к новому моменту времени. Получим:

$$U_i^{k+1} = 2U_i^k - U_i^{k-1} + \left(\frac{c\tau}{h}\right)^2 (U_{i+1}^k - 2U_i^k + U_{i-1}^k), \quad \text{где } i = 1, \dots, n-1 \quad (10)$$

$$y^{k+1} = \frac{\left(2 + \frac{\tau\mu}{m} - \frac{c_1\tau^2}{m}\right)y^k - y^{k-1} + \frac{\tau^2}{m}F}{1 + \frac{\tau\mu}{m}}. \quad (11)$$

Из граничных условий к системе можно написать следующие дополнительные равенства:

$$U|_{\Gamma_1} = 0 \Rightarrow U_0 = 0, \quad (12)$$

$$U|_{\Gamma_2} = y \Rightarrow U_n = y.$$

Перед решением системы уравнений (8)–(12) задаются начальные условия. Если предположить, что в начальный момент времени струна находится в покое во всех точках разбиения, кроме одной, то

$$U_{i=\frac{n}{2}}^0 = 1, \quad U_i^0 = 0 \quad \text{при } i = 0, \dots, \frac{n}{2} - 1, \frac{n}{2} + 1, \dots, n.$$

Гаситель также пусть находится в покое: $y^0 = 0$.

Для выполнения первого шага вычислений и расчета y^1 и U_i^1 , при $i = 1, \dots, n$, положим, что $y^{-1} = y^0$ и $U_i^{-1} = U_i^0$, где $i = 1, \dots, n$.

Таким образом, для начала вычислений все данные подготовлены. Теперь необходимо решить вопрос о завершении итерационного процесса. Логично прекратить вычисления, когда полная энергия системы будет близка к нулю, то есть струна и гаситель окажутся в состоянии покоя. Поэтому при каждой итерации необходимо вычислять максимальное отклонение струны от положения равновесия.

$$U_{\max}^k = \max_{i=1, \dots, n} |U_i^k|.$$

Вычисления можно будет считать законченными, если максимальные отклонения $U_{\max}^k < \varepsilon$ и $U_{\max}^{k+1} < \varepsilon$, где ε – малая константа в условии прекращения вычислений. В программе вычисления прекращаются, когда максимальные отклонения в k -тый и $k+1$ -ый моменты времени будут меньше $3 \cdot 10^{-3}$.

Численный эксперимент показал, что построенная модель гашения колебаний струны позволяет исследовать влияние турбулентности на эффективность пылеулавливания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сусоева И.В., Букалов Г.К.* Оценка пожарной опасности технологического процесса получения хлопчатобумажной пряжи путём анализа дисперсности пыли // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 5 (359). С. 206.
2. *Репик Е.У., Соседко Ю.П.* Управление уровнем турбулентности потока. М.: Физматлит, 2002. 224 с.
3. Оптимальные условия управления интенсивностью турбулентности потока с помощью сеток / Г.И. Дербунович и др. // Механика неоднородных турбулентных потоков: сборник научных трудов. М.: Наука, 1989. 124 с.
4. *Егорова Н.Е., Ясинский Ф.Н.* Математическое моделирование рассеивания пыли в турбулентном воздушном потоке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2002. № 2 (266). С. 111–114.
5. *Егорова Н.Е., Смирнов А.Н., Ясинский Ф.Н.* К вопросу о снижении уровня турбулентности при помощи вязкоупругих пленок // Достижения Румынской текстильной промышленности. Ясский технический университет. 2004. № 5.
6. Математическое моделирование гашения турбулентности // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 3167 / Отраслевой фонд алгоритмов и программ. М., 2004.
7. *Сусоева И.В., Букалов Г.К., Спиридонов И.А.* Определение категории производственных помещений по взрывопожарной и пожарной опасности текстильного предприятия // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. 2012. №1(28). С. 64.
8. *Полосин И.И., Турбин В.С.* Обеспыливание технологических газов фильтрами с движущейся зернистой массой // Изв. вузов. Строительство, 2000. №5. С. 95–99.
9. *Шиляев М.И.* Методы расчёта и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования. Томск: ТГАСУ, 1999. 210 с.
10. *Сушко Е.А., Аксенов С.П.* Промышленная безопасность при проектировании систем пылеудаления дробильных производств // Научный вестник Воронеж, гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2008. № 2 (10). С. 162–173.

N. E. Egorova

MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF DAMPING OF TURBULENCE IN AIR SEPARATORS

The problem of air cleaning from dust is faced by many enterprises of different industries. Dust worsen working conditions, has a negative impact on the durability of the equipment, also certain types of dust are flammable and explosive. Therefore, the search for ways to improve the separation of air is important. One of the ways to improve the efficiency of air cleaning is to reduce the turbulence of air flow supplied to separation. It is proposed to apply a viscoelastic coating for damping of the turbulent pulsations. Physico-technological characteristics of the coating have a direct impact on the behavior of air flow. It is proposed to conduct a numerical experiment to select suitable properties of the coating and to estimate the degree of damping of turbulence. The experiment should be based on a mathematical model of the proposed damper of turbulence. The stages of construction of this mathematical model and the algorithm of its application for assessment of the effectiveness of damping of turbulence is discussed in details in the paper.

Keywords: air cleaning from dust, air separator, turbulence, damping of turbulence, mathematical model, numerical experiment.

REFERENCES

1. *Susoeva I.V., Bukalov G.K.* Ocenka požarnoj opasnosti tehnologi-cheskogo processa poluchenija hlochatobumazhnoj prjazhi putjom analiza dispersnosti pyli // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* 2015. № 5 (359). S. 206.
2. *Repik E.U., Sosedko Ju.P.* Upravlenie urovnem turbulentnosti potoka. M.: Fizmatlit, 2002. 224 s.
3. Optimal'nye uslovija upravlenija intensivnost'ju turbulentnosti potoka s pomoshh'ju setok / G.I. Derbunovich i dr. // *Mehanika neodnorodnyh turbulentnyh potokov: sbornik nauchnyh trudov.* M.: Nauka, 1989. 124 s.
4. *Egorova N.E., Jasinskij F.N.* Matematicheskoe modelirovanie rassei-vanija pyli v turbulentnom vozdushnom potoke // *Izv. vuzov. Tehnologija tek-stil'noj promyshlennosti.* 2002. № 2 (266). S. 111–114.
5. *Egorova N.E., Smirnov A.N., Jasinskij F.N.* K voprosu o snizhenii urovnja turbulentnosti pri pomoshhi vjazkouprugih plenok // *Dostizhenija Ru-mynskoj tekstil'noj promyshlennosti. Jasskij tehniceskij universitet.* 2004. № 5.
6. Matematicheskoe modelirovanie gashenija turbulentnosti // *Svidetel'stvo ob otraslevoj registracii razrabotki № 3167 / Otraslevoj fond algoritmov i programm.* M., 2004.
7. *Susoeva I.V., Bukalov G.K., Spiridonov I.A.* Opredelenie kategorii proizvodstvennyh pomeshhenij po vzryvopozharnoj i požarnoj opasnosti tekstil'nogo predpriyatija // *Vestnik Kostromskogo gos. technolog. un-ta.* 2012. №1(28). S. 64.
8. *Polosin I.I., Turbin V.S.* Obespylivanie tehnologicheskikh gazov fil'trami s

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

dvizhushhejsja zernistoj massoj // Izv. vuzov. Stroitel'stvo, 2000. №5. S. 95–99.

9. *Shiljaev M.I.* Metody raschjota i principy komponovki pyleulavli-vajushhego oborudovanija. Tomsk: TGASU, 1999. 210 s.

10. *Sushko E.A., Aksenov S.P.* Promyshlennaja bezopasnost' pri proektirovanii sistem pyleudalenija drobil'nyh proizvodstv // Nauchnyj vestnik Voronezh, gos. arh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2008. № 2 (10). S. 162–173.

Егорова Надежда Евгеньевна

Доцент

Кандидат физико-математических наук

Доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: ne_egorova@mail.ru

http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=177231

Egorova Nadezhda Evgenievna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

УДК 537.525

А. М. Ефремов, С. В. Беляев, Е. С. Титова

КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМЫ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ХЛОРИСТОГО ВОДОРОДА

Аннотация. Проведено модельное исследование кинетики и механизмов разложения хлористого водорода в газоразрядной плазме пониженного и атмосферного давления. Проанализированы вклады различных химических процессов в стационарные скорости образования и гибели как исходных молекул, так и продуктов плазмохимических реакций. Определены диапазоны условий, при которых наблюдаются максимальные значения степени диссоциации молекул HCl. Результаты работы могут найти применение для: 1) оптимизации режимов проведения процесса плазмохимической конверсии хлористого водорода; и 2) выработки практических рекомендаций по конструкции соответствующих плазмохимических реакторов.

Ключевые слова: хлористый водород, плазма, скорость реакции, степень диссоциации, плазмохимический реактор, регенерация, конверсия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Хлористый водород (HCl) представляет собой бесцветный химически активный газ с резким запахом, относящийся 3 классу опасности [1]. Постоянным техногенным источником хлористого водорода являются реакции хлорирования ($R-H + Cl_2 \rightarrow R-Cl + HCl$) и дегидрохлорирования ($R-Cl + R-H \rightarrow R-R + HCl$) органических соединений, которые лежат в основе многотоннажных промышленных процессов получения полимеров, пластических масс, фтор- и кремнийорганических соединений, глицерина и некоторых детергентов [2, 3]. Актуальность проблемы утилизации хлористого водорода связана с тем, что его востребованность в качестве исходного реагента много меньше объемов его производства. В настоящее время реализуются два направления утилизации хлористого водорода: 1) производство высокочистой соляной кислоты при абсорбции HCl водой; и 2) производство хлора электролизом соляной кислоты или прямым каталитическим окислением HCl [4]. Возможности первого направления лимитируются малой востребованностью и низкой транспортабельностью соляной кислоты. Развитие второго сдерживается недостаточной рентабельностью из-за высокой энергоемкости и сложности технологического цикла [5, 6]. Очевидно, что такая ситуация ставит задачу создания новых

методов утилизации (перевода в нетоксичные соединения) или конверсии (перевода в высоко востребованные соединения) хлористого водорода.

Современная химическая промышленность проявляет большой интерес к плазменным процессам переработки веществ. Идея таких процессов заключается в использовании газоразрядной плазмы, обеспечивающей неравновесную – под действием процессов электронного удара – активацию химических превращений исходных веществ. Это позволяет достигать высоких степеней конверсии при относительно малых энергозатратах [7–9]. В наших предшествующих работах [10, 11] было показано, что необходимым условием прямой (без привлечения дополнительных реагентов) плазмохимической утилизации хлористого водорода является достижение как можно больших степеней разложения (диссоциации) исходного газа в зоне плазмы.

Целью настоящей работы являлся анализ факторов, определяющих кинетику и степень диссоциации хлористого водорода в плазме тлеющего разряда.

2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Объектом модельных исследований служил плазмохимический реактор идеального смешения [10, 11]. Для определения взаимосвязей между входными параметрами процесса и концентрациями частиц в плазме использовалась глобальная (0-мерная) модель, оперирующая величинами, усредненными по объему реактора. Модель предусматривала совместное решение уравнений химической кинетики для каждого сорта нейтральных частиц (табл. 1) с задаваемыми характеристиками электронной компоненты плазмы. В частности, T_e принималась равной 1.5–2.0 эВ, что является типичным диапазоном для стационарных газовых разрядов как при атмосферном, так и при пониженных давлениях [12, 13]. Концентрация электронов выступала в качестве свободного параметра модели, отражающего изменение уровня электрической мощности, вкладываемой в плазму. Диапазон варьирования n_e составлял 10^9 – 10^{12} см⁻³. Также в качестве свободного параметра модели выступала начальная концентрация частиц в реакторе N , которая изменялась в диапазоне 10^{16} – 10^{19} см⁻³. Нижняя граница этого диапазона соответствует давлениям газа в реакторе ~ 100 Па, а верхняя – атмосферному давлению.

Таблица 1. Кинетическая схема плазмохимических процессов в хлористом водороде

№ п/п	Реакция	<i>k</i>	
R1	$\text{HCl} + e \rightarrow \text{H} + \text{Cl} + e$	$f(T_e), T_e = 2 \text{ эВ}$	
R2	$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H} + \text{H} + e$	$f(T_e), T_e = 2 \text{ эВ}$	
R3	$\text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl} + \text{Cl} + e$	$f(T_e), T_e = 2 \text{ эВ}$	
R4	$\text{HCl} + \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}$	3.16×10^{-20}	
R5	$\text{HCl} + \text{H} \rightarrow \text{Cl} + \text{H}_2$	6.31×10^{-14}	
R6	$\text{H}_2 + \text{Cl} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}$	3.98×10^{-14}	
R7	$\text{Cl}_2 + \text{H} \rightarrow \text{HCl} + \text{Cl}$	6.31×10^{-12}	
R8	$\text{Cl} + \text{Cl} + \text{M} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{M}$	M=HCl	5.21×10^{-32}
R9		M=H ₂	
R10		M=Cl ₂	
R11	$\text{H} + \text{H} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2 + \text{M}$	M=HCl	1.00×10^{-32}
R12		M=H ₂	
R13		M=Cl ₂	
R14	$\text{H} + \text{Cl} + \text{M} \rightarrow \text{HCl} + \text{M}$	M=HCl	5.13×10^{-32}
R15		M=H ₂	
R16		M=Cl ₂	
R17	$\text{Cl} \rightarrow \text{Cl(s)} + \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2$ $+ \text{H} \rightarrow \text{HCl}$	$f(\gamma), \gamma = 0.05$	
R18	$\text{H} \rightarrow \text{H(s)} + \text{Cl} \rightarrow \text{HCl}$ $+ \text{H} \rightarrow \text{H}_2$	$f(\gamma), \gamma = 0.01$	

Примечание: размерность констант скоростей R4–R7 см³/с, R8–R16 см⁶/с.

Константы скоростей реакций под действием электронного удара (R1-R3) определялись по известным сечениям диссоциации [14, 15] в предположении о максвелловской функции распределения электронов по энергиям. Константы скоростей атомно-молекулярных реакций (R4-R7) и реакций объемной рекомбинации атомов и радикалов (R8-R16) доступны по справочным данным [16, 17]. При выборе конкретных значений полагалось, что температура газа в реакторе составляет 400 К. Константы скорости гетерогенной рекомбинации атомов хлора и водорода (R17, R18) оценивались с использованием литературных данных по вероятностям рекомбинации γ [18, 19]. Методика расчета приведена в наших работах [10, 11].

Степень диссоциации хлористого водорода определялась как $\alpha = (n_{HCl}^1 - n_{HCl}^2) / n_{HCl}^1$, где индекс 1 соответствует начальной (до зажигания разряда) концентрации HCl в реакторе, а индекс 2 – стационарной концентрации в зоне плазмы.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчеты показали, что основные отличия областей низких ($N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$) и высоких ($N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$) давлений с точки зрения кинетики процессов образования и гибели нейтральных частиц в зоне электрического разряда являются различные вклады объемной и гетерогенной рекомбинации в общую скорость гибели атомов обоих сортов. Как можно видеть из рис. 1, в разрядах низкого давления выполняется условие $R_{17} + R_{18} \gg \sum_{i=8}^{16} R_i$, что соответствует абсолютному доминированию гетерогенной гибели атомов над соответствующими объемными процессами. В разрядах высокого давления имеет место обратная ситуация из-за снижения длины свободного пробега частиц и увеличения частоты их столкновений в объеме плазмы.

Общей чертой кинетики плазмохимических процессов в хлористом водороде во всем исследованном диапазоне условий является то, что стационарные концентрации нейтральных частиц в большей степени определяются атомно-молекулярными процессами R4-R7, чем рекомбинацией атомов. Так, например, для атомов хлора $R_5 \approx R_6$, но $R_7 \gg R_4$ в силу различий констант скоростей этих процессов. В результате, при близких значениях скоростей процессов R1 и R7, эффективная скорость генерации атомов хлора почти в 2 раза превышает R_1 . Основной вклад в скорость гибели атомов хлора вносит R_6 , при этом в области низких давлений $R_6 / R_{17} > 2$. Скорость генерации атомов водорода определяется только реакцией R1 в силу $R_3, R_4 \ll R_1$, однако при этом $R_5 + R_7 \gg R_{18}$. Такая ситуация приводит к диспропорционированию концентраций атомов с выполнением условия $n_{Cl} > n_H$ (рис. 2).

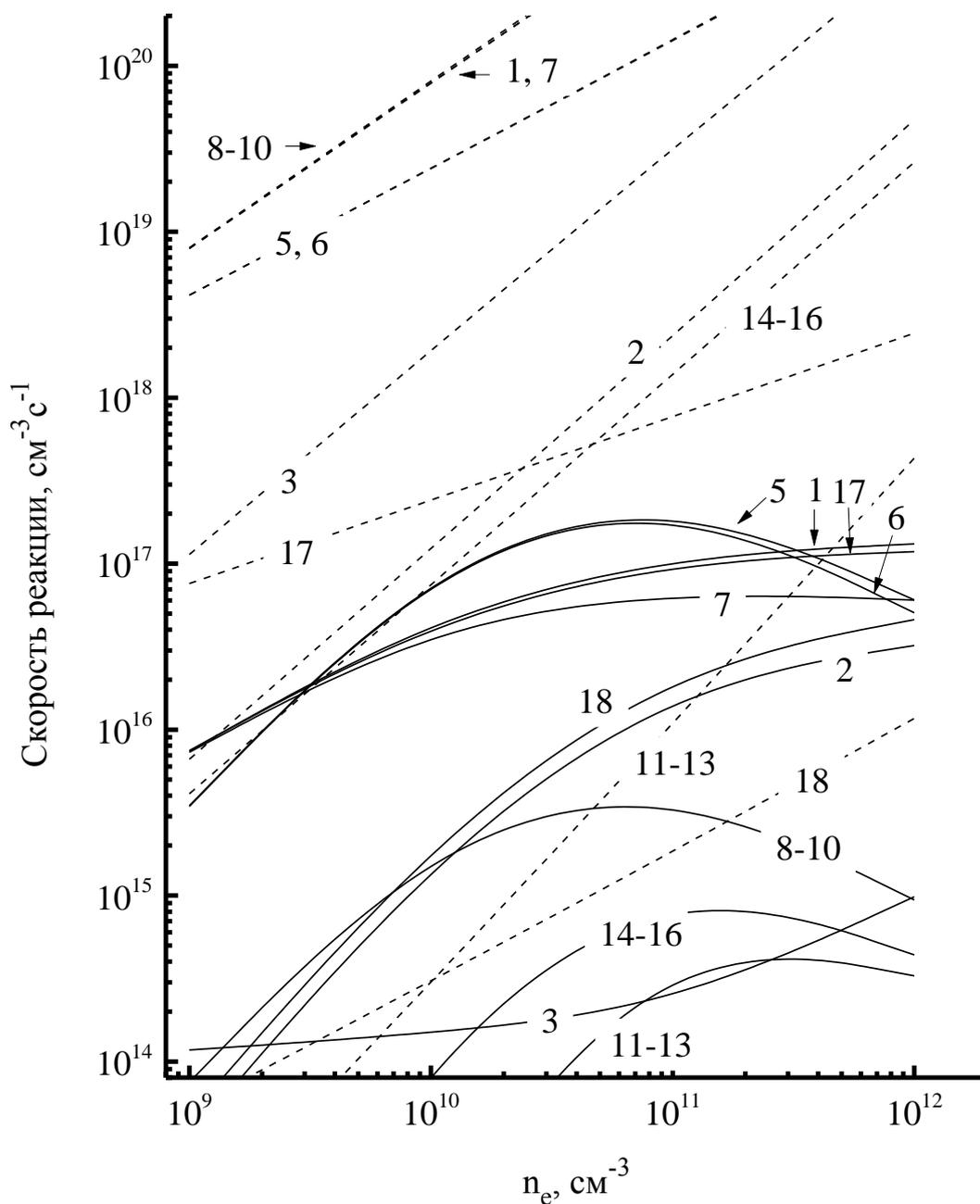


Рис. 1. Скорости процессов образования и гибели нейтральных частиц в плазме HCl при $N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ (сплошные линии) и $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ (пунктир). Метки на кривых соответствуют номеру реакции в табл. 1

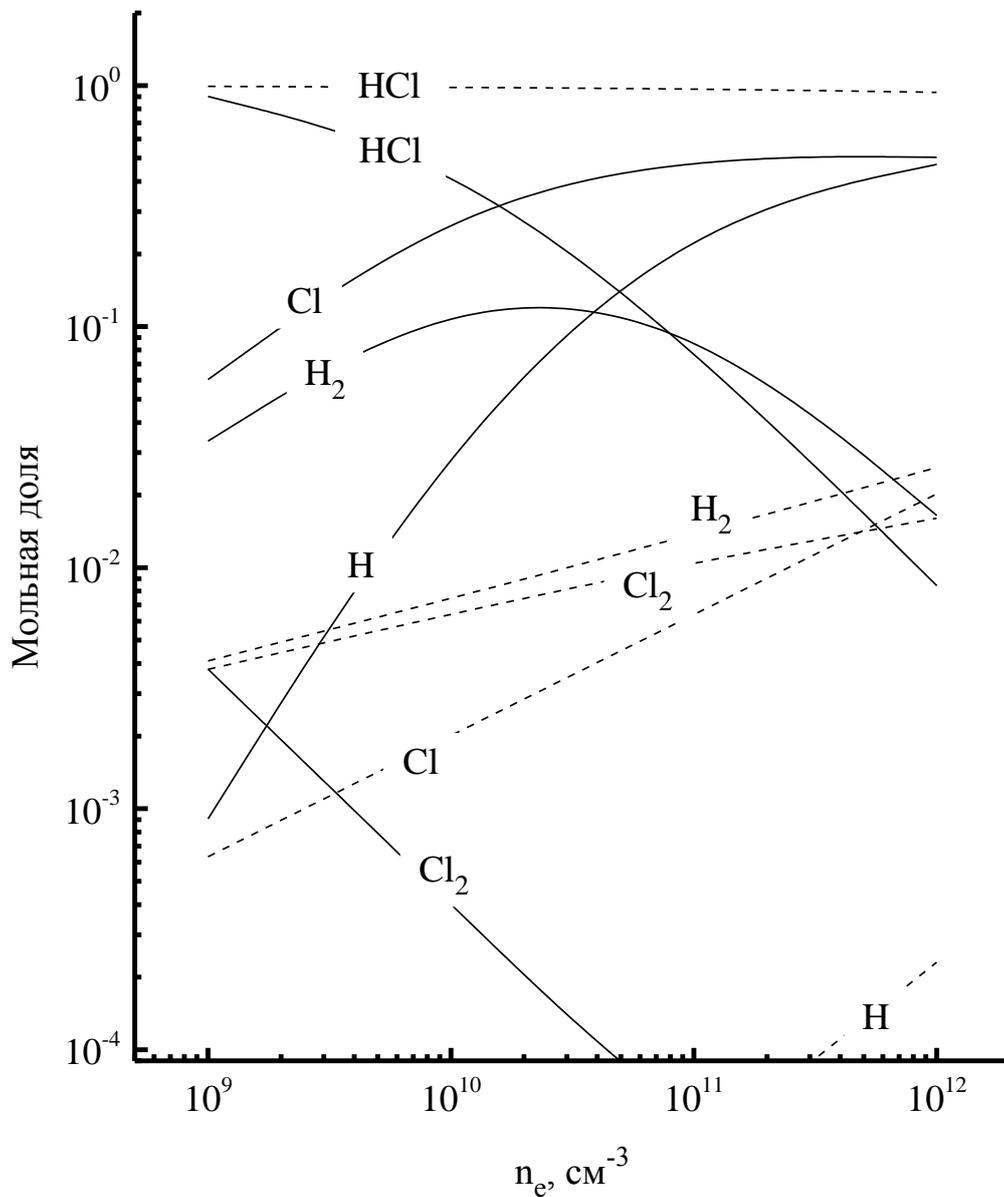


Рис. 2. Стационарные мольные доли нейтральных частиц в плазме хлористого водорода при $N = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (сплошные линии) и $N = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (пунктир)

Отметим также, что величина отношения $n_{\text{Cl}}/n_{\text{H}}$ качественно одинаково зависит от концентрации электронов (электрической мощности, вкладываемой в плазму) в областях низкого и высокого давления – снижается с ростом n_e . Тем не менее, количественные характеристики этих зависимостей существенно различаются. Так, в области низкого давления, при $N = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, увеличение n_e

в диапазоне 10^9 – 10^{12} см⁻³ сопровождается снижением параметра n_{Cl}/n_H от 66.6 до 1.1, то есть более чем в 60 раз. Это обеспечивается резким ростом величины n_H (рис. 2) за счет совместного действия двух факторов: 1) увеличения скорости образования атомов водорода за счет диссоциации молекул H₂ по механизму R2; и 2) уменьшения скорости гибели атомов водорода в реакции R7 из-за снижения концентрации молекул Cl₂. Причиной последнего эффекта является увеличение скорости диссоциации молекул хлора электронным ударом в R3. В области высоких давлений, при $N = 10^{19}$ см⁻³, аналогичное изменение концентрации электронов приводит к $n_{Cl}/n_H = 604$ – 88 , что соответствует менее чем семикратному снижению этого параметра. Низкая чувствительность отношения n_{Cl}/n_H к концентрации электронов в плазме высокого давления связана с тем, что величина n_{Cl} изменяется быстрее, а n_H – медленнее по сравнению с областью низких давлений. Оба этих эффекта обеспечиваются увеличением концентрации молекул хлора по причине их эффективного восстановления в реакциях R8–R10 (рис. 1). Соответственно, имеет место как увеличение скорости генерации атомов хлора по механизмам R3 и R7, так и увеличение скорости гибели атомов водорода в R7.

Из рис. 2 можно видеть, что сочетание низких давлений газа и высоких уровней мощности, вкладываемой в разряд, позволяет достигать степеней диссоциации молекул HCl до 98%. Очевидно, что при этом выполняется условие $n_{Cl}, n_H \gg n_{HCl}$, то есть концентрации продуктов диссоциации выше концентраций исходных молекул. В разрядах атмосферного давления при аналогичных внешних параметрах разряда величина α изменяется в диапазоне 0.8–5.3%, при этом концентрации продуктов диссоциации, среди которых доминируют не атомарные, а молекулярные частицы, существенно ниже концентраций исходных молекул HCl. Такое различие связано с тем, что с ростом давления газа происходит резкое увеличение скоростей атомно-молекулярных процессов R6 и R7, приводящих к восстановлению HCl. Более высокие концентрации молекулярных продуктов здесь связаны с эффективной рекомбинацией атомов в объеме плазмы по механизмам R8–R16.

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что для достижения больших степеней диссоциации, особенно в области высоких давлений, необходимо привлекать дополнительные механизмы диссоциации HCl, не связанные с электронным ударом. Одним из таких механизмов может являться окислительная деструкция в смеси хлористого водорода с кислородом, обеспечиваемая процессами вида $HCl + O \rightarrow Cl + OH$, $HCl + O(^1D) \rightarrow Cl + OH$ и $HCl + OH \rightarrow Cl + H_2O$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование кинетики процессов образования и гибели нейтральных частиц в газоразрядной плазме хлористого водорода. Установлено, что стационарные концентрации продуктов диссоциации HCl в значительной степени определяются объемными атомно-молекулярными процессами. Более высокие скорости атомно-молекулярных процессов в области высоких давлений приводят к доминированию молекулярных продуктов диссоциации над атомарными, а также к высоким скоростям восстановления исходных молекул. По этой причине степени диссоциации, достигаемые в плазме низкого давления, значительно выше аналогичных значений для плазмы высокого давления. Сделано предположение, что для достижения больших степеней диссоциации необходимо привлекать дополнительные механизмы диссоциации HCl, не связанные с электронным ударом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология / под ред. Л.И. Цветковой. М.: Изд-во АСВ; СПб.: Химиздат, 1999. 488 с.
2. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. 3-е изд., перераб. М.: Химия, 1981. 234 с.
3. Промышленные хлорорганические продукты / под ред. Л.А. Ошина. М.: Химия, 1978.
4. *Левинский М.И., Мазанко А.Ф., Новиков И.Н.* Хлористый водород и соляная кислота. М.: Химия, 1985. 160 с.
5. Обзор рынка хлора в СНГ и прогноз его развития в условиях финансового кризиса. М.: Исследовательская группа ИнфоМайн, 2009. 98 с.
6. *Якименко Л.М.* Электрохимические процессы в химической промышленности: производство водорода, кислорода, хлора и щелочей. М.: Химия, 1981. 323 с.
7. Низкотемпературная плазма, Т. 4. Плазмохимическая технология. Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение, 1991. 392 с.
8. *Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С.* Химия высоких энергий. М.: Химия, 1988. 368 с.
9. *Сурис А.Л.* Плазмохимические процессы и аппараты. М.: Химия, 1989. 304 с.
10. *Ефремов А.М., Беляев С.В., Титова Е.С.* Плазмохимическая конверсия опасных газов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов X Международной научно-практической конференции, Иваново, 26–27 ноября 2015 г.: Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2015. 420 с.

11. *Ефремов А.М., Беляев С.В., Тутова Е.С.* О влиянии температуры газа на кинетику нейтральных частиц в газоразрядной плазме хлористого водорода // Известия Вузов. Химия и хим. технология. 2015. Т. 58. Вып. 12. С. 25–29.
12. *Lieberman M. A., Lichtenberg A. J.* Principles of plasma discharges and materials processing, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994. 450 p.
13. *Conrads H., Schmidt M.* Plasma generation and plasma sources // Plasma Sources Sci. Technol. 9. 2000. P. 441–454.
14. *Morgan W.L.* A critical evaluation of low energy electron impact cross sections for plasma processing modeling. I: Cl₂, F₂ and HCl // Plasma Chemistry and Plasma Processing 12. 1992. P. 449.
15. *Efremov A.M., Svetsov V.I., Balashov D.I.* Compilation of cross section data of elementary processes of HCl applicable for plasma modeling // Contrib. Plasma Phys. 39. 1999. P. 247–250.
16. *Кондратьев В.Н.* Константы скоростей газофазных реакций (Справочник). М: Наука, 1971. 351 с.
17. NIST Chemical Kinetics Database <http://kinetics.nist.gov/kinetics/index.jsp>
18. *Kota G.P., Coburn J.W., Graves D.B.* The recombination of chlorine atoms at surfaces // J. Vac. Sci. Technol. A 16. 1998. P. 270.
19. *Wood B.J., Wise H.* Kinetics of hydrogen atom recombination on surfaces // J. Phys. Chem. 65. 1961. P. 110.

A. M. Efremov, S. V. Beljaev, E. S. Titova

KINETICS AND MECHANISMS OF PLASMA-CHEMICAL DECOMPOSITION OF HYDROGEN CHLORIDE

Conducted model study of the kinetics and mechanisms of decomposition of hydrogen chloride in gas-discharge plasma of low and atmospheric pressure. Analyzes the contributions of various chemical processes in the fixed rate of formation and destruction as a source of molecules and products of plasma-chemical reactions. Defined ranges of conditions under which the observed maximum values of the degree of dissociation of HCl molecules. The results can find application for: 1) optimization of the process of plasma-chemical conversion of hydrogen chloride; and 2) develop practical recommendations for the construction of the relevant plasma-chemical reactors.

Keywords: hydrogen chloride, plasma, reaction rate, degree of dissociation, chemical reactor, regeneration, conversion.

REFERENCES

1. Jekologija / pod red. L.I. Cvetkovej. M.: Izd-vo ASV; SPb.: Himizdat, 1999. 488 s.
2. *Lebedev N.N.* Himija i tehnologija osnovnogo organicheskogo i neftehimicheskogo sinteza. 3-e izd., pererab. M.: Himija, 1981. 234 s.
3. Promyshlennye hlororganicheskie produkty / pod red. L.A. Oshina. M.: Himija, 1978.
4. *Levinskij M.I., Mazanko A.F., Novikov I.N.* Hloristyj vodorod i soljanaja kislota. M.: Himija, 1985. 160 s.
5. Obzor rynka hlora v SNG i prognoz ego razvitija v uslovijah finansovogo krizisa. M.: Issledovatel'skaja grupa InfoMajn, 2009. 98 s.
6. *Jakimenko L.M.* Jelektrohimicheskie processy v himicheskoj promyshlennosti: proizvodstvo vodoroda, kisloroda, hlora i shhelocnej. M.: Himija, 1981. 323 s.
7. Nizkotemperaturnaja plazma, T. 4. Plazmohimicheskaja tehnologija. Novosibirsk: Nauka. Sib. Otdelenie, 1991. 392 s.
8. *Bugaenko L.T., Kuz'min M.G., Polak L.S.* Himija vysokih jenergij. M.: Himija, 1988. 368 s.
9. *Suris A.L.* Plazmohimicheskie processy i apparaty. M.: Himija, 1989. 304 s.
10. *Efremov A.M., Beljaev S.V., Titova E.S.* Plazmohimicheskaja konversija opasnyh gazov // Pozharnaja i avarijnaja bezopasnost': sbornik materialov X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ivanovo, 26–27 nojabrja 2015 g.: Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaja požarno-spasatel'naja akademija GPS MChS Rossii, 2015. 420 s.
11. *Efremov A.M., Beljaev S.V., Titova E.S.* O vlijanii temperatury gaza na kinetiku nejtral'nyh chastic v gazorazrjadnoj plazme hloristogo vodoroda // Izvestija Vuzov. Himija i him. tehnologija. 2015. T. 58. Vyp. 12. S. 25–29.

12. *Lieberman M. A., Lichtenberg A. J.* Principles of plasma discharges and materials processing, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994. 450 p.
13. *Conrads H., Schmidt M.* Plasma generation and plasma sources // Plasma Sources Sci. Technol. 9. 2000. R. 441–454.
14. *Morgan W.L.* A critical evaluation of low energy electron impact cross sections for plasma processing modeling. I: Cl₂, F₂ and HCl // Plasma Chemistry and Plasma Processing 12. 1992. R. 449.
15. *Efremov A.M., Svetsov V.I., Balashov D.I.* Compilation of cross section data of elementary processes of HCl applicable for plasma modeling // Contrib. Plasma Phys. 39. 1999. R. 247–250.
16. *Kondrat'ev V.N.* Konstanty skorostej gazofaznyh reakcij (Spravochnik). M: Nauka, 1971. 351 s.
17. NIST Chemical Kinetics Database <http://kinetics.nist.gov/kinetics/index.jsp>
18. *Kota G.P., Coburn J.W., Graves D.B.* The recombination of chlorine atoms at surfaces // J. Vac. Sci. Technol. A 16. 1998. R. 270.
19. *Wood B.J., Wise H.* Kinetics of hydrogen atom recombination on surfaces // J. Phys. Chem. 65. 1961. R. 110.

Ефремов Алексей Михайлович

Профессор

Доктор химических наук

Профессор

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Россия, г. Иваново

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Иваново

http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=3280

E-mail: amefremov@yandex.ru

Efremov Alexander Mikhailovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»,

Russian Federation, Ivanovo

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service

of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination

of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Беляев Сергей Валерьевич

Заведующий кафедрой

Кандидат химических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: Sergej_Belyaev@mail.ru

Belyaev Sergey Valerievich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service

of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination

of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

Титова Елена Станиславовна

Старший преподаватель

Кандидат химических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: EST2222@yandex.ru

Titova Elena Stanislavovna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

ГУМАНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ

УДК 378.1

А. В. Суравегин

**ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА КУРСАНТОВ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ МЧС РОССИИ**

Потребности рынка труда, задающие вектор развития современного образования, формируют своего рода модель, или эталон разносторонне развитого и компетентного в подавляющем спектре вопросов специалиста. Специалиста, который будет обладать навыками работы с современными техническими средствами, анализировать обстановку и принимать решение, способствующее достижению поставленной задачи в кратчайший отрезок времени. Такая модель будущего специалиста применима ко многим профессиям, но для специалистов, от знаний и умений которых будут зависеть жизни людей, данное правило является обязательным. Образование должно не только накопить у обучающихся арсенал знаний и умений, но и пробудить их стремление к самообразованию, приумножению качества практической реализации приобретенных знаний и способностей. Установление условий, способствующих созданию широкого спектра возможностей для формирования познавательного интереса курсантов образовательных учреждений МЧС России, поможет решить данную проблему. В данной статье рассматриваются педагогические условия процесса формирования познавательного интереса курсантов, выявленные в ходе исследования, проведенного нами в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Ключевые слова: деятельность; интерес; информационные технологии; культурная осведомленность; мотив; образование; познавательный интерес; педагогические условия; познавательная деятельность; творческая деятельность.

Современное общество характеризуется становлением информационной цивилизации, находят новое осмысление сложные и противоречивые процессы в жизни общества, обобщаются новые выдающиеся открытия в фундаментальных науках о мире, обосновывается новый тип социальной жизни. Большое внимание уделяется развитию творческих способностей личности, развитию интереса к профессиональной деятельности.

Актуальность формирования познавательного интереса обучаемых обусловлена социально-экономическими факторами развития инновационных процессов в образовании, большое внимание уделяется информационным технологиям. Важной целью образования является идея самореализации личности. Для выпускника высшего учебного заведения важно понимание, что стать ценным специалистом можно только получив высокую подготовку, владеть умениями и навыками, необходимыми в будущей профессии.

Общество нуждается в профессионалах, но на стадии получения той или иной профессии обучаемый должен проявить интерес, стремиться к получению прочных знаний. Обучаемые должны стремиться к тому, чтобы воспитать в себе важные качества, нужные в выбранной профессии. В данном случае имеет место волевая настроенность, внутренняя собранность, мотивация и познавательный интерес.

Познавательный интерес характеризуется эмоциональным отношением личности к изучаемым явлениям. Нами конкретизировано понятие «Познавательный интерес курсантов образовательных учреждений МЧС России»: это избирательная, личностно-мотивированная, эмоционально окрашенная направленность курсанта на получение глубоких и прочных специальных знаний в области пожарной безопасности, помогающая проявлению творческой активности при моделировании чрезвычайных ситуаций в процессе подготовки к будущей практической деятельности, характеризующаяся пониманием важности воспитания индивидуально-личностных качеств специалиста МЧС России.

В ходе исследования, проведенного нами в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, были выявлены следующие педагогические условия процесса формирования познавательного интереса курсантов:

- 1) применение информационных технологий в процессе системного взаимодействия субъектов образовательного процесса;
- 2) изучение социальных мотивов выбора курсантами будущей профессии, их интересов к различным изучаемым дисциплинам;
- 3) организация образовательной среды, создающей возможность реализации творчества преподавателей и курсантов;
- 4) использование активных методов обучения в процессе подготовки курсантов к будущей деятельности;
- 5) интеграция аудиторных и внеаудиторных занятий в процессе подготовки курсантов к будущей деятельности;
- 6) высокий уровень информационной грамотности и общекультурной осведомленности преподавателей и курсантов;

7) материально-техническое обеспечение, необходимое для творческого использования курсантами в процессе учебной деятельности и разработка методики его использования в процессе формирования познавательного интереса курсантов.

Обратимся к рассмотрению содержания и значимости педагогических условий процесса формирования познавательного интереса курсантов образовательных учреждений МЧС России.

Информационные технологии обеспечивают более совершенное управление процессом обучения и способствуют полноценному включению курсантов в инновационную деятельность, в результате реализуются их творческие способности. Данное условие обеспечивает также разработку цели, задач, содержания изучаемых дисциплин с использованием информационных технологий, с учетом их возможностей формирования познавательного интереса курсантов, что обеспечивает внесение организационных изменений в учебный процесс, в научно-методическое обеспечение познавательной деятельности курсантов, что способствует их активному творчеству. При данном условии формируются системные знания по дисциплинам, необходимым курсантам в их будущей практической деятельности. Важнейшим фактором развития познавательного интереса является содержание образования, которое стимулирует формирование данного интереса. Особая значимость цели, задач и содержания изучаемых специальных дисциплин состоит в том, что данные компоненты формируют у курсантов познавательный интерес к изучению этих дисциплин. В содержании образования необходимо как можно больше учитывать интересы курсантов, их личностные цели. Преподаватель может увеличить программный материал, включив в него новые темы, проводить больше практических занятий, что будет способствовать расширению диапазона специальных знаний курсантов и повысит уровень их познавательного интереса.

Программы по специальным дисциплинам нацелены на овладение курсантами необходимыми специальными знаниями и не предусматривают работу по формированию познавательного интереса курсантов. При изучении таких дисциплин как, например, «Пожарная техника», «Пожарная тактика» возможно повысить уровень познавательного интереса курсантов, чему способствует содержание данных дисциплин, предполагающее большую долю самостоятельной работы курсантов на практических и семинарских занятиях с использованием интерактивных методов обучения.

Чтобы процесс формирования познавательного интереса был успешным, необходимо изучение социальных мотивов выбора курсантами будущей профессии, их интересов к различным изучаемым дисциплинам. Формирование познавательного интереса происходит в активной деятельности курсантов,

которая для них социально и лично значима. Наличие социальных мотивов деятельности является важнейшей предпосылкой формирования познавательного интереса к учению. Познавательный интерес – это эффективный мотив самообразования. Если у курсанта сформирован познавательный интерес, то курсант испытывает определенное эмоциональное состояние, стремится к активному поиску знаний. Изучая мотивы и интересы курсантов, преподаватель более детально сможет раскрыть курсантам смысл их будущей практической деятельности, показать важность изучаемых дисциплин для будущей профессии курсантов.

Значимое условие – организация образовательной среды, создающей возможность реализации творчества преподавателей и курсантов.

Данное условие активизирует познавательную деятельность курсантов, что способствует формированию устойчивого познавательного интереса при изучении той или иной специальной дисциплины, так как на курсантов большое влияние оказывают отношения, которые складываются у них с преподавателем в процессе учебной деятельности. При данном условии создается психологический комфорт, атмосфера сотрудничества, коллективная деятельность курсантов. Успех деятельности преподавателя зависит от того, умеет ли он сочетать формальное и неформальное общение с курсантами, если такое общение приобретает характер сотрудничества, взаимоуважения. Неформальное общение с преподавателем пробуждает у курсантов познавательный интерес, демократичный стиль общения преподавателя стимулирует желание продуктивно изучать дисциплину, которую ведет преподаватель. При данном условии возрастает возможность оптимального сочетания различных заданий творческого характера и традиционных учебных заданий, что способствует формированию и развитию познавательного интереса курсантов, и их общему развитию.

В процессе диалога развиваются коммуникативные умения курсантов, совершенствуется их речь.

Очень важно использование активных методов обучения в процессе подготовки курсантов к будущей деятельности. К активным методам обучения относятся методы, помогающие реализовать способность обучаемых к более высокой активности в процессе обучения. Данное условие способствует формированию познавательного интереса, так как курсанты вовлекаются в активную учебно-познавательную деятельность, и значительно повышается уровень мотивации к учению. Активные методы обучения способствуют высокой степени самостоятельности курсантов, стимулируют инициативность, формируют умение добывания знаний, развивают творческие способности курсантов, стимулируют их мыслительную деятельность. С помощью активных методов обучения организуется активная учебно-познавательная деятельность

курсантов, в результате чего происходит формирование знаний, умений и навыков курсантов. Основой активных методов обучения является диалогическое взаимодействие преподавателя и курсантов. Для формирования устойчивого познавательного интереса целесообразно использовать метод индукции (от простого – к сложному, от частного – к общему). Преподаватель должен предлагать курсантам реально выполнимые задания, в процессе решения которых курсанты могут заниматься активной поисковой деятельностью. Можно предлагать выполнять старые задания в новой ситуации. Формирование познавательного интереса курсантов стимулируют интерактивные формы работы, такие как кейс-метод, деловые игры, ролевые игры, инсценировки телепередач, ситуационные задачи, круглые столы, разработки проектов, проведение исследований, организация работы парами, малыми группами. Процесс формирования познавательного интереса курсантов активизируется при использовании игровых имитационных активных методов, так как игровая форма способствует преодолению стереотипов, корректировке самооценки курсантов, снимается противоречие между учебным предметом и реальной практической деятельностью, увеличивается вовлеченность курсантов в учебный процесс, обратная связь становится насыщенной.

Для развития креативных способностей курсантов целесообразно интегрировать аудиторные и внеаудиторные занятия в процессе подготовки курсантов к будущей деятельности. В процессе реализации данного условия возможны встречи курсантов с ветеранами пожарного дела, приглашение для общения с курсантами должностных лиц МЧС России различного уровня. Все это способствует формированию познавательного интереса курсантов, развитию у них коммуникативных умений, приобретению курсантами опыта будущей практической деятельности специалиста МЧС России. Информационная грамотность субъектов образовательного процесса помогает совершенствовать управление педагогическим процессом и способствует включению курсантов в творческую деятельность, что повышает уровень познавательного интереса курсантов, повышает их творческую самореализацию. В настоящее время педагогический процесс рассматривается как явление культуры, поэтому необходимо развивать общую культуру курсантов, способствующую формированию общекультурной компетенции в процессе их профессиональной подготовки. Межкультурная осведомленность осведомленность охватывает вероисповедание, традиции, обычаи, искусство, одежду, поведение, взаимоотношение и т.д. тех регионов, из которых курсанты прибыли на обучение в образовательное учреждение.

Термин «Культурная осведомленность» употребляется для описания восприимчивости к осознанию культурно-побуждающего поведения в процессе коммуникации и включает в себя следующие характеристики:

- 1) осведомленность о своем культурно-побуждающем поведении;
- 2) осведомленность о культурно-побуждающем поведении других национальностей;
- 3) возможность объяснить особенности своей культуры.

В процессе формирования познавательного интереса курсантов необходимо расширять их знания о культуре речевого общения, приобщать их к народной художественной культуре, которая предполагает воспитание дружелюбия и уважения к людям разных национальностей, обычаев и традиций разных народов, проявление интереса к иной культуре.

Культурная осведомленность включает в себя:

- 1) глубокое овладение курсантами культурой своего народа как непереносимое условие интеграции в иные культуры;
- 2) формирование у курсантов представлений о многообразии культур в мире, воспитание понимания сходства национальных культур и положительного отношения к культурным различиям;
- 3) погружение курсантов в родную и иную культуру.

Повышение культурной осведомленности является одним из важных аспектов профессиональной подготовки курсантов. Это дает возможность расширить границы обучения и воспитания курсантов.

Материально-техническая база, необходимая для творческого использования курсантами в процессе учебной деятельности и разработка методического обеспечения процесса формирования познавательного интереса является одним из важных условий. Соблюдение данного условия помогает расширению и углублению профессиональных знаний курсантов, что способствует проявлению творческих возможностей курсантов, так как разнообразная техника предоставляет возможность использовать в учебной деятельности самые разнообразные формы занятий.

Соблюдение данных педагогических условий создает образовательную творческую среду, которая способствует совершенствованию процесса по формированию познавательного интереса курсантов образовательных учреждений МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганян Г.А. Виртуальные технологии менеджмента. Ереван: Нжар, 2005. 368 с.
2. Дзюбенко О.Л. Применение виртуальных симуляторов в обучении курсантов военного ВУЗа // Психология, социология и педагогика. 2012. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2012/07/942>, свободный.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

3. *Коровин В.М.* Основные принципы, методы и формы обучения курсантов в высшем военном учебном заведении: монография. Воронеж, ВИРЭ, 1999. 244 с.
4. Психология. Словарь. Изд.2-е, исправ. и доп. / под ред. А.В. Петровского и М.Т. Ярошевского. М.: Политиздат, 1990. 494 с.
5. *Решетова З.А.* Психологические основы профессионального обучения. М.: МГУ, 1985. 207 с.
6. *Рубинштейн С.Л.* Основы общей психологии. СПб.: Питер, 2002. 720 с.
7. *Суровегин А.В.* Методические возможности учебно-тренажерных комплексов в формировании познавательного интереса курсантов // Научный поиск. 2015. № 3. С 45.
8. *Суровегин А.В.* Формирование познавательной мотивации курсантов вузов МЧС России с использованием учебно-тренажерных комплексов // Вестник Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия Педагогические и психологические науки. 20 (39) 2015. ВлГУ, 2015. С.69–75.
9. Актуальные вопросы формирования интереса в обучении: учебное пособие для слушателей ФПК директоров общеобразовательных школ и в качестве учебного пособия по спецкурсу для студентов пед. институтов / Г.И. Щукина и др.; под. ред. Г.И. Щукиной. М.: Просвещение, 1984. 176 с.
10. *Щукина Г.И.* Педагогические проблемы формирования познавательных интересов учащихся. М.: Педагогика, 1988. 208 с.
11. *Щукина Г.И.* Проблема познавательного интереса в педагогике. М.: Педагогика, 1971. 297 с.
12. *Щукина Г.И.* Эксперимент как метод изучения познавательных интересов школьников // Педагогические проблемы формирования познавательных интересов учащихся. 1975. Вып.1. С.73–81.

A. V. Surovegin

PEDAGOGICAL CONDITIONS OF FORMATION OF COGNITIVE INTEREST OF STUDENTS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF EMERCOM OF RUSSIA

The needs of the labour market, defining the vector of development of modern education, form a kind of model or standard a diverse and competent in a vast range of specialist issues. Specialist, who will possess the skills to work with modern technical means, which will be able to analyze the situation and make a decision that contributes to the achievement of the task in shortest period of time. This model of a future specialist can be applied to many professions, but specialists from the knowledge and skills which will affect the lives of people, the rule is binding. Education should not only save students' knowledge and skills but also to awaken their desire for self-education, enhancement of quality of practical implementation of acquired knowledge and abilities. The establishment of conditions conducive to the creation of a wide range of possibilities for the formation of cognitive interest of students of educational institutions of EMERCOM of Russia will help to solve this problem. This article discusses pedagogical conditions of process of formation of cognitive interest of students identified in the study conducted by us in the Ivanovo fire and rescue Academy of EMERCOM of Russia the article considers the pedagogical conditions that contribute to the successful formation of cognitive interest of students of educational institutions of EMERCOM of Russia.

Keywords: activity; interest; information technology; cultural awareness; motif; education; educational interest; educational conditions; cognitive activity; creative activity.

REFERENCES

1. *Vaganjan G.A.* Virtual'nye tehnologii menedzhmenta. Erevan: Nzhar, 2005. 368 s.
2. *Dzjubenko O.L.* Primenenie virtual'nyh simuljatorov v obuchenii kursantov voennogo VUZa // Psihologija, sociologija i pedagogika. 2012. № 7 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2012/07/942>, svobodnyj.
3. *Korovin V.M.* Osnovnye principy, metody i formy obucheniya kursantov v vysshem voennom uchebnom zavedenii: monografija. Voronezh, VIRJe, 1999. 244 s.
4. Psihologija. Slovar'. Izd.2-e, isprav. i dop. / pod red. A.V. Petrovskogo i M.T. Jaroshevskogo. M.: Politizdat, 1990. 494 s.
5. *Reshetova Z.A.* Psihologicheskie osnovy professional'nogo obucheniya. M.: MGU, 1985. 207 s.
6. *Rubinshtejn S.L.* Osnovy obshhej psihologii. SPb.: Piter, 2002. 720 s.
7. *Surovegin A.V.* Metodicheskie vozmozhnosti uchebno-trenazhernyh kompleksov v formirovanii poznavatel'nogo interesa kursantov // Nauchnyj poisk. 2015. № 3. S 45.
8. *Surovegin A.V.* Formirovanie poznavatel'noj motivacii kursantov vuzov MChS Rossii s ispol'zovaniem uchebno-trenazhernyh kompleksov // Vestnik Vladimirskogo

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

gosudarstvennogo universiteta imeni Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaja Grigor'evicha Stoletovyh. Serija Pedagogicheskie i psihologicheskie nauki. 20 (39) 2015. VIGU, 2015. S.69–75.

9. Aktual'nye voprosy formirovanija interesa v obuchenii: uchebnoe posobie dlja slushatelej FPK direktorov obshheobrazovatel'nyh shkol i v kachestve uchebnogo posobija po speckursu dlja studentov ped. institutov / G.I. Shhukina i dr.; pod. red. G.I. Shhukinoj. M.: Prosveshhenie, 1984. 176 s.

10. *Shhukina G.I.* Pedagogicheskie problemy formirovanija poznavatel'nyh interesov uchashhihsja. M.: Pedagogika, 1988. 208 s.

11. *Shhukina G.I.* Problema poznavatel'nogo interesa v pedagogike. M.: Pedagogika, 1971. 297 s.

12. *Shhukina G.I.* Jeksperiment kak metod izuchenija poznavatel'nyh interesov shkol'nikov // Pedagogicheskie problemy formirovanija poznavatel'nyh interesov uchashhihsja. 1975. Vyp.1. S.73–81.

Суровегин Антон Вячеславович

Научный сотрудник

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: Sav_37@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=6731-3389

Surovegin Anton Vjacheslavovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»;
Russian Federation, Ivanovo

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 544.355 – 122: 532.00

А. В. Гордеева, А. И. Закинчак

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ В РЕГИОНЕ

Опасность возникновения кризисных явлений в регионе делает актуальной задачу построения комплексной системы мониторинга для анализа, оценки и выявления угроз безопасности региональной социально-экономической системе. Одной из основных функций системы обеспечения безопасности в регионе является проведение мониторинга безопасности, направленного на выявление потенциальных угроз. Реализация этой функции позволит улучшить региональную систему безопасности благодаря снижению вероятности реализации угроз природного, техногенного, социального и иного характера. Это возможно как за счет предупреждения и предотвращения факта их возникновения, так и за счет эффективной поддержки принятия решений при ликвидации этих угроз. За базу при создании подобной системы целесообразно брать уже существующие системы на отдельных предприятиях и относящиеся к отдельным ведомствам. Интеграция этих систем в единый комплекс – сложная задача, которая может быть реализована только в случае использования современных достижений информатизации и применения систем распределенных вычислений. Реализация предлагаемой комплексной системы мониторинга безопасности в регионе возможна в рамках реализуемой сейчас Государственной программы «Информационная среда». Основой при построении комплексной системы мониторинга безопасности региона должны стать ситуационные центры. Реализация комплексной системы мониторинга безопасности региона позволит существенно повысить уровень жизнеспособности и защищенности региональной социально-экономической системы от внешних и внутренних угроз

Ключевые слова: мониторинг, региональная безопасность, социально-экономическая система, жизнеспособность, ситуационный центр, поддержка принятия решений, моделирование, информационная политика, угрозы безопасности, базы данных.

Современные социально-экономические системы, такие как региональная система, обладают рядом особенностей, которые существенно усложняют процессы управления ими. Подобные системы сразу по многим критериям

принято относить к классу сложных систем, что накладывает определенные обязательства на элементы управления такой системой. Для обеспечения нормального функционирования и развития региона как сложной социально-экономической системы ключевую роль должна занимать система управления региональной безопасностью.

Одной из основных функций системы обеспечения безопасности в регионе является проведение мониторинга безопасности, направленного на выявление потенциальных угроз. Реализация этой функции позволит улучшить региональную систему безопасности благодаря снижению вероятности реализации угроз природного, техногенного, социального и иного характера. Это возможно как за счет предупреждения и предотвращения факта их возникновения, так и за счет эффективной поддержки принятия решений при ликвидации этих угроз.

Наибольшую актуальность имеет задача не только создания системы мониторинга, анализа и оценки безопасности, а также поддержки принятия решений, но и интеграции этой системы в структуру управления жизнедеятельностью региона.

Эта цель, на наш взгляд, подразумевает решение следующих задач:

- обеспечение сплошного мониторинга текущей ситуации в регионе по средствам оснащения объектов защиты современными средствами обеспечения безопасности и средствами контроля систем обеспечения жизнедеятельности;
- на законодательном уровне обеспечение представления информации органам власти в регионе и организациям, полномочным реагировать на возникающие угрозы;
- обеспечение информационного взаимодействия органов власти и сил реагирования при решении общих задач направленных на предотвращение возникающих угроз и сохранение целостности региональной социально-экономической системы.

В настоящее время существует немало систем, которые реализуют похожие задачи. Однако для большинства из них характерны следующие недостатки:

- низкие функциональные возможности системы, снижающие уровень выполняемых задач до выполнения отдельных функций без анализа общей обстановки на объекте контроля;
- отсутствие интеграции с базами данных оперативных служб силовых структур (МВД, МЧС, ФСО, ФСБ, Минобороны) и самими оперативными службами на уровне взаимодействия в рамках смежных систем;
- отсутствие системы определения точного местоположения, в случае приема сигнала от населения;

– отсутствие задач мониторинга состояния, анализа и прогноза угроз безопасности в сфере бизнеса, связи и финансов, энергетики, инженерных систем города, а также в информационной сфере и СМИ.

По нашему мнению, большинство разрабатываемых и существующих в настоящее время комплексных систем безопасности характеризуются ведомственной направленностью (разрабатываются в интересах задач, решаемых МВД, МЧС, Минтрансом) и, соответственно, существует прямая необходимость для создания единой межведомственной системы обеспечения безопасности жизнедеятельности в интересах органов исполнительной власти региона, которая могла бы учесть все существующие в регионе угрозы, которые являются потенциальными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций, объединив при этом все уже созданные системы безопасности и их элементы.

Кроме того, проблемы региональной безопасности зависят от изменения целей, задач и методов государственной политики в этой сфере. В государственной политике должна быть определена роль и место каждого региона в достижении общегосударственных интересов. Региональные же особенности определяют угрозы и опасности, которые влияют на безопасность не только региона, но и страны в целом.

Регион как хозяйственная система является частью территории, на которой функционирует и развивается система связей и зависимостей между предприятиями и организациями, расположенными здесь. Как составная часть народнохозяйственного комплекса регион может рассматриваться как ее социально экономическая подсистема, и одновременно как относительно самостоятельная часть с законченным циклом воспроизводства и определенной спецификой. В этой связи необходимо прорабатывать вопросы по интеграции систем безопасности отдельных объектов экономики в комплексную региональную систему безопасности. Это позволит повысить эффективность системы мониторинга угроз. В настоящее время подобная практика фактически отсутствует. Для устранения вышеуказанных недостатков, важно рассматривать создание на уровне региона ситуационного центра, который бы позволял не только отслеживать реальную ситуацию на территории, но и мог выдавать оперативный прогноз возникновения и реализации как природных, так и техногенных угроз, доступный внешним пользователям. Это потребует от системы расширенных возможностей для интеграции в уже функционирующие информационные ресурсы регионального уровня.

В связи с развитием информационных систем, в том числе охранного характера, а также каналов высокоскоростного доступа в сеть интернет, в настоящее время нет необходимости тратить значительные финансовые ресурсы на создание отдельной, комплексной системы мониторинга. Система

должна иметь модульную архитектуру и ядро, для функционирования которого рекомендуется использовать облачные технологии, а функциональность будет реализовываться на уровне отдельных пользователей в зависимости от их нужд и потребностей с разграничением доступа для особых видов информации. Подобный подход позволит получить на уровне государства единую интегрированную систему, но в тоже время сохранит отраслевую (ведомственную) специфику.

Региональная безопасность зачастую имеет определенную специфику, которая связана с географическим положением, климатом, степенью обеспеченности природными ресурсами, численностью населения, развитостью инфраструктуры, и пр. Соответственно, каждый регион с учетом его специализации сможет сформировать для себя собственные инструменты мониторинга безопасности, выделить наиболее вероятные формы этих угроз и уровень их проявления, так как в каждом регионе могут возникать свои угрозы, порождаемые внутренними факторами его пути развития.

При создании концепции обеспечения региональной безопасности, не противоречащей концепции развития страны, нужно учитывать следующие основные положения.

1. Безопасность региона – это системное свойство этого региона, позволяющее ему развиваться в условиях неопределенности и риска. Сущностным элементом региона является стабильное и устойчивое развитие в пределах региона, целостности системы. Целостность системы достигается на основе создания единой системы ценностей, целей и интересов каждого, жителя данного региона, целостного социума.

2. Одним из важнейших качеств региональной системы управления, которому необходимо уделить внимание, является жизнеспособность региона – это способность региона сохранять свои ключевые функции по отношению к ключевым потребителям ресурсов в существующей среде вне зависимости от внешнего воздействия.

3. Ключевым элементом системы регионального управления должна быть сформированная программа социально-экономического развития региона, реализующая при этом концепцию обеспечения безопасности. Концепция развития системы безопасности региона должна быть обязательным элементом и предусматривать определение таких направлений структурных преобразований, которые в первую очередь должны характеризоваться эффективностью по отношению к жизнеспособности и безопасности региона.

Заинтересованность органов государственного управления в данной системе объясняется необходимостью получения объективной информации об изменениях, происходящих в регионе, что является обязательным условием эффективного управления его развитием. Система мониторинга даст органам

регионального управления достоверную оперативную информацию для принятия эффективных управленческих решений в различных ситуациях для обеспечения выбора необходимой стратегии развития. Предлагаемый подход обеспечит качественное принятие решений всеми заинтересованными органами и структурами.

К основным стратегическим целям региональной информационной политики в сфере безопасности относятся:

1. Повышение эффективности управления системой безопасности региона за счет внедрения и массового распространения информационно-телекоммуникационной техники и технологий.

2. Создание условий для повышения степени жизнеспособности региона за счет приумножения культурного и научного потенциала в социально-экономической системе.

3. Обеспечение информационных потребностей населения региона в рамках реализации мер по обеспечению безопасности в регионе.

4. Превращение региональных информационных ресурсов в стратегический ресурс устойчивого и поступательного развития региона, направленного на совершенствование системы мониторинга в регионе.

5. Создание условий для интеграции региона в федеральную систему мониторинга безопасности и обмена в информационной сфере.

Для реализации этих целей, на наш взгляд, достаточно объединить уже существующие системы, произведя лишь незначительную модернизацию, необходимую для интеграции в единый комплекс мониторинга для региона. Кроме того, для экономии информационных ресурсов, целесообразно подключаться к отдельным системам лишь в случае возникновения необходимости, а саму систему региона модернизировать, с целью мониторинга дополнительных процессов, позволяющих получить более точную информацию об объекте мониторинга и о его окружении.

Одним из ключевых этапов в реализации предложенной концепции системы мониторинга безопасности в регионе должна стать комплексная интеграция информационной, аналитической, экспертной, прогнозной составляющей работы всех служб и структур региональных органов управления. Это позволит не только скоординировать их деятельность, но и позволит оптимизировать ресурсную обеспеченность. Кроме того, необходимо учитывать реализацию на региональном уровне государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)», что позволит сократить объемы ведомственного финансирования реализации предлагаемой системы за счет источников, запланированных на реализацию указанной программы, и позволит повысить интеграцию с уже существующими

информационно-телекоммуникационными системами за счет реализации в рамках мероприятий программы.

Но это лишь незначительная часть решения проблем управления региональной безопасностью, так как для комплексного решения требуется модернизация большинства действующих в регионе систем, адаптация их для функционирования в сетях с новой топологией, создание комплекса механизмов стимулирования развития системы и образующих её элементов. Для полноценного долгосрочного функционирования системы необходим постоянный контроль ее состояния, качества аналитических характеристик системы поддержки принятия решения, что напрямую зависит от полноты и достоверности получаемой информации, ее актуальности.

Очевидно, что для обеспечения функционирования комплексной системы безопасности имеется необходимость в единой структуре, реализующей адаптацию, координацию и информационно-аналитическое взаимодействие региональных органов власти, региональных структур федеральных ведомств и учреждений, хозяйствующих субъектов на территории региона, входящих в состав региональной информационно-аналитической сети.

Считаем целесообразным построение на этой основе ситуационных центров, которые сегодня являются одним из популярных способов оперативного управления информацией, позволит повысить эффективности деятельности органов управления. В дальнейшем, в регионах они могут стать основой построения систем более сложного уровня, которые сконцентрируют информационные потоки от множества обособленных систем оперативного контроля и управления. Использование современных алгоритмов прогнозирования и систем распределенных вычислений позволит повысить уровень комплексного анализа множества одновременных событий.

В органах государственного управления разного уровня подобные ситуационные центры могут создаваться и использоваться при принятии решений в кризисных ситуациях, проведения внешних и внутренних мероприятий по выработке комплексного решения с участием многих служб и структур. В рамках таких мероприятий особое внимание уделяется достоверности и релевантности информации, которая будет обеспечена благодаря предлагаемой концепции создания системы регионального мониторинга в сфере безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Закинчак А.И., Афанасьева А.В.* Управление регионом как многоуровневой системой: к вопросу о совершенствовании системы управления регионом // Российское предпринимательство. 2009. № 12–1. С. 176–182.

2. *Закинчак А.И.* Совершенствование системы обеспечения безопасности жилого фонда на региональном уровне // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 3 (16). С. 75–76.

3. *Закинчак А.И., Малова А.А.* Об особенностях осуществления арендных отношений в контексте обеспечения пожарной безопасности эксплуатации зданий и помещений // Многоуровневое общественное воспроизводство: вопросы теории и практики. 2013. № 1. С. 161–166.

4. *Закинчак Г.Н., Закинчак А.И., Золотов И.А.* Подходы к анализу и оценке эффективности процесса реформирования в регионах // Экономика образования. 2012. № 1. С. 127–129.

5. Концептуальный подход к анализу процесса реформирования структуры регионального хозяйства / Г.Н. Закинчак, А.И. Закинчак, И.А. Золотов и др. // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2014. № 4 (22). С. 31–33.

6. Тенденции и особенности развития сложных социально-экономических систем: региональный аспект / Г.Н. Закинчак и др. // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2015. № 1 (23). С. 43–46.

7. *Закинчак Г.Н., Закинчак А.И., Шестерикова Я.В.* К вопросу об оценке эффективности мероприятий по обеспечению пожарной безопасности // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2014. № 4. С. 51–57.

8. *Закинчак Г.Н., Закинчак А.И., Шестерикова Я.В.* Тенденции развития территориальных организационных форм экономики // Многоуровневое общественное воспроизводство: вопросы теории и практики. 2012. № 2 (19). С. 149–155.

9. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)»: Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 313 (ред. от 17.06.2015).

10. О безопасности: Федеральный закон от 28.12.2010 № 390-ФЗ (ред. от 05.10.2015).

A. I. Zakinchak, A. V. Gordeeva

THE QUESTION DEVELOPMENT OF INTEGRATED SECURITY MONITORING SYSTEM IN THE REGION

The risk of a crisis in the region makes the actual task of building an integrated monitoring system for analysis, assessment and identification of threats to the security of regional socio-economic system. One of the main functions of the security system in the region is the monitoring of security focused on identification of potential threats. Implementing this feature will improve regional security by reducing the likelihood of realization of threats of natural, technological, social and other nature. It is possible by avoiding and preventing their occurrence and through effective decision support in the elimination of these threats. As a base for building such a system is expedient to take existing systems at individual companies and specific departments. The integration of these systems into a single complex – a complex task that can be realized only in case of use of modern achievements of information and the use of distributed computing systems. Implementation of the proposed integrated system for monitoring security in the region possible within the framework of the State program «Information environment». The base for building a comprehensive system for monitoring the security of the region should be situational centers. Implementation of an integrated system for monitoring the security of the region will significantly improve the vitality and security of regional socio-economic system against external and internal threats.

Keywords: monitoring, regional security, the socio-economic system, viability, situation centre, support decision making, modeling, information policy, security threats, database.

REFERENCES

1. *Zakinchak A.I., Afanas'eva A.V.* Upravlenie regionom kak mnogourovnevoj sistemoj: k voprosu o sovershenstvovanii sistemy upravlenija regionom // Rossijskoe predprinimatel'stvo. 2009. № 12–1. S. 176–182.
2. *Zakinchak A.I.* Sovershenstvovanie sistemy obespechenija bezopasnosti zhilogo fonda na regional'nom urovne // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2015. № 3 (16). S. 75–76.
3. *Zakinchak A.I., Malova A.A.* Ob osobennostjah osushhestvlenija arendnyh otnoshenij v kontekste obespechenija pozharnoj bezopasnosti jekspluatacii zdaniy i pomeshhenij // Mnogourovnevoe obshhestvennoe vosпроизvodstvo: voprosy teorii i praktiki. 2013. № 1. S. 161–166.
4. *Zakinchak G.N., Zakinchak A.I., Zolotov I.A.* Podhody k analizu i ocnke jeffektivnosti processa reformirovanija v regionah // Jekonomika obrazovanija. 2012. № 1. S. 127–129.
5. Konceptual'nyj podhod k analizu processa reformirovanija struktury regional'nogo hozjajstva / G.N. Zakinchak, A.I. Zakinchak, I.A. Zolotov i dr. // Izvestija vysshih uchebnyh

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

zavedenij. Serija: Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom. 2014. № 4 (22). S. 31–33.

6. Tendencii i osobennosti razvitija slozhnyh social'no-jekonomicheskikh sistem: regional'nyj aspekt / G.N. Zakinchak i dr. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom. 2015. № 1 (23). S. 43–46.

7. Zakinchak G.N., Zakinchak A.I., Shesterikova Ja.V. K voprosu ob ocenke jeffektivnosti meroprijatij po obespecheniju pozharnoj bezopasnosti // Sovremennye naukoemkie tehnologii. Regional'noe prilozhenie. 2014. № 4. S. 51–57.

8. Zakinchak G.N., Zakinchak A.I., Shesterikova Ja.V. Tendencii razvitija territorial'nyh organizacionnyh form jekonomiki // Mnogourovnevoe obshhestvennoe vosproizvodstvo: voprosy teorii i praktiki. 2012. № 2 (19). S. 149–155.

9. Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federacii «Informacionnoe obshhestvo (2011–2020 gody)»: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 № 313 (red. ot 17.06.2015).

10. O bezopasnosti: Federal'nyj zakon ot 28.12.2010 № 390-FZ (red. ot 05.10.2015).

Закинчак Андрей Игоревич

Доцент

Кандидат экономических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, Иваново

E-mail: zakinchak@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3827-7884

Researcher ID: E-8250-2016

SPIN-код: 7426-9107

Zakinchak Andrej Igorevich

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Гордеева Анастасия Валериановна

Магистрант

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, Иваново

E-mail: nastushka.1989@mail.ru

Gordeeva Anastasija Valerianovna

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

УДК 614.8.084:614.86:656.08

И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, В. Ю. Курочкин

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ В РАСЧЁТЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБЩЕЙ ПОЛЬЗЫ ПРИ ВЫБОРЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В качестве основного оборудования, применяемого для операций по деблокированию пострадавших, осуществляемых пожарно-спасательными подразделениями при аварийно-спасательных работах, используется гидравлический аварийно-спасательный инструмент. В настоящее время более десяти отечественных и зарубежных фирм выпускают различные комплекты такого инструмента, отличающиеся по своим функциональным характеристикам. Выбор конкретного комплекта лицом, принимающим решение для комплектования, затруднителен. В статье приведён перечень работ, а также затрат по поддержанию аварийно-спасательного инструмента в постоянной готовности к оперативному применению, которые учитываются при рациональном выборе аварийно-спасательного оборудования. Поскольку наихудшим событием при выполнении аварийно-спасательных работ является временная потеря работоспособности (отказ) составных частей комплекта и связанной с этим возможное замедление скорости спасательных работ, ущерб от указанного отказа будет зависеть от смертности и тяжести заболеваний, связанных именно с замедлением скорости работ по деблокированию. Рассмотрен пример использования безразмерного показателя – относительной общей пользы – для выбора инструмента, расчёт которого основан на оценке показателей надёжности, стоимости жизни и затрат на предотвращение возникновения неисправностей инструмента при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Предложенный подход может дополнять представляемые фирмами-производителями результаты процедур подтверждения соответствия комплектов гидравлического спасательного инструмента нормативным требованиям.

Ключевые слова: выбор, гидравлический аварийно-спасательный инструмент, риск, вероятность отказа, ущерб, надёжность, общая польза.

На всем протяжении нашей жизни нас сопровождает выбор. Выбирая что-то, мы хотим лучшего, надёжного, долговечного, удобного. И порой затрудняемся перед выбором в пользу того или иного продукта или услуги. По каким критериям осуществляется этот выбор? По экономическому – чем меньше цена, тем лучше, по рациональному – надо выбрать тот продукт, который будет коррелировать по соотношению цена-качество или же по

перфекционистскому – неважно, сколько составляет стоимость продукта, а важно его качество, собственная жизнь и здоровье. Каждый выбирает для себя те критерии оценки, которые он сам считает значительными. Вместе с тем, темп и эффективность спасательных работ зависят от множества факторов [1], поэтому выбор предпочтений по параметрам стоимости и эффективности предлагаемых мер при ограниченных ресурсах имеет одно из первоочередных значений [2].

Но жизнь нам диктует свой, все нарастающий темп, на пути которого из-за несовершенства технологического парка предприятий промышленности возникают ЧС антропогенного или, другими словами, техногенного характера. В нашей стране это обусловлено эксплуатацией иногда морально устаревшего оборудования, часто произведённого ещё в бытность СССР. Поэтому перед руководством предприятий нередко возникает выбор: менять устаревшее оборудование на более современное или же оставить все как есть.

Аналогичные ситуации возникают и при управлении безопасностью на государственном уровне (Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Российской Федерации (МЧС России) не стало исключением). На министерском уровне осуществляется руководство всем материально-техническим оснащением подразделений МЧС России [3]. Но для оснащения необходима закупка. Перед лицом, принимающим решение, стоит задача, как её совершить (т.е. осуществить выбор) из всего многообразия специальной продукции, представленной на современном рынке. Например, из спасательного и специального оборудования, начиная с шанцевого инструмента и заканчивая механическим, пневматическим, пиропатронным, электрическим и гидравлическим аварийно-спасательным инструментом (ГАСИ).

ГАСИ является наиболее распространённым видом аварийно-спасательных средств, применяемых в МЧС России. В связи с этим возникает проблема выбора ГАСИ, для решения которой было разработано несколько методик, по средству применения которых совершался выбор инструмента на этапе анализа конкурсной документации, представляемой фирмами-производителями аварийно-спасательных средств. Тут-то мы и возвращаемся к извечному, нетривиальному вопросу выбора и решаем эту проблему исходя из собственных убеждений и опыта. Использование уже существующих методик не всегда представляется возможным, а подчас и нереальным, поскольку каждая из методик охватывает лишь часть показателей, опираясь на которые порой сложно сделать выбор в пользу одного или другого продукта.

Вследствие этого возникает необходимость определения комплексного критерия, который будет включать в себя наиболее важные характеристики выбираемого объекта.

Исходя из предположения, что лицо, принимающее решение (ЛПР) о приобретении того или иного оборудования, заинтересовано в покупке наиболее надёжных образцов, надёжность согласно ГОСТ 27.002-89 является одним из важнейших показателей, опираясь на который и необходимо совершать выбор. Надёжность в «узком» смысле слова, это свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение всего срока эксплуатации. Надёжность же в «широком» смысле принимают как комплексное свойство объекта, которое включает в себя понятия долговечность, безотказность, сохраняемость и ремонтпригодность. Для поддержания оборудования в надлежащем состоянии необходимо проводить планово-предупредительные мероприятия по его ремонту и обслуживанию.

Для проведения технического обслуживания [4] необходим специализированный пункт технического обслуживания, оборудованный специальным инструментом, приспособлениями и материалами, запасными частями и принадлежностями, контрольно-измерительными приборами и стендами.

Для проведения работ по техническому обслуживанию ГАСИ применяются:

- 1) источник энергии;
- 2) материалы для чистки инструмента;
- 3) заправочное оборудование;
- 4) оборудование и приборы для регулировки инструмента;
- 5) оборудование для проверки затяжки крепёжных элементов инструмента;
- 6) оборудование для заточки ножей кусачек и ножниц.

Для обеспечения надёжной работы ГАСИ необходимо выполнить его проверку:

- 1) подключить комплект измерительных приборов (манометров) в систему;
- 2) соединить все соединительные элементы (байонеты, муфты) и запустить источник энергии;
- 3) максимально открыть, а затем закрыть инструмент, предполагающий разжим, разрез, стяжку элементов конструкций, и проверить по манометрам уровень создаваемого давления; данные измерения должны соответствовать паспортным данным инструмента;
- 4) при выполнении открытия и закрытия инструмента необходимо проверить элементы крепления, режущие поверхности и т.п. на наличие повреждений и/или неисправностей;

5) сгенерировав рабочее давление, проверить при помощи манипуляций с рабочим инструментом все рукава высокого давления (РВД) и места их соединений на наличие повреждений и утечки рабочей жидкости.

После выполнения данных мероприятий можно приступать к техническому обслуживанию (ТО). Техническое обслуживание под собой подразумевает комплекс операций (смазочных, заправочных и т.п.) по поддержанию работоспособности и/или исправности оборудования при его применении, хранении и транспортировке.

Весь комплекс ТО [4] подразделяют на:

- 1) КО – контрольный осмотр;
- 2) ЕТО – ежедневное техническое обслуживание;
- 3) ТО-1 – техническое обслуживание № 1;
- 4) ТО-2 – техническое обслуживание № 2.

Результаты проведения ТО заносятся в соответствующий журнал учёта технического обслуживания, а также в формуляр инструмента.

Своевременное и качественное ТО должно обеспечивать:

- 1) постоянную готовность оборудования к применению;
- 2) безопасность при работе;
- 3) предупреждение преждевременного износа, неисправностей и поломки инструмента;
- 4) безотказную работу инструмента на протяжении всего срока его службы.

Основу ТО ГАСИ [4] составляет система планово-предупредительных мероприятий по осмотру и выполнению плановых работ через определённый период времени или через ограниченное число выполненных циклов работы инструмента.

Правильно организованные и выполняемые строго по установленным срокам и объемам технические обслуживания обеспечивают своевременное обнаружение и устранение неисправностей инструмента, а также причин, которые могут снизить постоянную техническую готовность инструмента.

Для технического обслуживания ГАСИ установлены следующие виды объёма работ и периодичность [4]:

- 1) контрольный осмотр (КО) перед началом работы инструмента, в ходе работ и после окончания работы – проводятся с целью проверки технического состояния инструмента;
- 2) ежедневное техническое обслуживание (ЕТО) проводится с целью подготовки инструмента к последующей эксплуатации;
- 3) техническое обслуживание № 1 (ТО-1) проводится через 50 циклов работы инструментом и через 25 моточасов работы гидростанций или при хранении не реже одного раза в месяц;

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

4) техническое обслуживание № 2 (ТО-2) проводится через 100 циклов работы инструментом и через 50 моточасов работы гидростанций или при хранении не реже одного раза в год;

5) сезонное техническое обслуживание СО проводится перед началом летней и зимней эксплуатацией для инструмента.

При технических обслуживаниях проверяется техническое состояние инструмента, устранение всех выявленных неисправностей и подготовка его к дальнейшей эксплуатации в соответствии с табл. 1.

Таблица 1. Периодичность технического обслуживания [4]

КО			ЕТО	ТО-1	ТО-2
до рабо- ты	во время работы	после рабо- ты	ежедневно	50 циклов	100 циклов
				25 моточасов	50 моточасов
				3 месяца при средней интенсивности эксплуатации при хранении один раз в месяц	6 месяцев при средней интенсивности эксплуатации при хранении один раз в год
Проверяется: отсутствие внешних повреждений инструмента, подтекание и наличие рабочих жидкостей, затяжки крепёжных деталей, чистота инструмента			проводится с целью подготовки инструмента к последующей эксплуатации	ЕТО + неполная разборка, смазка и сборка, очистка воздушного фильтра, отстойника топлива. Контроль работоспособности	ТО-1 + замена масла двигателя. Контроль работоспособности. Через ТО-2 проводится промывка гидробака станции

Все вышперечисленное определяет уровень затрат на предотвращение и снижение уровня техногенного риска [5], которые входят в состав показателя относительной общей пользы эксплуатации (на примере ГАСИ) [6]:

$$W = V / (G + B), \quad (1)$$

где: V – величина предотвращённого ущерба, руб., т.е. (оценка величины предотвращённого ущерба, который мог быть причинен в случае смертности или травматизма при ликвидации последствий ЧС); для упрощения расчётов мы принимали $V = U$;

U – ущерб (от гибели человека) в случае отказа ГАСИ;

G – затраты на предотвращение и снижение уровня техногенного риска (в первую очередь эксплуатационные затраты на обслуживание ГАСИ), руб.;

B – уровень техногенного риска, руб., который можно представить, как математическое ожидание ущерба от ГАСИ.

Здесь уровень техногенного риска (B) в стоимостном выражении (математическое ожидание ущерба) рассчитывается по формуле:

$$B = Q \times Y, \quad (2)$$

где: Q – вероятность отказа оборудования при использовании ГАСИ (в условиях ЧС).

Наихудшим событием при ликвидации последствий ЧС, а также проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) с использованием ГАСИ является его выход из строя (отказ) и, как следствие этого, снижение темпа спасательных работ. Ущерб от данного отказа (Y) будет напрямую зависеть от санитарных и безвозвратных потерь, причиной которых послужило снижение темпа АСиДНР.

Для наглядной демонстрации возможности использования формул (1) и (2) с целью рационального выбора исследуемых комплектов ГАСИ примем, что наихудшим событием при отказе инструмента будет потеря одной человеческой жизни (гибель в результате ЧС).

Поскольку стоимость жизни в Российской Федерации на законодательном уровне до сих пор не определена, то для расчёта Y можно воспользоваться показателем статистической стоимости жизни (ССЖ), применяемым в случае необходимости принятия решений на государственном уровне, в настоящее время ССЖ не применяется для принятия решений о компенсации за причинённый ущерб. Данный показатель более полно был рассмотрен в [7].

$$ССЖ = ВВП \times T_{cp} / N, \quad (3)$$

где: $ВВП$ – валовой внутренний продукт, руб. (например, валовой региональный продукт для Ивановской области составлял 152,18 млрд. руб. за 2013 г.);

N – численность населения в регионе: 1037079 человек; T_{cp} – средняя продолжительность жизни населения в регионе ($T_{cp} = 67,2$ года: 62,5 – мужчины, 72 – женщины). Данные приняты по сведениям Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Ивановской области (<http://ivanovo.gks.ru>).

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

Вместе с этим, согласно исследованиям, проведённым Центром стратегических исследований компании РОСГОССТРАХ (<http://www.rgs.ru/>), «стоимость» человеческой жизни составляет сегодня в России 3,6 млн. руб. (на конец 2014 г., исследование проводилось в 36 крупных и средних российских городах).

Относительная общая польза (W), приносимая ГАСИ при спасении одной человеческой жизни, может быть рассчитана при известных данных по затратам (G) на предотвращение отказов того или иного комплекта. Если же еще знать и реальные вероятности отказа оборудования (Q), то можно получить более достоверные данные для сравнения комплектов ГАСИ (причём, чем выше величина W , тем более надёжен и эффективен (относительно) тот или иной комплект ГАСИ). В проводимых расчётах W значения Q и P , характеризующие эксплуатационную надёжность инструмента, были приняты согласно данным, приведённым в [4].

Для выполнения технологических операций по деблокированию и извлечению пострадавших в качестве используемых ГАСИ нами были рассмотрены образцы, находящиеся в учебной пожарно-спасательной части (УПСЧ) Ивановской пожарно-спасательной академии (см. табл. 2).

Таблица 2. Пример использования показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования

Показатель	Наименование комплектов ГАСИ		
	«СПРУТ»	«ПРОСТОР»	«МЕДВЕДЬ»
Рабочее давление (max), МПа	80	60	80
Масса изделия, кг	14,5	14,0	18,1
Максимальное усилие резания, кН	360	290	220
Стоимость комплекта ГАСИ, руб.	515129	759684	1070287
Q	0,0099	0,0132	0,0241
P	0,9901	0,9868	0,9759
B , руб.	35640	47520	86760
G , руб.	59668	60291	59578
W	37,7	33,3	24,6

Из данных табл. 2 следует, что ЛПР не стоит принимать к рассмотрению вариант закупки (для замены) комплект ГАСИ «МЕДВЕДЬ» без доведения их показателей безотказности до допустимого уровня, а вариант закупки комплекта «СПРУТ» представляется предпочтительным из сравниваемых для оснащения пожарно-спасательных подразделений Федеральной противопожарной службы Ивановской области.

Таким образом, изложенный методический подход к оценке надёжного выбора ЛПР ГАСИ и другого пожарно-спасательного оборудования, основанный на расчёте риска отказа оборудования и общей относительной пользы применения, может дополнять представляемые фирмами-производителями результаты процедур подтверждения соответствия – для принятия рациональных управленческих решений по материально-техническому оснащению подразделений МЧС России, и он более прост по сравнению с предложенными в [8], [9] и [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations / M. Statheropoulos and others // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 75. Issue 1. Pp. 57–69. DOI: 10.1007/s.11069-014-1304-3.
2. *George Psarros, Rolf Skjong and Magnus S. Eide*. The acceptability of maritime security risk // *Journal of Transportation Security*. – 2009. Vol. 2. Issue 4. Pp. 149–163. DOI: 10.1111/j.1541-1338.2004.00080.x.
3. *Топольский Н.Г., Сатин А.П.* Методы и технологии повышения эффективности управления материально-техническим обеспечением противопожарной службы МЧС России // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2008. № 2. С. 74–83.
4. Справочные материалы для преподавателей и слушателей учебно-тренировочных комплексов МЧС России по подготовке спасателей к действиям при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 81 с.
5. Относительная общая польза – дополнительный комплексный критерий выбора пожарных рукавов / И.В. Сараев и др. // *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. № 4. С. 66–71.
6. Использование показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования / А.Г. Бубнов и др. // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. Т. 23. № 2. С. 50–55.
7. *Быков А.А.* О методологии оценки стоимости среднестатистической жизни человека // *Страховое дело*. 2007. № 3. С. 10–25.
8. *Филановский А.М., Иванов А.Н., Поляков А.С.* Сужение неопределенностей экспертных оценок эффективности гидравлического аварийно-спасательного инструмента // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России»*. 2013. № 2. С. 29–35.
9. *Филановский А.М., Поляков А.С.* Оценка параметров гидравлического аварийно-спасательного инструмента на основе метода анализа размерностей // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2012. Т. 22. № 2. С. 12–19.
10. *Тодосейчук С.П., Парамонов В.В.* Сравнительная оценка эффективности гидравлического инструмента для проведения аварийно-спасательных работ // *Технологии гражданской безопасности*. 2006. – Т. 3. № 1. С. 78–79.

I. V. Saraev, A. G. Bubnov, V. Yu. Kurochkin

OPERATING COSTS IN THE CALCULATION OF THE TOTAL AVAIL ADVANTAGE IN THE CHOICE OF RESCUE EQUIPMENT

The main equipment used for operations carried out by the victims deprotected fire-rescue teams used hydraulic rescue tool during rescue operations. Currently, more than a dozen domestic and foreign companies produce different sets of such tools differ in their functional characteristics. The choice of a particular set of the decision-maker for the acquisition, is difficult. This article provides a list of the works, as well as the costs of maintaining emergency rescue tools in constant readiness to operations, which accounted for rational choice of rescue equipment. Because the worst event in the performance of rescue operations is a temporary loss of working capacity (failure) the components of the kit and the associated, possible slowing rescue speed, the damage from the said failure will depend on the mortality and severity of diseases associated it with a slowdown of work on deprotected speed An example of the use of the dimensionless parameter - total avail advantage - to choice the tool, the calculation of which is based on an assessment of the reliability indicators, cost of living and the cost of preventing the emergence of a tool fault in the aftermath of emergencies. The proposed approach can supplement submitted by the manufacturers of the procedures of conformity assessment sets of hydraulic rescue tools to regulatory requirements.

Keywords: choice, damage hydraulic rescue tool, risk, probability of failure, reliability, total advantage.

REFERENCES

1. Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations / M. Statheropoulos and others // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 75. Issue 1. Rp. 57–69. DOI: 10.1007/s.11069-014-1304-3.
2. George Psarros, Rolf Skjong and Magnus S. Eide. The acceptability of maritime security risk // *Journal of Transportation Security*. – 2009. Vol. 2. Issue 4. Rp. 149–163. DOI: 10.1111/j.1541-1338.2004.00080.x.
3. *Topol'skij N.G., Satin A.P.* Metody i tehnologii povyshenija jeffektivnosti upravlenija material'no-tehnicheskim obespecheniem protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija*. 2008. № 2. С. 74–83.
4. *Spravochnye materialy dlja prepodavatelej i slushatelej uchebno-trenirovochnyh kompleksov MChS Rossii po podgotovke spasatelej k dejstvijam pri likvidacii posledstvij dorozhno-transportnyh proisshestvij*. M.: FGU VNII GOChS (FC), 2011. 81 с.
5. Otnositel'naja obshhaja pol'za – dopolnitel'nyj kompleksnyj kriterij vybora pozharnyh rukavov / I.V. Saraev i dr. // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2015. № 4. S. 66–71.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 1

6. Ispol'zovanie pokazatelej riska dlja vybora avarijno-spasatel'nogo oborudovaniya / A.G. Bubnov i dr. // Pozharovzryvobezopasnost'. 2014. T. 23. № 2. S. 50–55.

7. Bykov A.A. O metodologii ocenki stoimosti srednestatisticheskoy zhizni cheloveka // Strahovoe delo. 2007. № 3. S. 10–25.

8. *Filanovskij A.M., Ivanov A.N., Poljakov A.S.* Suzhenie neopredelennostej jekspertnyh ocenok jeffektivnosti gidravlicheskogo avarijno-spasatel'nogo instrumenta // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Cankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii». 2013. № 2. S. 29–35.

9. *Filanovskij A.M., Poljakov A.S.* Ocenka parametrov gidravlicheskogo avarijno-spasatel'nogo instrumenta na osnove metoda analiza razmernostej // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. 2012. T. 22. № 2. S. 12–19.

10. *Todosejchuk S.P., Paramonov V.V.* Sravnitel'naja ocenka jeffektivnosti gidravlicheskogo instrumenta dlja provedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot // Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2006. – T. 3. № 1. S. 78–79.

Сараев Иван Витальевич

Адъюнкт

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»;
Russian Federation, Ivanovo

Бубнов Андрей Германович

Профессор

Доктор химических наук

Доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»;
Russian Federation, Ivanovo

Курочкин Вадим Юрьевич

Старший преподаватель

Кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

E-mail: vyk@mail.ru

Kurochkin Vadim Yurevich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»;
Russian Federation, Ivanovo