

*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, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

- Батов Д. В., Мочалова Т. А., Сторонкина О. Е., Чеснокова Л. Н.* Температура вспышки бинарных смесей декан-изобутилметилкетон5
- Сизов А. П., Бубнов В. Б., Репин Д. С.* Использование статических герметизаторов в системах подачи огнетушащих веществ13
- Ширяев Е. В., Попов В. И.* Анализ частот реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий для насосов и технологических трубопроводов, транспортирующих нефтепродукты.....22

ПОЖАРОТУШЕНИЕ

- Годлевский В. А., Моисеев Ю. Н.* Трибологические проблемы пожарной техники31
- Ермилов А. В., Щеткин А. С., Гашиук К. А.* Особенности построения совмещенного графика развития и тушения пожара.....39
- Чистяков И. М., Шипилов Р. М.* Математическое описание временных характеристик процесса функционирования газодымозащитной службы50

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Натареев С. В., Быков А. А., Беляев С. В.* Ионнообменная адсорбция ионов тяжелых металлов в пульсационной колонне61
- Ульев Д. А., Егорова Н. Е.* Математическая модель воздушных потоков в системе газодымоудаления77

ГУМАНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ

- Лобова А. А., Кистанова Д. А., Остроумова А. Л.* Формирование положительного образа пожарного в общественном сознании: постановка проблемы84

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Есина М. Г., Горинова С. В., Братушев А. А. Применение методов математического программирования в решении профессиональных задач94

Коровин Д. И., Старавойтов С. В. Концепция разработки методики стресс-тестинга для оценки и развития навыков оптимального принятия решений при ликвидации ЧС на базе теории нечеткой логики.....103

НАУЧНЫЙ ДЕБЮТ

(статьи членов научного общества обучающихся)

Архангельский К. Н., Киселев В. В., Кропотова Н. А. Разработка огнезащитного покрытия стальных конструкций113

Полякова А. М., Наумов А. Г., Зарубина Е. В., Комельков В. А. Исследование применения СОТС при резании труднообрабатываемых материалов, применяемых в пожарной технике124

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

УДК 544.355 – 122: 532.00

Д. В. Батов, Т. А. Мочалова, О. Е. Сторонкина, Л. Н. Чеснокова

ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ДЕКАН-ИЗОБУТИЛМЕТИЛКЕТОН

Актуальность работы обусловлена широким использованием смесей жидкостей в различных технологиях. Широкое применение смесей обусловлено тем, что варьирование составов смесей обеспечивает целенаправленное изменение свойств в широком диапазоне. Однако изучение свойств смесей растворителей оборачивается необходимостью выполнения огромного объема экспериментальных исследований. Поэтому использование расчетных методик для прогнозирования физико-химических свойств смесей растворителей, а также показателей их пожарной опасности является актуальным.

Целью работы являлось экспериментальное исследование температуры вспышки бинарных смесей углеводорода и кетона (декан-метилизобутилкетон) с различным отклонением от закона Рауля и сопоставление полученных значений с данными, рассчитанными по предлагаемой в литературе методике.

Смеси для эксперимента готовили весовым методом с использованием коммерческих растворителей без дополнительной очистки: декан квалификации «ч», метилизобутилкетон квалификации «чда». Измерение температуры вспышки смесей метилизобутилкетон-декан в режиме закрытого тигля проводили с помощью автоматического регистратора температуры вспышки нефтепродуктов «ВСПЫШКА А».

Для оценки имеющихся методов расчета температуры вспышки была использована методика для расчета температуры жидких нефтепродуктов и других органических жидкостей.

Приведенные данные показывают, что использованная расчетная методика плохо прогнозирует температуру вспышки изученной смеси метилизобутилкетон-декан. Особенно это относится к смесям, имеющим большое содержание декана, так при концентрации декана 0.8 м.д. отклонения расчета превышают 10 градусов. Такие различия расчета и эксперимента обусловлены существенным отклонением исследованной смеси метилизобутилкетон-декан от идеального раствора и, вероятно, большим положительным отклонением от закона Рауля.

Ключевые слова: показатели пожарной опасности; температура вспышки; предельные углеводороды; кетоны; межмолекулярные взаимодействия.

Введение

Актуальность работы обусловлена широким использованием смесей жидкостей в различных технологиях. Известно, что растворители, применяющиеся в лакокрасочной и других отраслях промышленности, представляют собой смеси двух и более компонентов, среди которых часто используют алифатические и ароматические углеводороды, эфиры, кетоны. Широкое применение смесей обусловлено тем, что варьирование составов смесей обеспечивает целенаправленное изменение свойств в широком диапазоне. Однако изучение свойств смесей растворителей оборачивается необходимостью выполнения огромного объема экспериментальных исследований. Поэтому использование расчетных методик для прогнозирования физико-химических свойств смесей растворителей, а также показателей их пожарной опасности является актуальным.

Целью работы являлось экспериментальное исследование температуры вспышки бинарных смесей углеводорода и кетона (декан – метилизобутилкетон) [1] с различным отклонением от закона Рауля [2] и сопоставление полученных значений с данными, рассчитанными по предлагаемой в литературе методике [3, 4, 10].

Экспериментальная часть

Смеси для эксперимента готовили весовым методом с использованием коммерческих растворителей без дополнительной очистки: декан квалификации «ч», метилизобутилкетон квалификации «чда» [2].

Измерение температуры вспышки [5, 6, 7] в режиме закрытого тигля смесей метилизобутилкетон – декан проводили с помощью автоматического регистратора температуры вспышки нефтепродуктов «ВСПЫШКА А» [2], изготовленного предприятием БМЦ (Минск, Беларусь). Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица. Температуры вспышки смесей метилизобутилкетон – декан

X_D	$t_{всп,1}$	$t_{всп,2}$	$t_{всп,3}$	$t_{всп}$
0.0	11	11	11	11
0.2	11	11	11	11
0.4	14	14	14	14
0.6	17	17	17	17
0.8	23	23	23	23
1.0	46	46	46	46

Примечание. X_D – мольная доля декана в смеси.

Для смесей каждого состава выполнялись три измерения. Результаты представлены в 2–4 колонках таблицы. Видно, что наблюдалась прекрасная воспроизводимость результатов. В 5 колонке приведены средние значения температуры вспышки. Так как по методике использования автоматического регистратора температуры вспышки нефтепродуктов «ВСПЫШКА А» испытания на вспышку начинаются за 17 градусов до ожидаемой температуры вспышки, то все смеси предварительно охлаждались до 0 °С. Полученные нами температуры вспышки метилизобутилкетона и декана хорошо согласуются с литературными данными ($t_{всп}$ (декан) = 47 °С [1], $t_{всп}$ (метилизобутилкетон) = 12 °С [9]). Следует, однако, отметить, что для метилизобутилкетона в справочнике [1] приводится значение 18 °С.

Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют, что в исследованной системе метилизобутилкетон – декан температура вспышки смеси равна температуре вспышки легколетучего компонента (метилизобутилкетона) в интервале $1 \div 0.6$ его мольной доли. При дальнейшем уменьшении содержания метилизобутилкетона температура вспышки смеси плавно приближается к температуре вспышки декана.

Для оценки имеющихся методов расчета температуры вспышки была использована методика для расчета температуры жидких нефтепродуктов и других органических жидкостей [8, 10] (уравнение 1).

$$t_{\text{всп}} = \frac{\omega_{\text{вк}} t_{\text{вк}} + \omega_{\text{нк}} t_{\text{нк}} - f(t_{\text{вк}} - t_{\text{нк}})}{100}. \quad (1)$$

Здесь $t_{\text{вк}}$ и $t_{\text{нк}}$, $\omega_{\text{вк}}$ и $\omega_{\text{нк}}$ – температуры вспышки и массовые проценты соответственно высококипящего (декана) и низкокипящего (метилизобутилкетона) компонента смеси.

На рисунке сопоставлены расчетные и экспериментальные температуры вспышки исследованной смеси.

Приведенные данные показывают, что использованная расчетная методика плохо прогнозирует температуру вспышки изученной смеси метилизобутилкетон – декан. Особенно это относится к смесям, имеющим большое содержание декана. Так, при концентрации декана 0.8 м.д. отклонения расчета превышают 10 градусов. Такие различия расчета и эксперимента обусловлены существенным отклонением исследованной смеси метилизобутилкетон – декан от идеального раствора и, вероятно, большим положительным отклонением от закона Рауля.

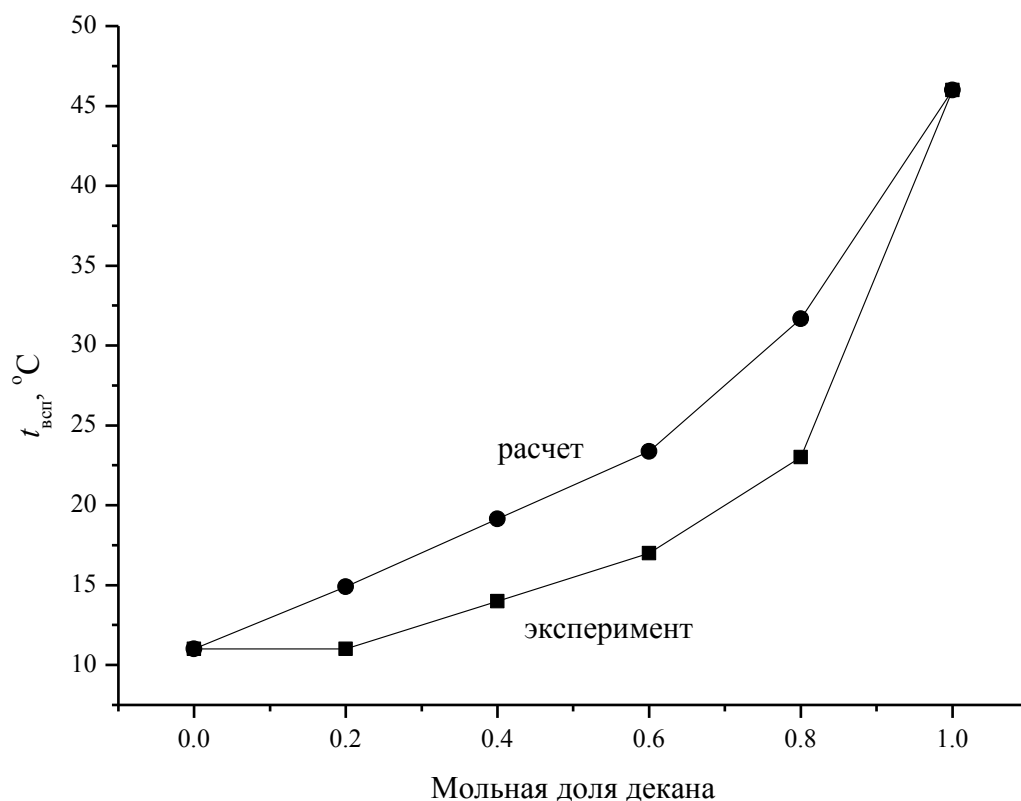


Рисунок. Расчетные и экспериментальные температуры вспышки смеси метилизобутилкетон – декан

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. М.: Асс. «Пожнаука», 2004, Ч. 1. 713 с.
2. Мочалов А.В. Температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей: пентадекан – изобутиловый спирт, бутанол – 1 – диметилсульфоксид и этиленгликоль-диметилсульфоксид / А. В. Мочалов, Д. В. Батов, Т. А. Мочалова // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. 2013. № 1. С. 31–40.
3. Catoir L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // J. Phys. Chem. Ref. Data/ № 35. 2006. P. 9–14.
4. Vidal M., Rogers W. J., Mnnan M. S. // Process Saf. Environ. Prot. № 84. 2006. P. 1–9.
5. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 1) / К. С. Алексеев, Н. М. Барбин, С. Г. Алексеев и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 6. С. 8–15.

6. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 2) / К. С. Алексеев, Н. М. Барбин, С. Г. Алексеев и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 7. С. 8–13.
7. Алексеев К.С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) / К. С. Алексеев, Н. М. Барбин, С. Г. Алексеев // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 7. С. 35–46.
8. Liaw Y.-J., Lin S.-C. // J/ Hazard/ Mater. № 140. 2007. P. 155 - 164.
9. Chemistry Freeware Page [Электрон. ресурс] // The chemical Database. Режим доступа: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/>, свободный. – Загл. с экрана.
10. Бронишевский Б.П., Шандыба В.А. Специальная химия: учебное пособие / Б. П. Бронишевский, В. А. Шандыба. М.: Учебно-методический кабинет, 1979. 117 с.

D. V. Batov, T. A. Mochalova, O. E. Storonkina, L. N. Chesnokova

FLASH POINT OF BINARY MIXTURES DECAN-ISOBUTYLMETILKETON

The relevance of the work is caused by widespread using of liquid mixtures in various technologies. The widespread use of mixtures stems from the fact that varying of composition mixtures provides purposeful change of properties in a wide range. Nevertheless, the study of the properties of the solvent mixtures requires performing a huge amount of experimental researches. Therefore, the use of calculation methods for predicting of physicochemical properties of solvents mixtures, as well as indicators of their fire risk is important.

The aim of the study was an experimental research of the flash point of binary mixtures of hydrocarbon and ketone (decane-methyl isobutyl ketone) with different deviation from Raoult's law and a comparison of the values obtained with the data calculated by the method proposed in the literature.

Mixtures for the experiment were prepared by gravimetric method using commercial solvents without further purification: "h"-qualification decane, "analytical grade"-qualification methyl isobutyl ketone. Flash point measurement in a closed crucible mode mixes isobutyl ketone-decane was performed by using the "A FLASH" automatic petroleum products flash point recorder.

The technique of calculating the temperature of liquid petroleum products and other organic liquids was used to assess the flash point calculation methods.

These data show that the used calculation method badly predicts the flashpoint temperature of the mixture of methyl isobutyl ketone-decane studied. It is particularly true for mixtures having a large content of decane. For example, calculating deviations exceed 10 degrees at a concentration of 0.8 m.f. Decant. Such differences between calculation and experiment are caused by the significant deviation of examined mixture of isobutyl ketone-decant from the ideal solution, and probably by a large positive deviation from Raoult's law.

Keywords: fire hazard indicators; flash point; saturated hydrocarbons; ketones; intermolecular interactions.

REFERENCES

1. Korol'chenko A.Ja., Korol'chenko D.A. Pozharovzryvoopasnost' ve-shhestv i materialov i sredstva ih tusheniya. Spravochnik: v 2-h ch. – 2-e izd., pererab. i dop. / A. Ja. Korol'chenko, D. A. Korol'chenko. M.: Ass. «Pozhnauka», 2004, Ch. 1. 713 s.
2. Mochalov A.V. Temperatury vspyshki binarnykh nevodnykh smesey zhidkostej: pentadekan – izobutilovyy spirt, butanol – 1 – dimetilsul'foksid i jetilenglikol'-dimetilsul'foksid / A. V. Mochalov, D. V. Batov, T. A. Mochalova // Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii. 2013. № 1. S. 31–40.
3. Catoir L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // J. Phys. Chem. Ref. Data/ № 35. 2006. P. 9–14.

-
4. Vidal M., Rogers W. J., Mnnan M. S. // Process Saf. Envirion. Prot. № 84. 2006. P. 1–9.
5. Svjaz' pokazatelej pozharnoj opasnosti s himicheskim stroeniem. III. Ketony (chast' 1) / K. S. Alekseev, N. M. Barbin, S. G. Alekseev i dr. // Pozharovzryvbezopasnost'. 2011. T. 20. № 6. S. 8–15.
6. Svjaz' pokazatelej pozharnoj opasnosti s himicheskim stroeniem. II. Ketony (chast' 2) / K. S. Alekseev, N. M. Barbin, S. G. Alekseev i dr. // Pozharovzryvbezopasnost'. 2011. T. 20. № 7. S. 8–13.
7. Alekseev K.S. Svjaz' pokazatelej pozharnoj opasnosti s himicheskim stroeniem. III. Ketony (chast' 2) / K. S. Alekseev, N. M. Barbin, S. G. Alekseev // Pozharovzryvbezopasnost'. 2012. T. 21. № 7. S. 35–46.
8. Liaw Y.-J., Lin S.-C. // J/ Hazard/ Mater. № 140. 2007. P. 155 - 164.
9. Chemistry Freeware Page [Jelektron. resurs] // The chemical Database. Rezhim dostupa: [http:// ull.chemistry.uakron.edu/erd.,svobodnyj.](http://ull.chemistry.uakron.edu/erd.,svobodnyj.) – Zagl. s jekrana.
10. Bronishevskij B.P., Shandyba V.A. Special'naja himija: uchebnoe posobie / B. P. Bronishevskij, V. A. Shandyba. M.: Uchebno-metodicheskij kabinet, 1979. 117 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

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

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

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

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

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

Чеснокова Любовь Николаевна

Старший преподаватель

Кандидат химических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: michura@bk.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=473627

Chesnokova Lyubov Nikolaevna

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 536.223

А. П. Сизов, В. Б. Бубнов, Д. С. Репин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

В представленном материале излагаются результаты разработки герметизирующего устройства, способного работать для уплотнения газовых сред, которые часто используют при тушении пожаров, происходящих в электроустановках, работающих под напряжением, герметичных объемов с легковоспламеняющимися жидкостями. Такие герметизирующие устройства можно использовать для мгновенной доставки огнетушащего вещества в очаг возгорания, что необходимо при ликвидации возгораний, происходящих и ликвидирующих за счет, например, газов. Представлены конструктивные варианты таких устройств и описан принцип их работы.

В таких устройствах в качестве герметизирующей среды используются магнитоуправляемые наноматериалы.

Ключевые слова: магнитная жидкость; огнетушащее вещество; магнитное поле; время ликвидации очага возгорания; постоянный магнит; легковоспламеняющаяся жидкость; термодатчик; статический герметизатор; запорное устройство; герметизация.

В системах пожаротушения подача огнетушащего вещества в очаг возгорания осуществляется с использованием запорной арматуры (краны, заслонки, клапаны, затворы и другие устройства), которая ограничивает или исключает поток огнетушащего материала. Такие устройства различны по принципу работы и конструктивному исполнению. Однако общим для указанных элементов является наличие уплотнительного устройства, предотвращающего утечки рабочей среды.

С этой целью для герметизации рабочего зазора между подвижным и неподвижными устройствами используется специальный уплотнитель, выполненный из эластичного или твердого материала. В [1] описаны материалы, их рабочие параметры и конструкции таких уплотнительных элементов.

Широкое распространение в герметизирующей технике получили эластичные материалы, выполненные из различных типов резин, фторопластов и других полимерных материалов.

Для всех материалов с целью достижения высокой герметичности уплотнителя необходима его деформация с целью получения надежной герметизации поверхностей, находящихся во взаимном контакте. Это часто требует использования силовых элементов, деформирующих такие уплотнители.

При использовании в качестве огнетушащего вещества газов требования по герметичности запорной арматуры повышаются, и для решения задачи увеличения их герметичности целесообразно использовать жидкие среды, помещаемые в зазор между ответными деталями герметизирующего устройства. В качестве такой жидкой среды можно использовать магнитные жидкости (МЖ) [2], надежно герметизирующие детали и управляемые при осуществлении таких функций.

Магнитные жидкости в настоящее время получают на основе жидкостей, обладающих низкой испаряемостью, широким интервалом рабочих температур, хорошей смачиваемостью [3], [4].

В этом случае для удержания МЖ в зазоре между статическим уплотнением и подвижными деталями рабочего зазора используются магнитные силы, которые создаются в результате взаимодействия МЖ с магнитным полем, создаваемым, например, с помощью постоянных магнитов.

МЖ прошли апробацию в уплотнениях вращающихся валов и показали хорошие результаты при их использовании.

Целью данной работы является повышение герметичности статических уплотнений в устройствах подачи огнетушащего вещества с одновременной возможностью мгновенной разгерметизации за счет изменения температуры окружающей среды.

Эта задача решается за счет введения в магнитную систему герметизирующего магнитожидкостного устройства датчика температуры, который может быть выполнен, например, в виде биметаллического датчика.

Методики расчета таких магнитных систем изложены в ряде работ [5], [6], [7]. В работе [7] предложена методика определения оптимальной рабочей зоны функционирования магнитожидкостных уплотнений (МЖУ), в которых обеспечивается их наибольшая долговечность. Полученные достижения по долговечности магнитной жидкости в МЖУ и, следовательно, в длительном сохранении её начальных физико-химических свойств позволили применять МЖ в качестве статического уплотнителя в герметизаторах быстроразъемных соединений, в зазорах между фланцем-крышкой. В этом случае магнитное поле обеспечивает необходимое контактное усилие для прилегания крышки к фланцу с МЖ и для создания высокой герметичности зазора. Практическое использование таких уплотнительных устройств разнообразно: от герметичных взрывобезопасных емкостей до сварочного оборудования и для работы в

вакууме. Такого типа статистические магнитожидкостные уплотнения прошли определенный путь развития и защищены рядом патентов и авторских свидетельств, внедрены в практику.

К указанному герметизатору следует отнести разработанное термоуправляемое уплотнение [8], разгерметизация которого происходит при повышении температуры окружающей среды выше допустимой. В этом случае разгерметизация зазора происходит мгновенно. Указанное уплотнение предполагается использовать в системах пожаротушения. В этом случае при срабатывании термочувствительного элемента происходит открытие крышки, предотвращающей подачу средства пожаротушения или соединение одной среды с другой.

Конструкция уплотнения представлена на рис. 1.

Уплотнение состоит из постоянного кольцевого магнита 1, образующего совместно с крышкой 2, внешним кольцом 3 и внутренним кольцом 4 магнитопровод для замыкания магнитного потока, созданного постоянным магнитом. Зазор между крышкой 2 и кольцами 3, 4 заполнен МЖ 5, которая предотвращает перетекание среды из полости «а» в полость «б» под действием разности давлений ΔP . Крышка 2 через тягу 6 совмещена с термочувствительным элементом 7, который установлен на неподвижной опоре 8. Подвижная крышка 2 за счет магнитных сил примыкает к кольцам 3, 4 и не имеет возможность перемещаться в осевом направлении до определенной величины ΔP .

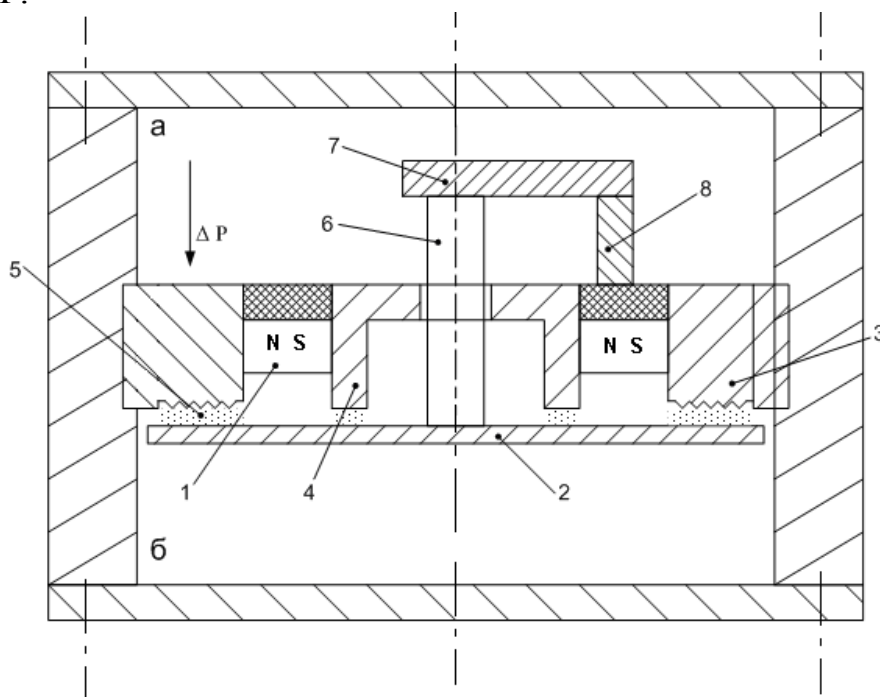


Рис. 1. Конструкция статического МЖУ

Термочувствительный элемент возможно выполнить упругим, например, из биметалла. В этом случае усилие, развиваемое термочувствительным элементом F_3 , направлено согласно или встречно с действующим перепадом давления. Величина компенсируемого МЖ перепада давления определяется по методике, как и для уплотнений вращающихся валов, работающих в статическом режиме, т.е. когда частота вращения вала $n = 0$.

Практический интерес для термоуправляемого уплотнения представляет время t , в течение которого при достижении определенной температуры происходит пробой МЖ, т.е. его полная разгерметизация t . Это время состоит из времени перетекания МЖ до критического значения $t_{кр}$, времени деформации термочувствительного элемента t_3 .

$$t = t_{кр} + t_3$$

Предполагается, что при деформации термочувствительного элемента усилие F_3 , созданное за счет жесткости элемента, действует согласно с перепадом давления.

Проведены экспериментальные исследования по определению времени разгерметизации магнитожидкостного уплотнения при воздействии перепада давления, превышающего критический перепад для статического режима на 20 %. В результате исследований установлено, что при нескольких параллельных измерениях данные по времени разгерметизации имеют определенный разброс. Исследованиями установлено, что на величину удерживаемого МЖУ перепада давления в статике $P_{ст}$ значительное влияние оказывает предел текучести используемой МЖ.

Проведены исследования реологических свойств МЖ на ротационном вискозиметре, которые показали, что величина предела текучести τ_0 так же имеет разброс по величине при параллельных измерениях, и чем выше τ_0 , тем этот разброс больше. На основании этого сделан вывод о значительном вкладе в значение τ_0 образования структуры из феррочастиц при воздействии магнитного поля. Указанные процессы необходимо учитывать при разработке и расчете статических уплотнений МЖ.

Время t_3 при использовании биметаллических термодатчиков зависит от материала, из которого изготовлен термодатчик и ряда других параметров.

На основании проведенных исследований возможно сделать вывод, что при выборе МЖ для работы в термоуправляемом уплотнении необходимо учитывать не только ее магнитные свойства, но и процессы структурообразования, происходящие в этой МЖ.

Разработана также усовершенствованная конструкция [9] термоуправляемого уплотнения (рис. 2). Технический результат заключается в расширении диапазона температур срабатывания и повышении точности температуры срабатывания. В неподвижный магнитопровод введена

магнитопроводящая кольцевая втулка, совмещенная с дополнительным термдеформируемым элементом обратного действия относительно термочувствительного элемента, совмещенного с подвижным магнитопроводом. При изменении температуры происходит деформация термдеформируемого элемента, который через тягу воздействует на подвижную магнитопроводящую втулку, вызывая ее перемещение. В уплотнении уменьшается проводимость магнитному потоку и соответственно уменьшается магнитная сила, за счет которой подвижный магнитопровод притягивается к неподвижному магнитопроводу. Изменяется точность установки температуры срабатывания уплотнения, которая имеет определенный разброс из-за наличия остаточной намагниченности в стали магнитопроводов.

Основным недостатком такого уплотнения является зависимость компенсируемого перепада давления от жесткости термочувствительного элемента, что приводит к усилению чувствительности уплотнения к изменению воздействующего перепада давления. Кроме этого, в таком уплотнении температуру срабатывания возможно изменять только за счет установки термочувствительного элемента с другими параметрами жесткости.

На рис. 2 представлена конструкция предлагаемого термоуправляемого магнитоэлектрического уплотнения. Уплотнение состоит из постоянного магнита 1 кольцевого типа, неподвижного магнитопровода 2, подвижного магнитопровода 3, на внутренней поверхности которого, обращенной к неподвижному магнитопроводу, нарезаны кольцевые канавки. Зазор между подвижным магнитопроводом и неподвижным заполнен магнитной жидкостью 4. На поверхности неподвижного магнитопровода, находящегося в полости «а», неподвижно закреплена кольцевая втулка 5.

Внутри втулки установлен термдеформируемый элемент 6 и термдеформируемый элемент 7. Термдеформируемый элемент 6 соединен через тягу 8 с подвижным магнитопроводом, а термдеформируемый элемент 7 через тягу 9 соединен с подвижной кольцевой магнитопроводящей втулкой 10, свободно скользящей в кольцевой проточке 11 неподвижного магнитопровода. С целью уменьшения трения магнитопроводящей кольцевой втулки 10 относительно внутренней поверхности кольцевой проточки 11 ее поверхность покрыта антифрикционным материалом 12.

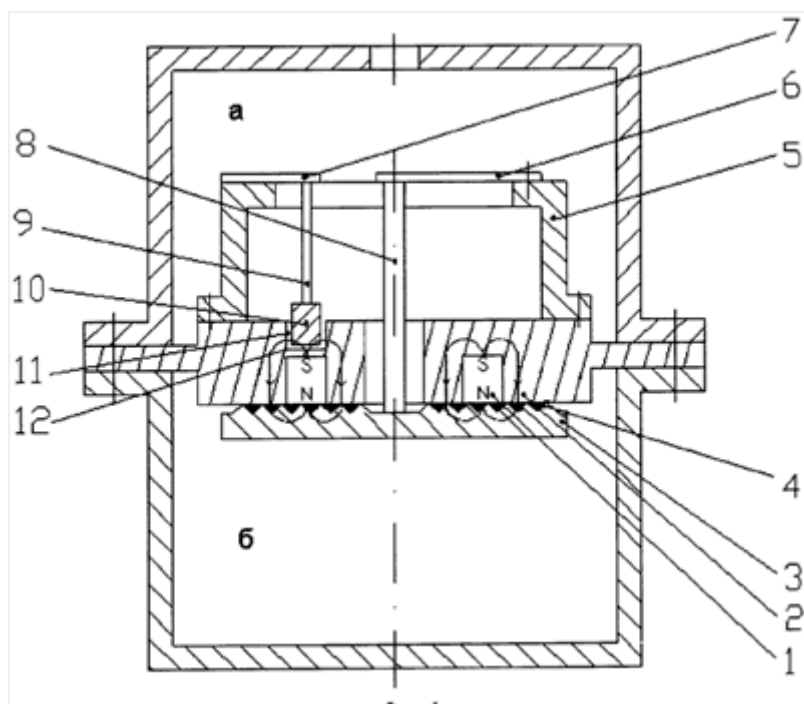


Рис. 2. Усовершенствованная конструкция статического уплотнения

Разработанные магнитожидкостные статические уплотнения возможно использовать также, например, при изготовлении обмоток электрических машин и трансформаторов для более глубокого внедрения в изоляцию обмоток пропиточного компаунда, а также для других целей. В этом случае пропиточный компаунд проникает не только в поверхностный слой изоляции, но и во внутренние слои за счет резкого изменения перепада давления, увеличивая электрическую прочность изоляции обмоток и условия теплоотвода от обмоток, за счет чего повышается класс изоляции обмоток. Кроме того, полученные нами результаты исследований открывают широкие перспективы использования таких устройств в технике тушения пожаров, где требуется мгновенная доставка в очаг возгорания огнетушащих веществ, например пожаротушение с помощью газов, а также мгновенную разгерметизацию, что важно при ликвидации пожаров с ЛВЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондаков Л.А. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / А. И. Голубев, В. Б. Овандер и др.; под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.: ил.

2. Магнитные жидкости в машиностроении / Д. В. Орлов, Ю. О. Михалев, Н. К. Мышкин, А. П. Сизов; под ред. Д. В. Орлова, В. В. Подгоркова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.: ил.

3. Библик Е.Е., Бузунов О.В. Достижения в области получения и применения ферромагнитных жидкостей / Е. Е. Библик, О. В. Бузунов. М.: ЦНИИ электроники, 1979. 60 с.

4. Михалев Ю.О., Земляков А.М., Лапочкин А.И. Исследование работоспособности мелко модульной зубчатой передачи с магнито жидкостными смазочными материалами // Трение и износ. 1989. т. 10. № 2. С. 250-256.

5. Исследование возможности создания магнитно жидкостных герметизаторов возвратно-поступательно движения / С. И. Евсин, Д. В. Орлов, Ю. И. Стародомский, В. Б. Харьковский // Магнитная гидродинамика. 1987. №4. С. 79–82.

6. Стародомский Ю.И. Анализ движения частиц в зазоре сепаратора на основе наноисперсных магнитных жидкостей / Ю. И. Стародомский, Ю. Б. Казаков, В. А. Филлипов // II Всероссийская научная конференция: сб. науч. трудов. Ставрополь, 2009. С. 246–252.

7. Смолин Б.И. Применение магнито жидкостного уплотнения в нижнем приводе мешалки ферментера // Материалы II Всесоюзной школы-семинара по магнитным жидкостям. М.: МГУ, 1981. С. 133–134.

8. Сергеев Е.В., Сизов А.П., Снегирёв Д.Г., Топоров А.В., Топорова Е.А. Термоуправляемое магнито жидкостное уплотнение. Патент № RU 2353839C2 (27.04.2009).

9. Использование магнитоуправляемых нано жидкостей в устройствах пожарной автоматики и аварийно-спасательной техники: монография / А. П. Сизов, В. А. Комельков, Е. В. Сергеев, В. С. Еловский, Е. А. Топорова. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. С. 335.

10. Сизов А.П. Влияние магнитных свойств МЖ на герметичность статических уплотнений. / А. П. Сизов, Е. В. Сергеев, Д. Г. Снегирев // Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-методической конференции. Иваново, 2010. С. 213–215.

11. Сизов А.П. Перспективы использования магнитоуправляемых нано жидкостей в устройствах автоматической противопожарной защиты / А. П. Сизов, Е. В. Сергеев, Е. В. Полякова // Пожарная и аварийная безопасность: материалы V Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2010. С. 72–79.

A. P. Sizov, V. B. Bubnov, D. S. Repin

USE OF STATIC GERMETIZATOR IN SYSTEMS OF SUPPLY OF FIRE EXTINGUISHING SUBSTANCES

In the presented material results of development of the pressurizing device capable to work for consolidation of gas environments which often use at suppression of the fires happening in the electroinstallations working energized, tight volumes with flammable liquids are stated. Such pressurizing devices can be used for instant delivery of fire extinguishing substance in the ignition center that is necessary at elimination of the ignitions happening and liquidating at the expense of, for example, gases. Constructive versions of such devices are presented and the principle of their work is described.

In such devices as the pressurizing environment the magnetooperated nanomaterials are used.

Keywords: magnetic liquid; fire extinguishing substance; magnetic field; time of elimination of the center of ignition; permanent magnet; flammable liquid; thermal sensor; static germetizator; locking device; sealing.

REFERENCES

1. *Kondakov L.A.* Uplotnenija i uplotnitel'naja tehnika: spravochnik / A. I. Golubev, V. B. Ovander i dr.; pod obshh. red. A. I. Golubeva, L. A. Kondakova. M.: Mashinostroenie, 1986. 464 s.: il.
2. *Magnitnye zhidkosti v mashinostroenii* / D. V. Orlov, Ju. O. Mihalev, N. K. Myshkin, A. P. Sizov; pod red. D. V. Orlova, V. V. Podgorkova. M.: Mashinostroenie, 1986. 464 s.: il.
3. *Bibik E.E., Buzunov O.V.* Dostizhenija v oblasti poluchenija i primene-nija ferromagnitnyh zhidkostej / E. E. Bibik, O. V. Buzunov. M.: CNII jelektroniki, 1979. 60 s.
4. *Mihalev Ju.O., Zemljakov A.M., Lapochkin A.I.* Issledovanie rabotosposobnosti melkomodul'noj zubchatoj peredachi s magnitnozhidkostnymi smazochnymi materialami // *Trenie i iznos*. 1989. t. 10. № 2. S. 250-256.
5. *Issledovanie vozmozhnosti sozdaniya magnitnozhidkostnyh germetizatorov vozvratno-postupatel'no dvizhenija* / S. I. Evsin, D. V. Orlov, Ju. I. Starodonskij, V. B. Har'kovskij // *Magnitnaja gidrodinamika*. 1987. №4. S. 79-82.
6. *Starodonskij Ju.I.* Analiz dvizhenija chastic v zazore separatora na osnove nanoispersnyh magnitnyh zhidkostej / Ju. I. Starodonskij, Ju. B. Kazakov, V. A. Fillipov // *II Vserossijskaja nauchnaja konferencija: sb. nauch. trudov. Stavropol'*, 2009. S. 246-252.
7. *Smolin B.I.* Primenenie magnitnozhidkostnogo uplotnenija v nizhnem privode meshalki fermentera // *Materialy II Vsesojuznoj shkoly-seminara po magnitnym zhidkostjam*. M.: MGU, 1981. S. 133-134.

8. *Sergeev E.V., Sizov A.P., Snegirjov D.G., Toporov A.V., Toporova E.A.* Termoupravljajemoe magnitozhidkostnoe uplotnenie. Patent № RU 2353839S2 (27.04.2009).

9. Ispol'zovanie magnitoupravljaemyh nanozhidkostej v ustroystvah pozharnoj avtomatiki i avarijno-spasatel'noj tehniki: monografija / A. P. Sizov, V. A. Komel'kov, E. V. Sergeev, V. S. Elovskij, E. A. Toporova. Ivanovo: Ivanovskij institut GPS MChS Rossii, 2014. S. 335.

10. *Sizov A.P.* Vlijanie magnitnyh svojstv MZh na germetichnost' staticheskikh uplotnenij. / A. P. Sizov, E. V. Sergeev, D. G. Snegirev // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitija agropromyshlennogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. Ivanovo, 2010. S. 213–215.

Сизов Александр Павлович

Профессор

Доктор технических наук

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. Д.К. Беляева»,

Россия, г. Иваново

E-mail: kafppv@mail.ru

Sizov Alexander Pavlovich

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

Federal State budgetary educational Institution of higher Education «Ivanovo state agricultural Academy named after D.K. Belyaev»,

Russian Federation, Ivanovo

Бубнов Владимир Борисович

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: kafppv@mail.ru

Bubnov Vladimir Borisovich

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

Репин Денис Сергеевич

Преподаватель

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: denisrep@mail.ru

Repin Denis Sergeyevich

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 614.841.412

Е. В. Ширяев, В. И. Попов

АНАЛИЗ ЧАСТОТ РЕАЛИЗАЦИИ ИНИЦИИРУЮЩИХ ПОЖАРООПАСНЫЕ СИТУАЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ НАСОСОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТЫ

В статье представлены результаты анализа частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов и технологических трубопроводов, транспортирующих нефтепродукты. Определены наиболее уязвимые в отношении разгерметизации элементы технологического оборудования, а также диаметры технологических трубопроводов. Представлены графики распределения частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов (центробежных) с аппроксимационной зависимостью, а также распределения частот утечек из технологических трубопроводов.

Ключевые слова: частота, вероятность, разгерметизация, технологические трубопроводы, насосы, нефтепродукты, пожароопасные ситуации.

Одним из параметров, влияющих на величину пожарного риска на производственных объектах, является частота реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий. Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год⁻¹) в определенной точке (a) как на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (1)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий); $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹ [1].

Актуальность темы связана с проблемой аварийных проливов нефтепродуктов на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения вследствие разгерметизации изношенного технологического оборудования. Частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год^{-1} принимается в соответствии со статистическими данными. На технологических объектах с обращением нефтепродуктов наиболее вероятны пожароопасные ситуации, связанные с разгерметизацией технологических трубопроводов и насосного оборудования. Так, по статистике Ростехнадзора, коэффициент износа технологического оборудования в нефтегазовой отрасли за последние семь лет составил в среднем 52 %, а коэффициент его обновления всего 6,3% [2, 3]. Наибольшее количество утечек нефтепродуктов происходит на технологическом оборудовании, находящемся под давлением. Преимущественно к такому оборудованию относятся насосы и их обвязка, а также технологические трубопроводы, фланцевые соединения и др. В методике [1] приведены частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов и частоты утечек из технологических трубопроводов, табл. 1, табл. 2.

Для определения наиболее уязвимого в отношении разгерметизации типа технологического оборудования, а также характера разгерметизации на объектах с обращением нефтепродуктов необходимо провести анализ частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов и технологических трубопроводов, транспортирующих нефтепродукты.

Таблица 1. Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов (центробежных)

Наименование оборудования	Иницирующее аварийю событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год^{-1}
Насосы (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего / отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2. Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек, (м ⁻¹ · год ⁻¹)				
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Значительная (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	-	-	$1,4 \cdot 10^{-6}$
100	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	-	$2,4 \cdot 10^{-7}$
150	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
250	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
600	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$
900	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
1200	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

Согласно данным из представленных таблиц, вероятность разгерметизации с малым диаметром отверстия у насосов и технологических трубопроводов, транспортирующих нефтепродукты, под давлением выше, чем при разрыве трубопровода и разгерметизации большего по диаметру отверстия.

Из графика на рис. 1 видно, что распределение частот разгерметизации центробежных насосов имеет степенную зависимость с максимальной величиной достоверности аппроксимации равной 0,9649.

Из графика на рис. 2 видно, что частоты утечек из технологических трубопроводов распределены таким образом, что большая часть утечек приходится на трубопроводы с меньшим диаметром. Это связано, прежде всего с низким инструментальным контролем, техническим обслуживанием при эксплуатации технологических трубопроводов малого диаметра.

При разгерметизации трубопроводов обвязки резервуара количество поступившего в окружающее пространство продукта меньше, чем при разгерметизации корпуса резервуара, однако при этом возможно цепное развитие аварии (эффект «домино»). В истории на объектах с обращением нефтепродуктов известно немало примеров пожаров, когда пожар развивался от небольшой утечки нефтепродукта до полного выгорания объекта. В табл. 3 приводятся интенсивности отказов некоторых элементов оборудования [1].

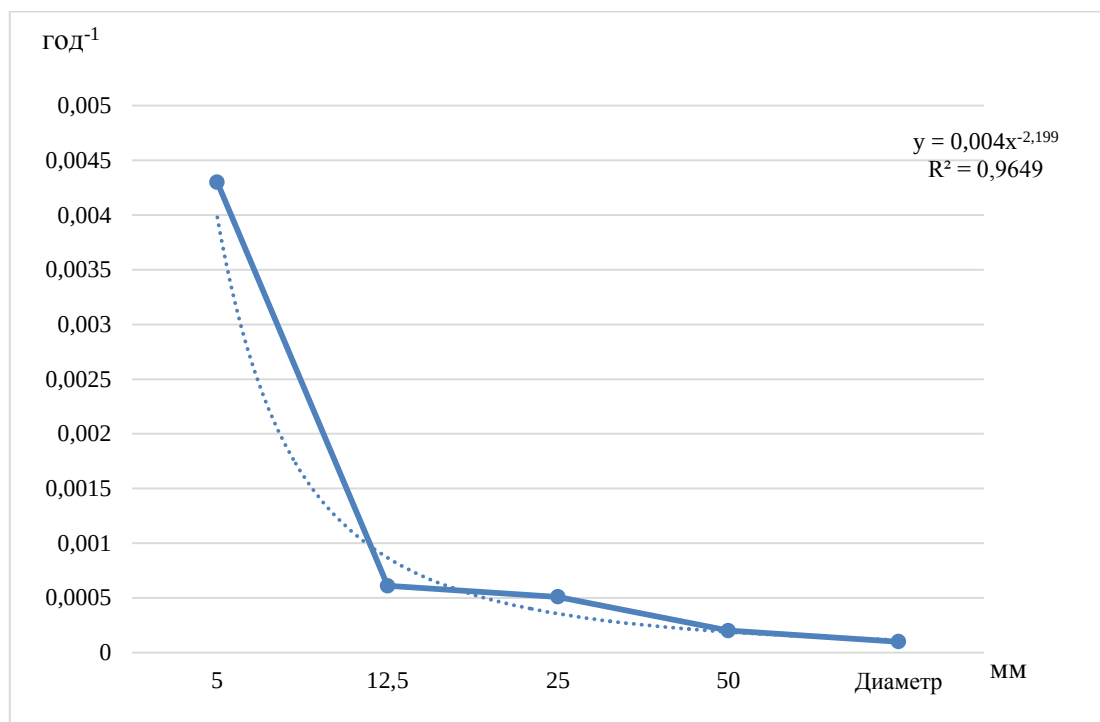


Рис. 1. Распределение частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов (центробежных) с аппроксимационной зависимостью

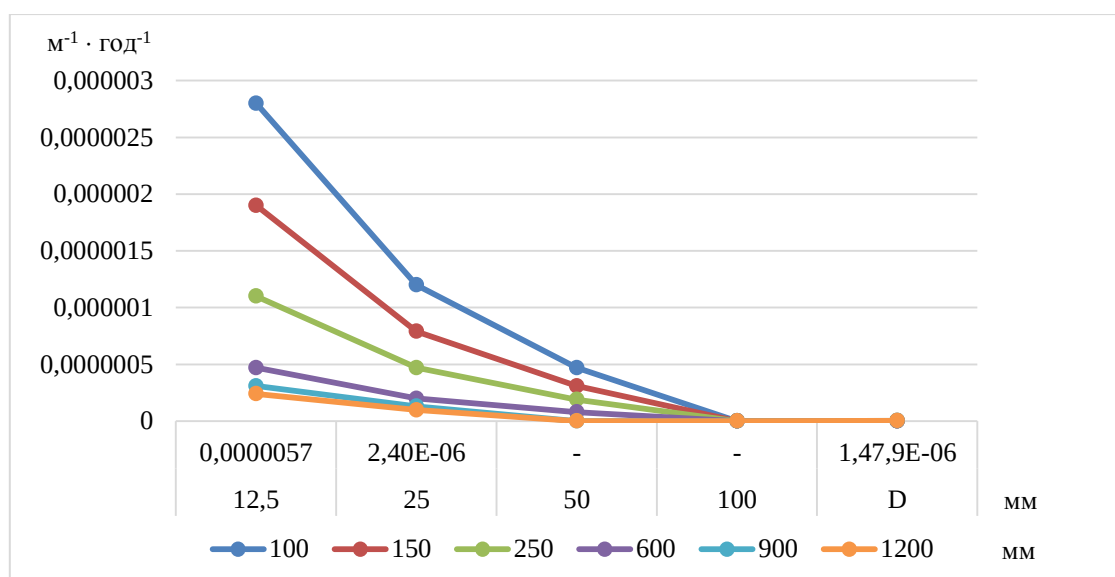


Рис. 2. Распределение частот утечек из технологических трубопроводов

Таблица 3. Надежность элементов оборудования

Элемент оборудования	Частота отказа, 10^{-3} год $^{-1}$
Арматура трубопроводов	350
Вентили	260
Вращающиеся части насосов	60
Переходные шланги под давлением	35
Емкости под давлением	17
Прокладки	4

Из табл. 3, рис. 3 следует, что наибольшая вероятность разгерметизации относится к трубопроводной арматуре и вентилям (84 % от общего количества отказов элементов технологического оборудования), 13–15% отказов приходится на технические детали насосов.

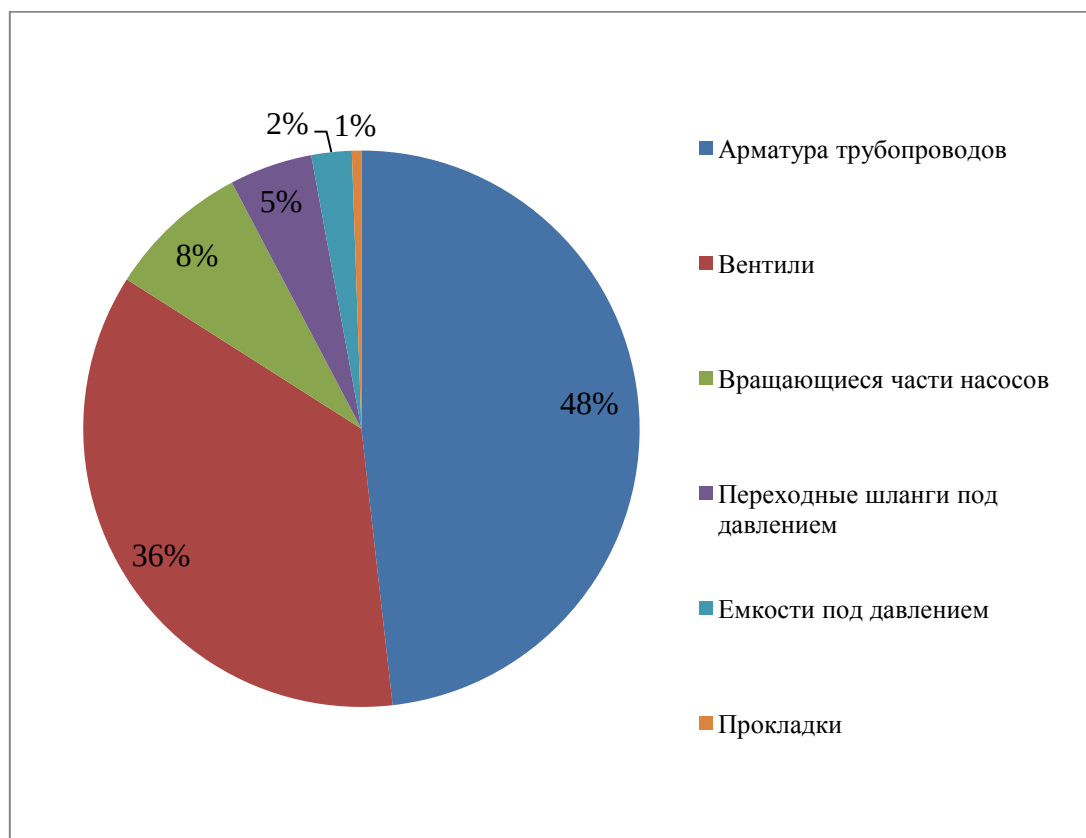


Рис. 3. Распределение частот отказов элементов технологического оборудования

Локальная разгерметизация технологической арматуры трубопроводов, вентилей, расположенных рядом с технологическими установками, создает угрозу крупномасштабной аварии (пожару) в случае воспламенения паров

нефтепродукта. Наиболее вероятными местами образования локальной разгерметизации технологического оборудования являются разъёмные соединения [6]. В этом отношении особую опасность могут представлять фланцевые соединения. На взрывопожароопасных объектах, к которым относятся резервуарные парки, магистральные трубопроводы, насосные по перекачке пожароопасных веществ, манифольдные установки именно фланцевые соединения являются наиболее уязвимыми местами. В результате нарушения их герметичности возникают утечки нефтепродуктов.

Исходя из анализа, имеющейся базы частот реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для насосов, технологических трубопроводов с разъёмными соединениями, транспортирующих нефтепродукты, следует, что наиболее вероятны небольшие по своей геометрии разгерметизации (насосы: $d \approx 5\text{--}12,5$ мм; технологические трубопроводы $d \approx 12,5\text{--}25$ мм) технологического оборудования транспортирующего нефтепродукты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. №404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» с учетом изменений, утвержденных Приказом Министра МЧС РФ от 14.12.2010 №649 «О внесении изменений в Приказ МЧС России от 20.07.2009 №404».
2. Письмо ФГБУ ВНИИПО МЧС России от 31.01.2014 г. №408-11-6-02 «О предоставлении статистической информации по пожарам».
3. *Ширяев Е.В.* Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов / Е. В. Ширяев, В. П. Назаров, А. В. Майзлиш // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2014. № 3. Электронный ресурс <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-3/2014-3.html> (дата обращения 28.09.2016).
4. *Ширяев Е.В.* Планирование поверхности в местах возможного пролива нефтепродуктов на основе применения гранулированных материалов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. С. 109–113.
5. *Ширяев Е.В.* Использование керамзитовых подложек при проливах нефти и нефтепродуктов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 4 (9). Электронный ресурс <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-keramzitovyh-podlozhek-pri-prolivah-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения 06.10.2016).
6. *Рубцов Д.Н.* Поведение фланцевых соединений технологических трубопроводов в условиях пожара / Д. Н. Рубцов, В. П. Сучков, С. А. Швырков // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. №4. С. 46–50.

7. *Ширяев Е.В., Атаманов Т.Н.* Экспресс оценка аварий на технологических объектах // Система профессионального образования МЧС России: опыт, проблемы, перспективы: сборник материалов международной научно-практической конференции. Химки: ФГБОУ ВПО АГЗ МЧС России, 2012. С. 182–186.

8. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Книга 3 / под ред. В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. М.: Изд-во АСВ, 1998. 416 с.

9. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств / пер. с англ.; под ред. Б. Б. Чайванова, А. Н. Черноплекова. М.: Мир, 1989. 672 с.

10. *Van den Bosch C.J.H., and Wetterings R.A.P.M.* (Eds), «Methods for the calculation of physical effects» Yellow book CPR 14E (Part 2). 3rd ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1997. P. 6.17– 6.138.

E. V. Shiryaev, V. I. Popov

THE ANALYSIS OF THE FREQUENCIES OF INITIATING IMPLEMENTATION OF THE FIRE SITUATION EVENTS FOR PUMPS AND PIPELINES, TRANSPORTING OIL PRODUCTS

The article presents the results of the analysis of the frequencies of initiating implementation of the fire situation events for pumps and pipelines, transporting oil products. Identified the most vulnerable elements of depressurization of process equipment, as well as the diameters of process piping. Graphs of the frequency distribution of realization of the fire situation initiating events for pumps (centrifugal) approximation and the distribution of frequencies of leaks from process piping.

Keywords: frequency, probability, depressurization, technological pipelines, pumps, petroleum products, hazardous situation.

REFERENCES

1. Prikaz MChS Rossii ot 10.07.2009 g. №404 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob#ektah» s uchetom izmenenij, utverzhdenykh Prikazom Ministra MChS RF ot 14.12.2010 №649 «O vnesenie izmenenij v Prikaz MChS Rossii ot 20.07.2009 №404».
2. Pis'mo FGBU VNIPO MChS Rossii ot 31.01.2014 g. №408-11-6-02 «O predostavlenii statisticheskoy informacii po pozharam».
3. Shirjaev E.V. Statisticheskij analiz pozharov na ob#ektah s obrashheni-em nefteproduktov / E. V. Shirjaev, V. P. Nazarov, A. V. Majzlish // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti: internet-zhurnal. 2014. № 3. Jelektronnyj resurs <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-3/2014-3.html> (data obrashhenija 28.09.2016).
4. Shirjaev E.V. Planirovanie poverhnosti v mestah vozmozhnogo proliva nefteproduktov na osnove primenenija granulirovannyh materialov // Pozharnaja i avarijnaja bezopasnost': sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ivanovo: Ivanovskij institut GPS MChS Rossii, 2014. S. 109–113.
5. Shirjaev E.V. Ispol'zovanie keramzitovyh podlozhek pri prolivah nefti i nefteproduktov // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2013. № 4 (9). Jelektronnyj resurs <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-keramzitovyh-podlozhek-pri-prolivah-nefti-i-nefteproduktov> (data obrashhenija 06.10.2016).
6. Rubcov D.N. Povedenie flancevyh soedinenij tehnologicheskikh truboprovodov v uslovijah pozhara / D. N. Rubcov, V. P. Suchkov, S. A. Shvyrkov // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2009. №4. S. 46–50.
7. Shirjaev E.V., Atamanov T.N. Jekspress ocenka avarij na tehnologicheskikh ob#ektah // Sistema professional'nogo obrazovanija MChS Rossii: opyt, problemy, perspektivy: sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Himki: FGBOU VPO AGZ MChS Rossii, 2012. S. 182–186.

8. Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidacija posledstvij: uchebnoe posobie. Kniga 3 / pod red. V. A. Kotljarevskogo, A. V. Zabegaeva. M.: Izd-vo ASV, 1998. 416 s.
9. *Marshall V.* Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv / per. s angl.; pod red. B. B. Chajvanova, A. N. Chernoplekova. M.: Mir, 1989. 672 s.
10. *Van den Bosch C.J.H.*, and *Wetterings R.A.P.M.* (Eds), «Methods for the calculation of physical effects» Yellow book CPR 14E (Part 2). 3rd ed., Sdu Uitgevers, The Hague, 1997. P. 6.17– 6.138.

Ширяев Евгений Викторович

Преподаватель

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

E-mail: shiryaev@bk.ru

Shiryaev Evgeny Victorovich

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

Попов Владимир Иванович

Доцент

Кандидат технических наук

Доцент

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

E-mail: popovi49@mail.ru

Popov Vladimir Ivanovich

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

ПОЖАРОТУШЕНИЕ

УДК 614.846; 614.843.52

В. А. Годлевский, Ю. Н. Моисеев

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Приводятся перечень и краткая характеристика задач трибологической науки применительно к технике проведения пожаротушения и аварийно-спасательных работ. Особое внимание уделяется задачам, связанным с долговечностью базового шасси и движущимся элементам пожарной надстройки. Затронуты проблемы надежности центробежных пожарных насосов, антифрикционных свойств огнетушащих веществ, трибологических характеристик спасательного инструмента. Затронута мало еще изученная проблема – течения огнетушащего порошка по трубопроводам и рукавам. Проблематика реологических свойств псевдооживленной порошковой массы может решаться в терминах задач внутреннего трения. Также в статье обсуждены положения об износе пожарных рукавов и специальной защитной одежды пожарных, так как эта продукция неизбежно подвержена износу под действием механических факторов. Такие материалы особенно чувствительны к температурным воздействиям: размягчаются или возгораются при высокой температуре, охрупчиваются при низкой. Таким образом, в настоящей работе показано, что задачи, стоящие перед отраслью, связанной с борьбой с пожарами и преодолением последствий ЧС, могут эффективнее решаться с использованием новейших достижений трибологической науки. В основном, это должно быть достигнуто применением новых, более прочных и износостойких материалов.

Ключевые слова: пожарная техника, спасательное оборудование, долговечность, трибология, триботехника, износ, смазочное масло.

Введение

Трибология как прикладная техническая наука, занимающаяся проблемами трения, износа и смазки, находит реализацию в различных отраслях, занятых эксплуатацией специальных машин и технических устройств. В частности, отрасль, занимающаяся борьбой с пожарами и преодолением последствий разнообразных чрезвычайных ситуаций, также способна применять достижения трибологии применительно к объектам пожарной и аварийно-спасательной техники. Попытаемся представить краткий

очерк, иллюстрирующий это утверждение, чтобы показать, какие из трибологических задач и их решений могут быть реализованы в данной сфере народного хозяйства. Разумеется, в наибольшей мере задачи эффективной эксплуатации узлов и агрегатов сосредоточены в пожарных и аварийно-спасательных автомобилях.

1. Мобильные средства борьбы с пожарами. Пожарные автомобили

Пожарный автомобиль (ПА) как транспортное средство несущественно отличается от грузовиков, работающих в общих отраслях народного хозяйства, однако весьма отличается по условиям эксплуатации, что заставляет особым образом заботиться о его надежности. В первую очередь отмечают следующие эксплуатационные отличия:

- ограниченное время подготовки к выезду и связанный с этим недостаточный прогрев двигателя;
- движение к месту пожара с максимально возможной скоростью и с максимальной нагрузкой (полный комплект пожарно-технического вооружения, до предела загруженные емкости с огнетушащим веществом);
- возможность движения к месту пожара по бездорожью;
- неравномерность работы систем и механизмов (частый переход с одного нагрузочного режима на другой, частые разгоны и торможения);
- большая доля времени (около 70%) работы автомобильного двигателя «на насос», т. е. в режиме высокой частоты и, следовательно, повышенной интенсивности изнашивания деталей;
- всепогодный характер работы, в том числе во время выпадения осадков (дождя, снега), в условиях высоких (при пожаре) или, наоборот, низких температур [1].

Чтобы нивелировать перечисленные экстремальные эксплуатационные условия, возможно принятие некоторых из перечисленных ниже технических решений:

1) повышение эффективности фильтрации воздуха, поступающего в двигатель, для предотвращения повышенного абразивного износа элементов двигателя при движении по грунтовым дорогам в условиях повышенной запыленности – в этом контексте возможно использовать технические решения, предлагаемые для защиты от внешнего абразива объектов сельскохозяйственной или строительной техники [2];

2) при эксплуатации пожарной техники в значительной мере оправдано использование смазочных материалов повышенного качества, например, применение моторных и трансмиссионных масел с улучшенными температурно-вязкостными характеристиками и эффективными пакетами функциональных присадок. Перспективными в этом отношении являются антизадирные агенты типа металлоплакирующих присадок, модификаторов

трения (в частности, так называемых «геомодификаторов»), поверхностно-активных адсорбатов, нанокпозиционных твердых присадок [3, 4];

3) от создателей нового поколения пожарной техники требуется конструктивное совершенствование работы агрегатов трансмиссии, обеспечивающее отсутствие ударов, вибраций и перегрузок;

4) поскольку большинство исполнительных механизмов специальных пожарных автомобилей имеют гидропривод, необходима оптимизация конструкции, материалов и режимов работы гидравлических цилиндров (уплотнения, цилиндропоршневые группы) с целью повышения их надежности, долговечности, снижения эксплуатационных затрат;

5) имея в виду тот факт, что узлы и агрегаты пожарных автомобилей в большой степени подвержены опасности водного загрязнения, и то, что вода, проникая вовнутрь механизмов, нарушает их нормальную эксплуатацию, необходимо принимать специальные меры по предотвращению этого процесса [5].

2. Пожарные насосы

Пожарные насосы, работающие как в составе пожарных автомобилей, так и вне их, подвержены ускоренному износу в большей степени, чем пожарные автомобили в целом. Рабочие каналы насосов подвергаются, в первую очередь, абразивному износу, который возникает при заборе загрязненной твердыми частицами воды из открытых источников. Попадающие с током воды в насос частицы более крупного размера способствуют динамическим ударам и частичному перекрытию рабочих каналов. Другой причиной изнашивания является явление кавитации, возникающее на быстро движущихся лопастях рабочего колеса центробежного насоса, что приводит к выкрашиванию микрообъемов, эрозии металла на поверхностях. Критически важным для работоспособного состояния центробежного насоса является состояние манжетных уплотнений и самих подшипников рабочего колеса. Нарушение герметичности кольцевых уплотнений приводит к проникновению воды в масляный картер, нарушает режим смазывания и может приводить к разрушению подшипников качения. Для предотвращения перечисленных нарушений работы насосов возможно принимать следующие меры:

- повышение износостойкости внутренних поверхностей насоса, чтобы противостоять абразивному и кавитационному изнашиванию. Возможна замена материала поверхности на более износостойкий металл или применение износостойких покрытий быстроизнашивающихся поверхностей [6];

- совершенствование материала и конструкции кольцевых уплотнений для повышения их уплотнительной надежности (например, применение уплотнений на основе силиконовых эластомеров или узлов с ферромагнитными жидкостями) [7];

– рассмотрение возможности замены подшипников качения на более надежные и дешевые подшипники скольжения (например, пористые втулки, изготовленные методами порошковой металлургии, антифрикционные полимеры и др.) [8], замена узлов качения на узлы скольжения уменьшает габариты узла, снижает его массу, что привело к массовому применению втулок из новых антифрикционных материалов в авиакосмической отрасли и производстве бытовых приборов; по-видимому, этого процесса стоит ожидать и в сфере пожарной техники [9, 10].

3. Дополнительные трибологические проблемы, связанные с пожаротушением и спасательными работами

Антифрикционные свойства пожарной пены

Пожарная пена содержит, как известно, в качестве пенообразователя поверхностно-активное вещество, которое, в свою очередь, способно в силу химической его природы формировать адсорбционные смазочные слои. В некоторых случаях (например, при запенивании взлетно-посадочной полосы при аварийной посадке воздушных судов) важно, чтобы пена обеспечивала не только локализацию возможного возгорания, но и оптимальное трение на поверхности полосы). Во всяком случае, многообразие известных составов ПАВ должно позволить улучшить этот процесс по сравнению с применяемыми типами пенообразователей. По нашему мнению, стоит провести специальные исследования, направленные на создание негорючих специализированных составов на водной основе, обеспечивающие создание «скользящей» поверхности на взлетно-посадочной полосе при аварийной ситуации.

Трение огнетушащего порошка

К области трибологии (в частности) можно отнести и другую, мало еще изученную, проблему течения огнетушащего порошка по трубопроводам и рукавам. Вообще говоря, проблема реологических свойств псевдооживленной порошковой массы может решаться в терминах задач внутреннего трения, и на этом пути можно было бы оптимизировать конфигурацию трубопроводов, предотвратить заторы в порошковых магистралях и влиять на «слеживаемость» рабочего тела внутри емкостей и магистралей.

Износ пожарных рукавов и спецодежды пожарных

Тканевые и нетканые полимерные материалы, применяемые для пожарных рукавов и спецодежды пожарных, неизбежно подвержены износу под действием механических факторов. Такие материалы особенно чувствительны к температурным воздействиям: размягчаются или возгораются при высокой температуре, охрупчиваются при низкой. Повышение долговечности этих элементов должно быть обеспечено путем совершенствования материалов и в результате большой экспериментальной работы по математическому и натурному моделированию процесса

изнашивания материалов в условиях, близких к обстановке боевого применения.

Проблемы надежности аварийно-спасательного оборудования

Прочность, износостойкость исполнительных органов спасательных устройств при длительной работе под нагрузкой может создавать проблемы в работе механизмов. Решение этой проблемы, например, для гидравлического спасательного инструмента может быть найдено на пути повышения механической прочности силовых элементов, либо при грамотном материаловедческом подходе к выбору материалов для высоконагруженных рабочих поверхностей и соответствующих твердых износостойких покрытий для них.

Поскольку из всего многообразия инструмента, применяемого при аварийно-спасательных работах, наиболее употребительным и «расходуемым» является абразивный инструмент, проблема его надежности, стойкости и безопасности применения требует особого подхода к конструированию этого инструмента, выбора для него режущего материала и связи повышенного качества, усовершенствования технологии изготовления [11].

Заключение

Таким образом, в настоящей работе показано, что задачи, стоящие перед отраслью, связанной с борьбой с пожарами и преодолением последствий ЧС, могут эффективнее решаться с использованием новейших достижений трибологической науки. Новое поколение пожарной техники и аварийно-спасательного оборудования должно обладать большим ресурсом долговечности и надежности. В основном, это должно быть достигнуто применением новых, более прочных и износостойких материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев Ю.Н., Тербнев В.В. Пожарная техника. Мобильные средства пожаротушения: учебное пособие. Иваново, 2013. 59 с.
2. Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гайдар Сергей Михайлович. М., 2011. 18 с.
3. Приходько В.И. Базовые присадки к смазочным материалам [Электронный ресурс] // Учебно-информационный центр Автомобилиста. 2016. Режим доступа: http://www.auto-uch.info/a_pr_02.html.
4. Годлевский В.А., Моисеев Ю.Н., Нагайцев В.И. О возможности применения присадки геомодификатора к смазочному маслу в подшипниковом узле пожарного насоса // Материаловедение и надежность триботехнических систем: сб. докл. Региональной научно-технической конференции. М., 2009. С. 117–118.

5. Влияние водного загрязнения на работоспособность смазочных материалов / В. А. Годлевский, А. В. Лобач, Г. Е. Назаров, Ю. Н. Моисеев и др. // Физика, химия и механика трибосистем. Иваново, 2011. С. 169–172.

6. Кавитационно-стойкие покрытия рабочих колес центробежных насосов – газотермическое напыление, оборудование и технологии [Электронный ресурс]. М., 2016. Режим доступа: <http://solutions.plackart.com/details/13/>.

7. *Топоров А.В.* Разработка комбинированных магнитожидкостных уплотнений и исследование их трибологических характеристик: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Топоров Алексей Валерьевич. Иваново, 2004. 8 с.

8. *Шилов М.А.* Смазочное действие водных растворов неионогенных ПАВ при трении пары металл-полимер: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Шилов Михаил Александрович. Иваново, 2011. 18 с.

9. Техничко-экономические обоснования применения самосмазываемых пористых спеченных подшипников скольжения в узлах трения пожарной и спасательной техники / В. А. Годлевский, И. В. Павлов, Ю. Н. Моисеев и др. // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. 2008. №1. С. 17–19.

10. Предпосылки разработки новых спеченных подшипниковых смазочных материалов для узлов трения пожарно-технического и аварийно-спасательного оборудования / М. В. Богомоллов, В. А. Годлевский, Ю. Н. Моисеев и др. // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. 2008. № 2. С. 17–25.

11. *Лапин В.Ю., Разумов А.А.* Исследование физико-механических характеристик абразивных композитов на бакелитовой связке // Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента: сб. научных трудов. Челябинск, 2003. С. 47–50.

V. A. Godlevskiy, Ju. N. Moiseev

TRIBOLOGICAL PROBLEMS OF FIRE TECHNIQUE

The list and the short characteristic of tribological science problems with reference to carrying out of fire-fighting technics and rescue works are resulted. The special attention is given to the problems connected with durability of the base chassis and moving elements of fire superstructures. Problems of reliability of centrifugal fire pumps, antifrictional properties of fire-fighting substances, tribological characteristics of the rescue tools are mentioned. Also such little studied problem like flowing of extinguishing powders along of firehoses was concerned. The rheological properties of flowing powder may be described in terms of internal friction. In the paper the questions of firehoses' and fireman special closing wear were mentioned because this production is inevitably affected by external mechanical factors. These polymer materials are especially sensitive to temperature influence: weakened or melted by high temperature and cracked by the cold. Thus in the article was shown, that the most of fire and emercom goals may be solved with help of last achievements of tribology. Mainly it can be reached by implementation of new, more strong, durable and wear-resistant materials.

Keywords: fire technique, rescue equipment, reliability, tribology, triboengineering, wear, lubricating oils.

REFERENCES

1. *Moiseev Ju.N., Terebnev V.V.* Pozharnaja tehnika. Mobil'nye sredstva pozharotusheniya: uchebnoe posobie. Ivanovo, 2013. 59 s.
2. *Gajdar S.M.* Zashhita sel'skohozjajstvennoj tehniki ot korrozii i iznosa s primeneniem nanotehnologij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Gajdar Sergej Mihajlovich. M., 2011. 18 s.
3. *Prihod'ko V.I.* Bazovye prisadki k smazochnym materialam [Elektronnyj resurs] // Uchebno-informacionnyj centr Avtomobilista. 2016. Rezhim dostupa: http://www.auto-uch.info/a_pr_02.html.
4. *Godlevskij V.A., Moiseev Ju.N., Nagajcev V.I.* O vozmozhnosti primeneniya prisadki geomodifikatora k smazochnomu maslu v podshipnikovom uzle pozharnogo nasosa // Materialovedenie i nadezhnost' tribotekhnicheskikh sistem: sb. dokl. Regional'noj nauchno-tehnicheskoy konferencii. M., 2009. S. 117–118.
5. Vlijanie vodnogo zagryazneniya na rabotosposobnost' smazochnyh materialov / V. A. Godlevskij, A. V. Lobach, G. E. Nazarov, Ju. N. Moiseev i dr. // Fizika, himiya i mehanika tribosistem. Ivanovo, 2011. C. 169–172.
6. Kavitacionno-stojkie pokrytija rabochnih koles centrobeznyh nasosov – gazotermicheskoe napylenie, oborudovanie i tehnologii [Elektronnyj resurs]. M., 2016. Rezhim dostupa: <http://solutions.plackart.com/details/13/>.

7. *Toporov A.V.* Razrabotka kombinirovannyh magnitozhidkostnyh up-lotnenij i issledovanie ih tribologicheskikh harakteristik: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Toporov Aleksej Valer'evich. Ivanovo, 2004. 8 s.

8. *Shilov M.A.* Smazochnoe dejstvie vodnyh rastvorov neionogennyh PAV pri trenii pary metall-polimer: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Shilov Mihail Aleksandrovich. Ivanovo, 2011. 18 s.

9. Tehniko-jekonomicheskie obosnovaniya primeneniya samosmazываемых poristyh spechennyh podshipnikov skol'zheniya v uzlah treniya pozharnoj i spasatel'noj tehniki / V. A. Godlevskij, I. V. Pavlov, Ju. N. Moiseev i dr. // Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii. 2008. №1. S. 17–19.

10. Predposylki razrabotki novyh spechennyh podshipnikovyh sma-zochnyh materialov dlja uzlov treniya pozharно-tehnicheskogo i avarijno-spasatel'nogo oborudovaniya / M. V. Bogomolov, V. A. Godlevskij, Ju. N. Moiseev i dr. // Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii. 2008. № 2. S. 17–25.

11. *Lapin V.Ju., Razumov A.A.* Issledovanie fiziko-mehanicheskikh ha-rakteristik abrazivnyh kompozitov na bakelitovoj svjazke // Teorija, tehnologija i oborudovanie dlja proizvodstva abrazivnogo instrumenta: sb. nauchnyh trudov. Cheljabinsk, 2003. S. 47–50.

Годлевский Владимир Александрович

Профессор

Доктор технических наук

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: godl@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=134813

Godlevskiy Vladimir Alexandrivich

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

Моисеев Юрий Николаевич

Начальник кафедры

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: fireman13@mail.ru

Moiseev Yuriy Nikolajevich

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 377.169.3

А. В. Ермилов, А. С. Щеткин, К. А. Гашук

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВМЕЩЕННОГО ГРАФИКА РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Раскрываются способы построения совмещенного графика развития и тушения пожара при изучении пожарно-тактических дисциплин с помощью традиционного способа, специального программного обеспечения моделирования процессов развития и тушения пожара, а также комбинированным способом на основе моделирования реальных профессиональных ситуаций. Особое внимание уделяется особенностям построения совмещенного графика на основе моделирования реальных профессиональных ситуаций как способа воспроизведения в условиях обучения процессов, происходящих в реальной деятельности, специалиста в области пожаротушения. Сделаны выводы об эффективности применения данного способа. Во-первых, обучаемые самостоятельно производят детальный анализ обстановки на месте вызова в динамике развития пожара и прибытия подразделений пожарно-спасательного гарнизона. Во-вторых, в процессе занятия обучаемые сталкиваются с проблемными вопросами организации пожаротушения, на которые находят наиболее правильные ответы и отвечают на них в процессе выполнения упражнения. В-третьих, упражнение завершается индивидуальным докладом курсанта о предпринятых действиях для выполнения основной задачи и коллективным обсуждением полученных результатов, что позволяет оказывать дополнительное влияние на развитие личности обучающегося. Итогом обучения является развитие профессионально значимых личностных качеств у будущих специалистов в области пожаротушения и, как следствие этого, их тактической подготовки.

Ключевые слова: обучаемые; личностные качества; практическое занятие; ситуационный класс; моделирование; профессиональная ситуация; тушение пожара; совмещенный график.

Проблема совершенствования тактической подготовки при обучении будущих специалистов в области пожаротушения традиционно важна. Одним из способов ее решения является всестороннее и детальное изучение процессов локализации и ликвидации пожара на практических занятиях по учебным дисциплинам «Пожарная тактика» и «Организация пожаротушения» в оперативно-тактическом классе действий должностных лиц на пожаре и классе ситуационного моделирования действий пожарных подразделений при

тушении пожаров на различных объектах экономики. Данная тема более полно раскрывается путем построения совмещенного графика развития и тушения пожара традиционным (графическим) способом и с помощью специального программного обеспечения, что позволяет достичь более высокого уровня профессионального развития обучаемых.

Совмещенный график может быть построен курсантами, студентами и слушателями (далее – обучающимися) несколькими способами. Во-первых, самостоятельно обучающимся при расчете сил и средств на каждый отрезок времени их ввода для тушения пожара. Во-вторых, с помощью специального программного обеспечения моделирования процессов развития и тушения пожара, причем в этом случае совмещенный график строится автоматически при расстановке обучающимся сил и средств прибывших пожарно-спасательных подразделений. В-третьих, комбинированным способом на основе моделирования реальных профессиональных ситуаций, при котором курсант самостоятельно (в графическом редакторе Microsoft Visio) наносит путь, пройденный огнем, на схему объекта и осуществляет расстановку прибывших пожарно-спасательных подразделений, а также, параллельно с этим, выполняет расчеты необходимых сил и средств для тушения пожара в документе Microsoft Excel, который автоматически производит построение совмещенного графика.

Под моделированием реальных профессиональных ситуаций мы будем понимать практические задания, содержащие реальные жизненные ситуации, в которых описываются события, которые имели или могли иметь место и которые приводили к ошибкам в решении производственной проблемы [5].

Построение совмещенного графика традиционным способом осуществляется в декартовой системе координат. В исходных данных пожарно-тактической задачи указывается характеристика объекта, линейная скорость распространения пожара $V_{\text{л}}$, требуемая интенсивность подачи воды на тушение пожара $I_{\text{тр}}$, количество приборов подачи огнетушащих веществ, являющихся фактическим расходом огнетушащих веществ $Q_{\text{ф}}$, временные отрезки и направления ввода приборов подачи огнетушащих на тушение пожара. Курсант самостоятельно выполняет расчеты требуемого количества огнетушащих веществ $Q_{\text{тр}}$ по нескольким отрезкам времени ввода сил и средств на каждый фронт пожара, до момента наступления условия локализации пожара на каждом фронте, а именно $Q_{\text{ф}} \geq Q_{\text{тр}}$ [9, с.39-40].

Решая пожарно-тактическую задачу, курсант графически наносит путь, пройденный огнем, на схему объекта, определяет площадь пожара и отмечает на ней площадь тушения со стороны подачи огнетушащих веществ на глубину, зависящую от вида ствола. Для ручного ствола $h_{\text{г}} = 5$ м, для лафетного ствола $h_{\text{г}} = 10$ м. Расчет сил и средств сводится к нахождению величины $Q_{\text{тр}}$ на каждом

фронте пожара (рис. 1). Полученные значения $S_{\text{п}}$, $S_{\text{т}}$, $Q_{\text{ф}}$, $Q_{\text{тр}}$ заносятся в таблицу (таблица).

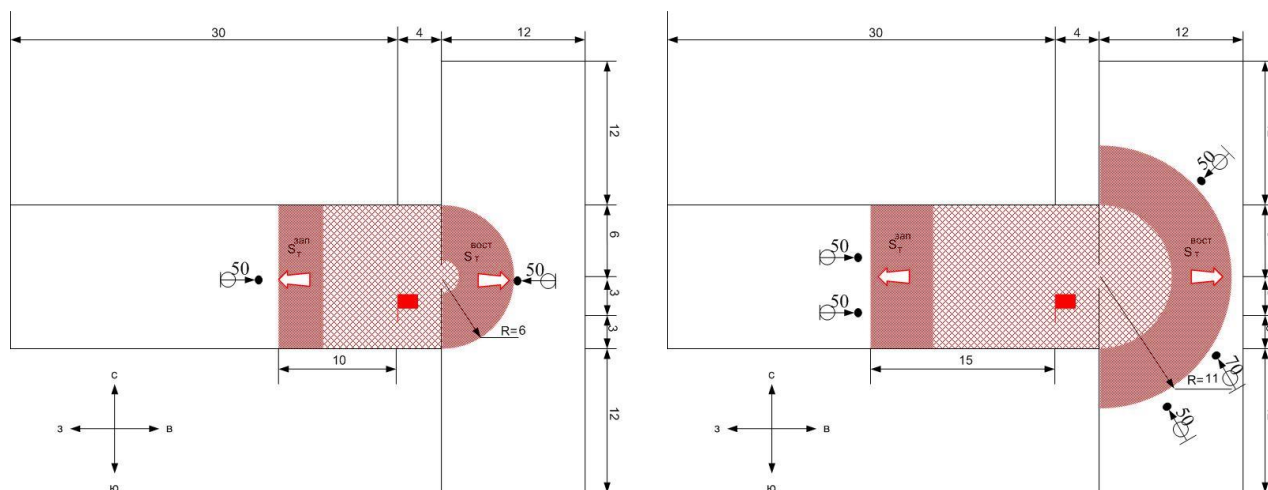


Рис. 1. Нанесение обстановки на схему объекта пожара на два времени ввода приборов подачи огнетушащих веществ

Таблица

Время ввода сил и средств, мин	Площадь пожара, м ²	Площадь тушения, м ²	$Q_{\text{ф}}$, л/с	$Q_{\text{тр}}$, л/с	Выполнение условия локализации, $Q_{\text{ф}} \geq Q_{\text{тр}}$

Построение совмещенного графика осуществляется следующим образом (рис. 2). По левой стороне вертикальной оси откладываются значения площади пожара $S_{\text{п}}$ и тушения $S_{\text{т}}$ измеряемые в м², с правой стороны откладываются значения требуемого $Q_{\text{тр}}$ и фактического $Q_{\text{ф}}$ расхода огнетушащего вещества, измеряемого в л/сек. Расход огнетушащего вещества находится умножением значений площади на требуемую интенсивность подачи огнетушащих веществ характерную для рассматриваемого объекта $Q = S \times I_{\text{тр}}$ [9, с. 41]. На горизонтальной оси откладывается временной интервал от момента возникновения пожара до наступления момента его локализации либо ликвидации, измеряемое в минутах или в часах в зависимости от времени тушения пожара [8, с. 19, 11].

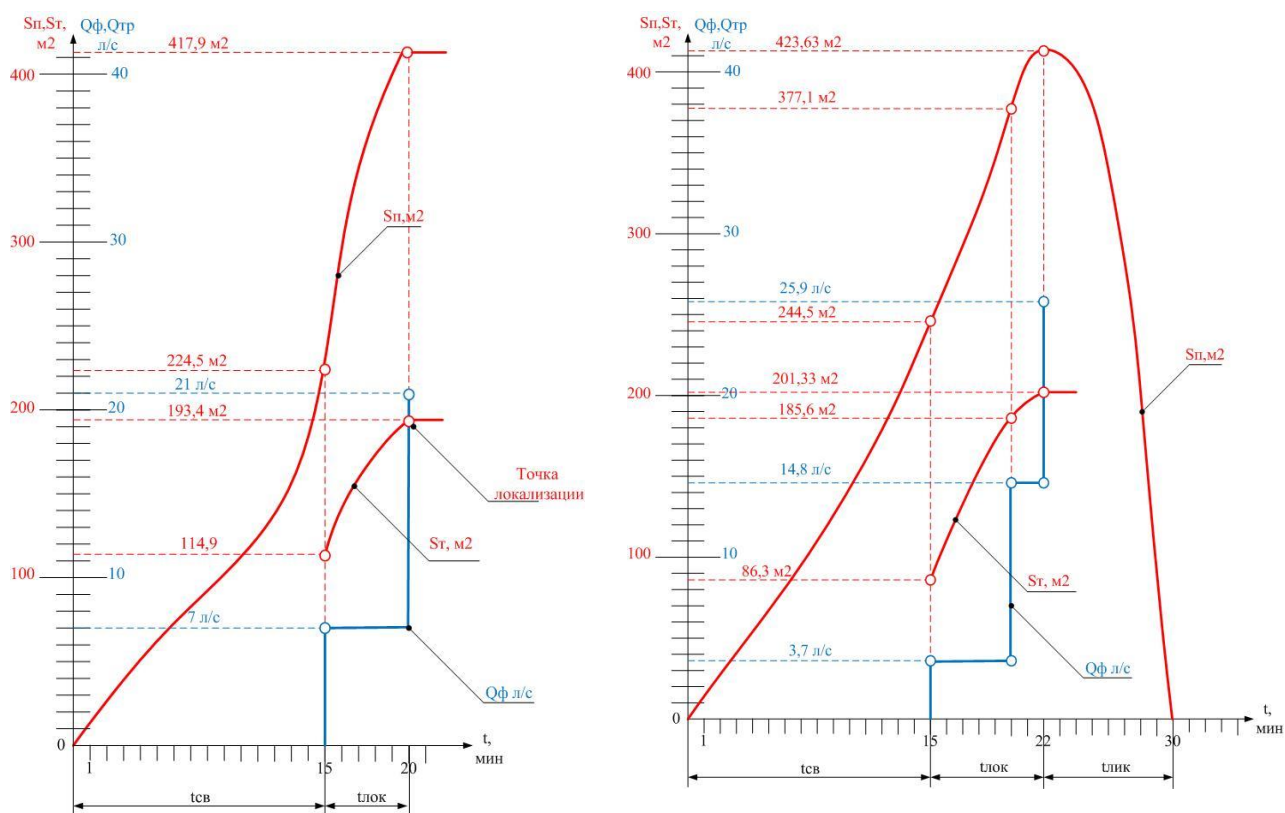


Рис. 2. Пример построения совмещенного графика с двумя и тремя моментами ввода приборов подачи огнетушащих веществ

Координаты точек время-площадь пожара и время-площадь тушения пожара наносятся на каждый момент ввода приборов подачи огнетушащих веществ. Далее линии площади пожара и площади тушения пожара соединяются ломаными линиями красного цвета. Линия площади пожара берет свое начало из нулевой отметки вертикальной оси. При построении линии площади тушения мы придерживались определения, что площадь тушения пожара - это часть площади пожара, на которую в данный момент подается огнетушащее вещество, поэтому она начинается из точки на момент ввода первого прибора подачи огнетушащих веществ [9, с. 7]. График $Q_{ф}$ выполняется ступенчатой линией синего цвета на момент ввода каждого прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара. Высота ступени равна сумме производительности приборов подачи огнетушащих веществ, введенных на тушение пожара в данный момент времени. Основание ступени представляет собой прямую линию.

Условие локализации пожара на совмещенном графике достигается путем пересечения ломаной линии площади тушения пожара со ступенчатой линией Q_{ϕ} . Место их пересечения называется точкой локализации пожара. В случае локализации пожар более распространяться не может, поэтому ломаные линии площади пожара и площади тушения пожара становятся прямыми. Если известно время ликвидации пожара, то ломаная линия площади пожара опускается до нулевой отметки. Отрезок на горизонтальной оси от нулевой отметки до времени ввода первого прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара будет являться временем свободного развития пожара $t_{св}$. Следующий за ним отрезок до локализации пожара называется временем локализации пожара $t_{лок}$. Их завершает отрезок времени ликвидации пожара $t_{лик}$. Однако рассмотренный способ обладает лишь графическим представлением процессов локализации и ликвидации пожара и не связан с расстановкой сил и средств с учетом выбранного решающего направления основных действий по тушению пожара.

Второй способ заключается в визуализации подачи огнетушащих веществ, оказывающих влияние на динамику параметров тушения пожара, в виртуальном тактическом симуляторе и программе для компьютерного моделирования и визуализации действий пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в зданиях и сооружениях [6, 10, 11, с. 8]. С помощью программного обеспечения обучаемые самостоятельно определяют местоположение объектов различного функционального назначения, пожарную технику, водоисточники, очаг пожара и представляют ход развития пожара в динамике прибытия пожарно-спасательных подразделений на месте вызова. Особенностью представления локализации и ликвидации пожара в данном способе является то, что совмещенный график располагается в отдельном окне программы и изменяется автоматически при вводе дополнительных приборов подачи огнетушащих веществ. Это позволяет курсантам рассмотреть в динамике отдельные аспекты процесса локализации и ликвидации пожара, а также использовать полученную информацию при принятии решений на практических занятиях.

Третий способ применяется при проведении практических занятий в классе ситуационного моделирования многофункционального учебного тренажерного комплекса и заключается в комбинированном использовании вышеперечисленных способов на основе платформ Microsoft Visio и Excel. Важность применения платформы Microsoft Visio для пожарно-тактических дисциплин подчеркивалась в трудах О. С. Малютина, так как созданные документы позволяют не просто визуально представить информацию в графическом виде, но и формировать имитационную модель оперативно-тактических действий по тушению пожаров, позволяющую, анализировать

информацию, делать выводы о корректности внесения, обобщать ее и формировать на ее основе новые графические представления или документы [7, с. 73–74].

Проведение практического занятия начинается с получения учебной группой индивидуальных заданий, разработанных на платформе Microsoft Visio. Индивидуальное задание содержит информацию о характеристике объекта пожара, сложившейся обстановке на месте вызова, составе и количестве прибывающих пожарно-спасательных подразделений на различные отрезки времени. Обучаемый, получив исходные данные о времени обнаружения пожара, следования пожарно-спасательного подразделения к месту вызова и развертывания сил и средств, заносит данные в ячейки с формулами документа Microsoft Excel. Документ имеет ряд окон, соответствующих временным отрезкам прибытия дополнительных сил и средств, в которых заложен алгоритм последовательного решения пожарнотактической задачи. На основе расчета геометрических параметров пожара обучаемый самостоятельно наносит путь, пройденный огнем на схему объекта, выполняет расстановку имеющихся в его распоряжении сил и средств на основе решающего направления (рис. 3).

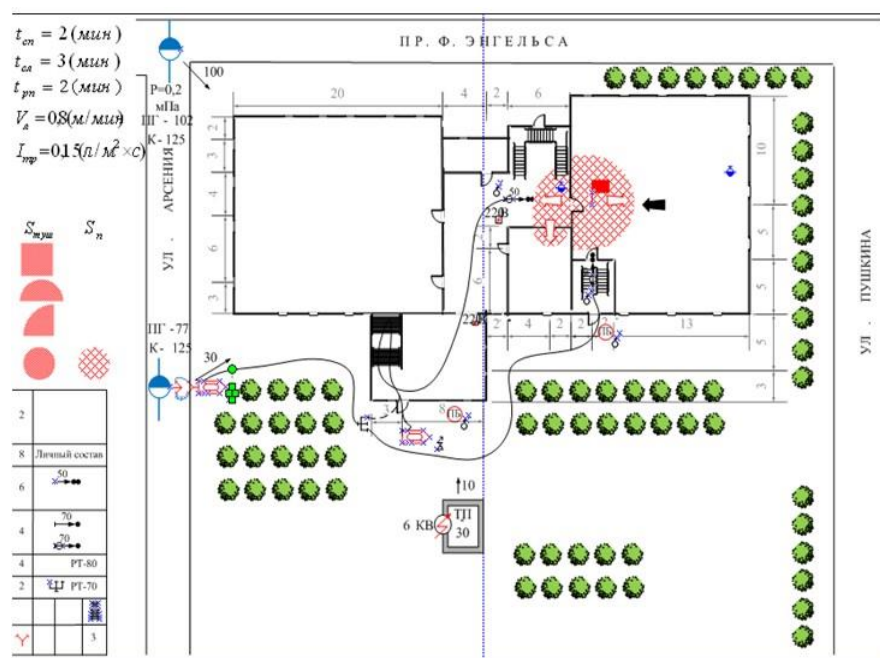


Рис. 3. Нанесение на схему объекта пути, пройденного огнем, и расстановки сил и средств

Полученные при расчете значения $S_{п}$, $S_{т}$, $Q_{ф}$, $Q_{тр}$ автоматически заносятся в таблицу документа Microsoft Excel. Для построения совмещенного графика обучаемый должен выбрать в таблице необходимую область выделения (рис. 4).

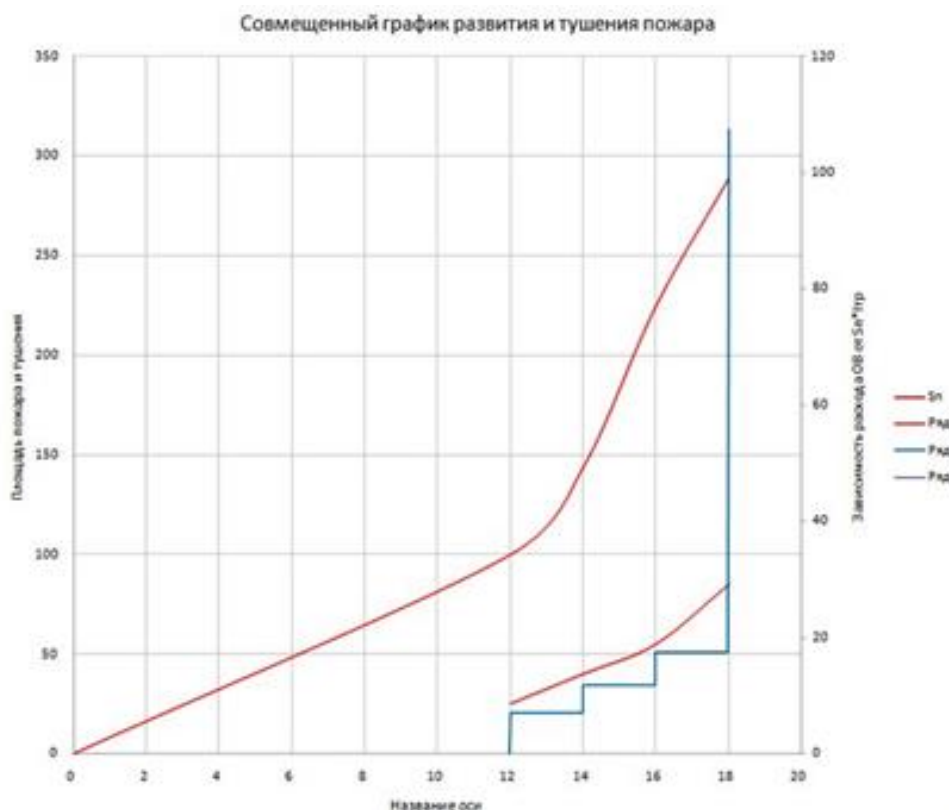


Рис. 4. Построение совмещенного графика в Microsoft Excel

Если условие локализации пожара не выполняется первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением, то обучаемый копирует схему объекта с расстановкой сил и средств на новую вкладку Microsoft Visio. На вкладке представлены временные параметры прибытия дополнительных сил и средств и их количество. После ввода полученных данных в документ Microsoft Excel, обучаемый анализирует изменившийся совмещенный график. Представленная последовательность выполнения упражнения продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто условие локализации пожара.

Эффективность применения моделирования реальных профессиональных ситуаций с построением совмещенного графика имеет свои положительные особенности. Во-первых, обучаемые самостоятельно производят детальный анализ обстановки на месте вызова в динамике развития пожара и прибытия

подразделений пожарно-спасательного гарнизона. Во-вторых, в процессе занятия обучаемые сталкиваются с проблемными вопросами организации пожаротушения, на которые находят наиболее правильные ответы и отвечают на них в процессе выполнения упражнения. В-третьих, упражнение завершается индивидуальным докладом курсанта о предпринятых действиях для выполнения основной задачи и коллективным обсуждением полученных результатов, что позволяет оказывать дополнительное влияние на развитие личности обучающегося [2, 4]. Это закрепляет освоенные в процессе практического занятия знания и навыки, способствует формированию психологических и профессионально значимых личностных качеств у будущих специалистов в области пожаротушения [1, 3, с. 148].

Таким образом, в настоящее время существует множество способов раскрыть для обучаемых тему локализации и ликвидации пожара. Совмещенный график развития и тушения пожара, на наш взгляд, представляет собой наиболее доступное и наглядное средство, с помощью которого обучаемые могут не только проследить ход тушения пожара, но и производить оценку эффективности действий пожарно-спасательных подразделений. Особенно эффективны при построении совмещенного графика классы ситуационного моделирования, так как они содержат необходимые условия для формирования у обучаемых умений проводить самостоятельный детальный анализ профессиональной ситуации, прогнозировать ее возможное поведение и ориентируют их на выбор наиболее правильного способа решения основной задачи, что повышает качество тактической подготовки будущих специалистов в области пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов А.В.* Социально-психологические аспекты оптимального взаимодействия в экстремальных условиях / А. В. Абрамов, Е. А. Шмелева, П. А. Кисляков // Гуманитарные основания социального прогресса: Россия и современность. 2016. С. 6–10.
2. *Белорожнев О.Н.* Особенности подготовки курсантов вузов МЧС России к активному взаимодействию в чрезвычайных ситуациях // Вестник Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Серия: Педагогические и психологические науки. 2015. № 20 (39). С. 49–53.
3. *Ермилов А.В.* Использование виртуального компьютерного программного обеспечения в развитии индивидуально-личностных качеств // Научный поиск. 2015. № 3.2. С. 37–38.
4. *Ермилов А.В.* Формирование индивидуально личностных качеств курсантов вузов МЧС России на основе личностно-деятельностного подхода // Вестник

Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. 2015. № 3 (27). С. 88–94.

5. *Лаврентьев Г.В., Лаврентьева Н.Б., Неудахина Н.А.* Инновационные обучающие технологии в профессиональной подготовке специалистов. Ч.2. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002.

6. *Малый И.А., Потемкина О.В., Ермилов А.В.* Методы развития профессионально значимых качеств у курсантов вуза МЧС России с применением программного обеспечения // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. № 1. С. 144–149.

7. *Малютин О.С.* Автоматизация составления схем тушения пожаров с использованием ИАГ ГРАФИС // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России. 2015. 204 с.

8. Методические рекомендации по изучению пожаров / утв. Главным военным экспертом генерал-полковником П. В. Платом. М., 2013. С. 19.

9. *Наумов А.В., Самохвалов Ю.П., Семенов А.О.* Сборник задач по основам тактики тушения пожаров: учебное пособие под общ. ред. М. М. Верзилина. Иваново, ИВИ ГПС МЧС России, 2008. 185 с.

10. *Тараканов Д.В., Саттаров И.Ф.* Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2014. № 6 (58). С. 96–104.

11. *Тараканов Д.В., Варламов Е.С., Илеменов М.В.* Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2014. № 5 (57). С. 114–123.

A. V. Yermilov, A. S. Schetkin, K. A. Gashuk

FEATURES OF CONSTRUCTION OF COMBINED GRAPHICS DEVELOPMENT AND FIRE

Reveals how to build composite graphics development and fire when studying fire and tactical disciplines using the traditional method, special modelling software development processes and extinguishing the fire and combined method based on simulations of real professional situations. Special attention is paid to the peculiarities of building composite graphics based on simulations of real professional situations, as a way to play in the conditions of learning processes occurring in the real activity of a specialist in the field of fire. Conclusions on the efficacy of this method. Firstly, trained themselves to produce a detailed analysis of the situation on the ground call in fire dynamics and fire rescue units of the arrival of the garrison. Secondly, in the course of lessons students are faced with issues of organizing fire, on which are found the most correct answers and respond to them during the execution of the exercise. Thirdly, the exercise is completed the individual trainee's report on actions undertaken to perform basic tasks and collective discussion of the results obtained, that allows to provide additional impact on the development of the individual student. The outcome of the study is to develop professionally significant personal qualities for future specialists in the field of fire fighting and as a consequence, their tactical training.

Keywords: trainees; personal qualities; practice lesson; situational class; modeling; professional situation; fire; the composite chart.

REFERENCES

1. *Abramov A.V.* Social'no-psihologicheskie aspekty optimal'nogo vzaimodejstviya v jekstremal'nyh usloviyah / A. V. Abramov, E. A. Shmeleva, P. A. Kisljakov // *Gumanitarnye osnovaniya social'nogo progressa: Rossiya i sovremennost'*. 2016. S. 6–10.
2. *Belorozhev O.N.* Osobennosti podgotovki kursantov vuzov MChS Rossii k aktivnomu vzaimodejstviyu v chrezvychajnyh situacijah // *Vestnik Vladimirskogo gosudarstvennogo universiteta im. Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaja Grigor'evicha Stoletovyh. Serija: Pedagogicheskie i psihologicheskie nauki*. 2015. № 20 (39). S. 49–53.
3. *Ermilov A.V.* Ispol'zovanie virtual'nogo komp'juternogo programmno obespechenija v razvitii individual'no-lichnostnyh kachestv // *Nauchnyj poisk*. 2015. № 3.2. S. 37–38.
4. *Ermilov A.V.* Formirovanie individual'no lichnostnyh kachestv kursantov vuzov MChS Rossii na osnove lichnostno-dejatel'nostnogo podhoda // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Psihologo-pedagogicheskie nauki*. 2015. № 3 (27). S. 88–94.
5. *Lavrent'ev G.V., Lavrent'eva N.B., Neudahina N.A.* Innovacionnye obuchajushhie tehnologii v professional'noj podgotovke specialistov. Ch.2. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2002.

6. *Malyj I.A., Potemkina O.V., Ermilov A.V.* Metody razvitiya professional'no znachimyh kachestv u kursantov vuza MChS Rossii s primeneniem programmnoy obespecheniya // *Sovremennye naukoemkie tehnologii. Regional'noye prilozhenie*. 2016. № 1. S. 144–149.

7. *Maljutin O.S.* Avtomatizatsiya sostavleniya shem tusheniya pozharov s ispol'zovaniem IAG GRAFIS // *Shkola molodyh uchenykh i specialistov MChS Rossii*. 2015. 204 s.

8. Metodicheskie rekomendatsii po izucheniju pozharov / utv. Glavnym voennym jekspertom general-polkovnikom P. V. Platom. M., 2013. S. 19.

9. *Naumov A.V., Samohvalov Ju.P., Semenov A.O.* Sbornik zadach po osnovam taktiki tusheniya pozharov: uchebnoye posobie pod obshh. red. M. M. Verzilina. Ivanovo, IvI GPS MChS Rossii, 2008. 185 s.

10. *Tarakanov D.V., Sattarov I.F.* Komp'yuternaya model' likvidatsii pozharov dlja takticheskoy podgotovki pozhar'nykh // *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal*. 2014. № 6 (58). S. 96–104.

11. *Tarakanov D.V., Varlamov E.S., Ilemenov M.V.* Komp'yuternoe mode-lirovanie processov razvitiya i tusheniya pozharov v zdaniyakh // *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal*. 2014. № 5 (57). S. 114–123.

Ермилов Алексей Васильевич

Преподаватель

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

E-mail: skash_666@mail.ru

Yermilov Aleksey Vasilyevich

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

Щеткин Артем Сергеевич

Курсант

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

E-mail: tema5199@mail.ru

Schetkin Artem Sergeevich

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

Гашук Константин Александрович

Курсант

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

E-mail: gashuk-kostj@mail.ru

Gashuk Konstantin Aleksandrovich

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 519.6

И. М. Чистяков, Р. М. Шипилов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ

Рассмотрены основные характеристики процесса функционирования звеньев ГДЗС на пожаре, влияющие на организацию газодымозащитной службы пожарно-спасательного гарнизона пожарной охраны. Предложен и апробирован стохастический подход к моделированию и прогнозированию параметров работы звеньев газодымозащитной службы с целью оптимизации ее деятельности.

На основе предложенного авторами метода моделирования показателей функционирования газодымозащитной службы представляется возможным улучшить процессы сосредоточения необходимого качественного и количественного состава газодымозащитной службы, что в свою очередь, приводит к существенному снижению потенциального ущерба, наносимого отечественной экономике чрезвычайными ситуациями и крупными пожарами.

Практическая значимость заключается в возможности использования полученных результатов при планировании и организации привлечения газодымозащитной службы к ликвидации крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: газодымозащитная служба; звено газодымозащитной службы; непригодная для дыхания среда, математическая модель; пожарно-спасательный гарнизон; локализация пожара; ликвидация пожара; пожарная охрана; временные характеристики процесса функционирования газодымозащитной службы; время работы звена газодымозащитной службы.

Газодымозащитная служба является одной из главных в комплексе специальных служб пожарной охраны, так как она предназначена для обеспечения ведения оперативных действий подразделений пожарной охраны в непригодной для дыхания среде при спасении людей, тушении пожаров и ликвидации последствий аварий, поэтому вопросам организации деятельности газодымозащитной службы уделяется очень большое внимание.

Основными временными характеристиками процесса функционирования газодымозащитной службы, отражающими ее реакцию на поступающие вызовы, является:

- 1) Время следования первого пожарно-спасательного подразделения (и следующих за ним, в случае необходимости) к месту вызова;
- 2) Время основных действий (с момента прибытия первого пожарно-спасательного подразделения на пожар до локализации) на месте вызова;
- 3) Время основных работ (с момента локализации до ликвидации пожара, последствий аварий и пр.) на месте вызова;
- 4) Время следования пожарно-спасательного подразделения к месту дислокации;
- 5) Общее время работы звена ГДЗС.

Рассмотрим эти характеристики, связь между ними и их математическое описание.

Под временем занятости звена ГДЗС понимается промежуток времени от момента включения звена до выхода из задымленной зоны и выключения из аппарата.

Этот промежуток времени является суммой нескольких менее продолжительных временных интервалов: времени включения в аппарат, времени следования к очагу пожара, времени основной работы. Время основных работ – это промежуток времени от момента прибытия на место вызова до момента локализации, ликвидации и прибытия к месту постоянной дислокации (в депо).

Поскольку характер основных действий может быть различным (тушение пожаров, ликвидация последствий аварий, откачка воды, оказание первой помощи людям), то дальнейшая детализация этого промежутка времени может быть различной. Например, основных действия по тушению пожара включает в себя разведку, спасение людей и имущества, развертывание сил и средств, ликвидация горения, выполнение специальных работ, причем все эти действия могут выполняться одновременно.

В любом случае время занятости подразделений больше времени основной работы (в частности, продолжительность тушения пожара). Эту величину необходимо, прежде всего, знать для обоснования численности оперативных отделений пожарной охраны. Продолжительность тушения пожара нужно уметь оценивать для обоснования запасов огнетушащих веществ (воды, порошка, пенообразователя) и иных средств. Время работы в непригодной для дыхания среде является важной характеристикой эффективности организации и готовности пожарно-спасательного гарнизона пожарной охраны.

Все указанные временные характеристики процесса функционирования газодымозащитной службы с теоретико-вероятностной точки зрения являются непрерывными случайными величинами функциями распределения и

числовыми характеристиками (математическим ожиданием, дисперсией, средним квадратичным отклонением).

Рассмотрим, например, продолжительности тушения пожара τ_t , т.е. промежуток времени от момента введения сил и средств на пожаре (иными словами, от момента прибытия первого подразделения на пожар) до момента окончания тушения. Очевидно, теоретически эта величина может принять любое значение от 0 до ∞ , т.е. ее возможные значения заполняют всю продолжительную полуось.

Введем функцию распределения $F(t)=P\{\tau_t < t\}$, т.е. вероятность того, что продолжительность тушения пожара будет меньше некоторого фиксированного значения t . Принято, что при $t=0$ будет иметь $F(t)=0$, а $F(\infty)=1$, так как пожар наверняка будет потушен за какой-то конечный промежуток времени. Учитывая, что $F(t)$ – неубывающая функция (см. свойства функций распределения), можно изобразить ее примерный график (рис. 1).

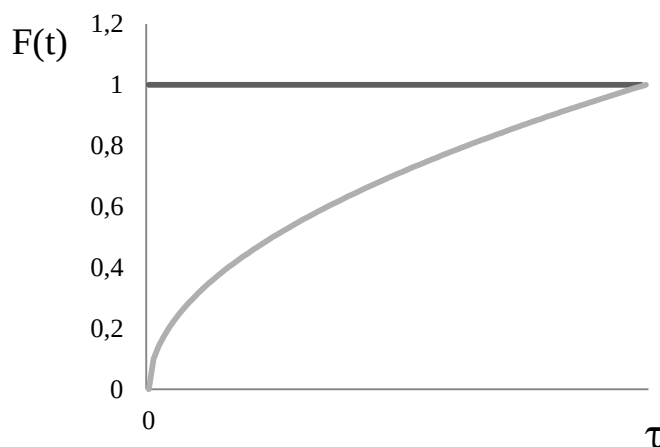


Рис. 1. График показательного закона распределения непрерывной случайной величины: $F(t)=1-e^{-\mu t}$

Аналитически во многих случаях эту функцию можно записать так:

$$F(t)=1-e^{-\mu t} \quad (t \geq 0). \quad (1)$$

Здесь параметр μ – некоторая постоянная, физический смысл которой скоро выясним.

Закон распределения непрерывной случайной величины, определяемый функцией (1), играет большую роль в теории вероятностей и ее приложениях, и называется показательным (экспоненциальным) законом распределения.

Плотность $f(t)$ показательного закона распределения имеет вид:

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}. \quad (2)$$

(Здесь нужно вспомнить, что $f(t) = F(t)$). График функции $f(t)$ изображен на рис. 2.

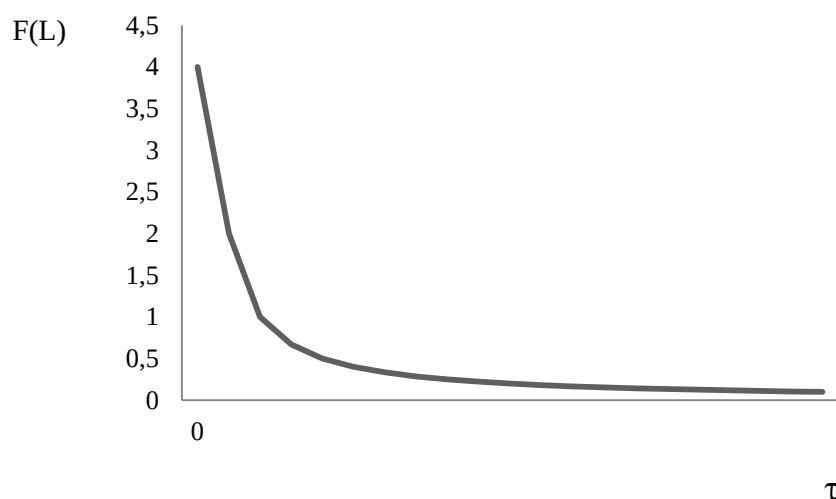


Рис. 2. График плотности показательного закона распределения: $f(t) = \mu e^{-\mu t}$

Используя содержание п. 2, найдем вероятность того, что продолжительность работы звеньев ГДЗС будет находиться в интервале $[t_1, t_2]$

$$P\{t_1 \leq \tau_T < t_2\} = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} \mu e^{-\mu t} dt = e^{-\mu t_1} - e^{-\mu t_2}. \quad (3)$$

Очевидно, что для получения этого результата можно обойтись и без интегрирования, если использовать выражение (1) и формулу (2).

Выясним теперь физический смысл параметра μ показательного распределения. Для этого найдем математическое ожидание и дисперсию этого распределения с помощью формулы (1) и (3). При этом для наглядности будем предлагать, что продолжительность пожара τ_T описывается именно показательным законом распределения.

Тогда математическое ожидание этой величины (т.е. среднее значение продолжительности работы звеньев ГДЗС) можно найти таким образом:

$$M(\tau_T) = \bar{\tau}_T = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \mu e^{-\mu t} dt. \quad (4)$$

Применяя для вычисления этого несобственного интеграла метод интегрирования по частям, получим:

$$M(\tau_T) = \bar{\tau}_T = \frac{1}{\mu}. \quad (5)$$

Отсюда становится ясным физический смысл параметра μ , он равен обратной величине средней продолжительности работы звеньев ГДЗС. Следовательно, всегда параметр показательного распределения равен обратной величине среднего значения случайной величины, распределений по показательному закону.

Вычисляя аналогичным образом дисперсию случайной величины, подчиняющейся показательному распределению, получим:

$$D(\tau_T) = \int_0^{\infty} t^2 \mu e^{-\mu t} dt - \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = \frac{1}{\mu^2}. \quad (6)$$

В таком случае:

$$\sigma(\tau_T) = \sqrt{D(\tau_T)} = \frac{1}{\mu}. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (4) и (7), видим, что

$$M(\tau_T) = \sigma(\tau_T) = \frac{1}{\mu}. \quad (8)$$

Это означает, что если случайная величина подчиняется показательному закону распределения, то ее среднее значение равно среднему квадратическому отклонению. Поэтому при формировании статистической гипотезы о характере закона распределения некоторой непрерывной случайной величины X полезно сопоставить значения $M(X)$, и если они окажутся достаточно близкими друг к другу, можно предположить, что данная величина подчиняется показательному закону распределения, и проверить эту гипотезу с помощью критериев согласия.

Показательным законом во многих случаях хорошо описываются такие ситуации, когда плотность распределения той или иной временной характеристики сравнительно быстро убывает при возрастании времени t .

Например, можно высказать предположение, что время основной работы пожарно-спасательных подразделений за достаточно большой промежуток времени будет вполне удовлетворительно описываться именно показательным законом распределения, так как значительное количество выездов связано с небольшими загораниями, ликвидация которых занимает мало времени.

Однако не следует думать, что показательный закон распределения временных характеристик работы звеньев ГДЗС будет часто встречаться по практике. Во многих случаях более удачной математической моделью временных характеристик процесса функционирования пожарной охраны может служить закону Эрланга (или какой-нибудь другой закон распределения).

Закон Эрланга является в определенном смысле обобщением показательного закона распределения. Его плотность имеет следующее аналитическое выражение:

$$f(t) = \mu \frac{(\mu t)^r}{r!} e^{-\mu t} (t \geq 0, r = 0, 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Очевидно, при $r=0$ имеем показательный закон распределения, который можно называть закон Эрланга нулевого порядка. При $r=1$ получим соответственно закон Эрланга первого порядка и т.д.

Используя свойства математических ожиданий и дисперсий, можно показать, что математическое ожидание случайной величины X , подчиненной закону Эрланга r -го порядка, имеет вид:

$$M(X) = \frac{r+1}{\mu}. \quad (10)$$

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение соответственно будут равны:

$$M(X) = \frac{r+1}{\mu^2}. \quad (11)$$

$$M(X) = \frac{\sqrt{r+1}}{\mu}. \quad (12)$$

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Таблица 1. Предварительный расчет показателей вариационных рядов

1.	Число звеньев ГДЗС	0	1	2	3	>3	Контрольный столбец
2.	Эмпирическое число	919	161	43	37	15	1175
3.	Теоретическое число	822.5	287.8	49.3	5.8	0.5	1166

$$(\kappa = 0, 1, 2, \dots)$$

$$({}_0)N_{\kappa} = 1175 \frac{0,35^{\kappa}}{\kappa!} e^{-0,35} = 1175 \frac{0,35^0}{1} 2,71^{-0,35} = 822,5$$

$$({}_1)N_{\kappa} = 1175 \frac{0,35^{\kappa}}{\kappa!} e^{-0,35} = 287,8$$

$$({}_2)N_{\kappa} = 1175 \frac{0,35^{\kappa}}{\kappa!} e^{-0,35} = 49,3$$

$$({}_3)N_{\kappa} = 1175 \frac{0,35^{\kappa}}{\kappa!} e^{-0,35} = 5,8$$

$$({}_4)N_{\kappa} = 1175 \frac{0,35^{\kappa}}{\kappa!} e^{-0,35} = 0,5$$

Таблица 2. Доля количества потушенных пожаров с применением звеньев ГДЗС

1.	Число звеньев ГДЗС	0	1	2	3	>3	Контрольный столбец
2.	Эмпирическое число	0,78	0,13	0,03	0,03	0,01	0,98
3.	Теоретическое число	0,70	0,24	0,04	0,004	$\frac{0,000}{4}$	0,98

Найдем теперь основные числовые характеристики этого вариационного ряда:

$$\lambda = \frac{0,78 \cdot 0 + 0,13 \cdot 1 + 0,03 \cdot 2 + 0,03 \cdot 3 + 0,01 \cdot 4}{0,98} = 0,32.$$

$$D = \frac{0,78 \cdot 0^2 + 0,13 \cdot 1^2 + 0,03 \cdot 2^2 + 0,03 \cdot 3^2 + 0,01 \cdot 4^2}{0,98} - 0,32^2 = 0,59.$$

$$\sigma = \sqrt{D} = 0,76.$$

Сравним значения λ и D , видим, что они очень близки друг к другу. Это позволяет предположить, что распределение Пуассона с параметром $\lambda = 0,32$ может хорошо описывать имеющиеся эмпирическое распределение числа.

Воспользуемся критерием Романовского для подтверждения нашего предварительного вывода. Сначала вычислим значение критерия Пирсона (объединив последние 2 разряда):

$$\chi^2 = \frac{(0,78-0,70)^2}{0,70} + \frac{(0,13-0,24)^2}{0,24} + \frac{(0,03-0,04)^2}{0,04} + \frac{(0,03-0,004)^2}{0,004} + \frac{(0,01-0,0004)^2}{0,0004} = 0,461$$

Число степеней свободы в данном случае

$$s = 4 - 1 - 1 = 2,$$

так как в распределении Пуассона имеется только один параметр λ , значение которого определили с помощью эмпирического распределения.

В таком случае значение критерия Романовского

$$R = \frac{|\chi^2 - s|}{\sqrt{2s}} = \frac{|0,461 - 2|}{\sqrt{4}} = 0,76 < 3.$$

Полученное значение $R=0,76$ позволяет считать, что эмпирическое и теоретическое распределение звеньев ГДЗС хорошо согласуются между собой.

Таким образом, произведенное моделирование временных характеристик работы звеньев ГДЗС на пожаре позволяет обоснованно принимать решения по выбору вида СИЗОД на основе времени его защитного действия, а также принимать организационные решения, такие как доставка на пожар дополнительных баллонов дыхательных аппаратов.

На основе более детального теоретического исследования данных наблюдений за функционированием ГДЗС представляется возможным расширить область применения рассмотренных математических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной

защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде: приказ МЧС России от 09.01.2013 г. № 3.

2. Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны: приказ МЧС России от 31.03.2011 г. № 156.

3. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: приказ Минтруда России от 23.12.2014 г. № 1100н.

4. *Брушлинский Н.Н.* Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы / Н. Н. Брушлинский. М.: МИПБ МВД России, 1998. 255 с.

5. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных (СИЗОД): учебное пособие. 2-е изд.; перераб. / В. А. Грачев, С. В. Собурь, И. В. Коршунов и др. М.: Пож. книга, 2012. 190 с., ил.

6. *Грачев В.А.* Газодымозащитная служба / В. А. Грачев, В. В. Теребнев, Д. В. Поповский. М.: Калан, 2012. 280 с., ил.

7. *Ларичев О.И.* Теории и методы принятий решений / О. И. Ларичев. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 392 с.

8. *Ногин В.Д.* Принятие решений при многих критериях / В. Д. Ногин. СПб.: Издательство Ютас, 2007. 104 с.

9. *Теребнев В.В.* Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания) / В. В. Теребнев. Екатеринбург: ООО Издательство «Калан», 2012. 460 с.

10. Организация деятельности газодымозащитной службы: учебно-методическое пособие для курсантов и слушателей всех форм обучения по направлению подготовки 20.05.01 Пожарная безопасность; по направлению подготовки бакалавра 20.03.01 Техносферная безопасность (профиль «Пожарная безопасность») / И. М. Чистяков, С. Н. Никишов, Е. Е. Соколов и др. Иваново: ООНИ ИПСА ГПС МЧС России, 2015. 172 с., ил.

I. M. Chistyakov, R. M. Shipilov

THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE TEMPORAL CHARACTERISTICS OF THE FUNCTIONING OF THE PROCESS GAZODYMOZASCHITNOY SERVICE

The main characteristics of the units functioning process GDZS on fire, affecting the organization gazodymozaschitnoy Fire and Rescue Service fire protection garrison. Proposed and tested stochastic approach to modeling and forecasting parameters of the units gazodymozaschitnoy service in order to optimize its performance. On the basis of indicators proposed by the authors method of modeling the functioning gazodymozaschitnoy service it is possible to improve the processes of concentration of the necessary qualitative and quantitative composition gazodymozaschitnoy service, which in turn, leads to a significant reduction in the potential damage to the national economy, emergencies and major fires. The practical significance lies in the possibility of using the results for planning and organization to attract gazodymozaschitnoy service to the elimination of large fires and emergencies.

Keywords: gazodymozaschitnaya service; gazodymozaschitnoy link service; unbreathable environment mathematical model; fire and rescue the garrison; fire localization; elimination of fire; fire protection; temporal characteristics of the functioning of the process gazodymozaschitnoy service; while the link gazodymozaschitnoy service.

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Pravil provedeniya lichnym sostavom federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby avarijno-spasatel'nyh rabot pri tushenii pozharov s ispol'zovaniem sredstv individual'noj zashhity organov dyhaniya i zreniya v neprigodnoj dlja dyhaniya srede: prikaz MChS Rossii ot 09.01.2013 g. № 3.
2. Ob utverzhdenii porjadka tusheniya pozharov podrazdelenijami pozharnoj ohrany: prikaz MChS Rossii ot 31.03.2011 g. № 156.
3. Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda v podrazdelenijah federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby: prikaz Mintruda Rossii ot 23.12.2014 g. № 1100n.
4. Brushlinskij N. N. Sistemnyj analiz dejatel'nosti Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby / N. N. Brushlinskij. M.: MIPB MVD Rossii, 1998. 255 s.
5. Sredstva individual'noj zashhity organov dyhaniya pozharnyh (SIZOD): uchebnoe posobie. 2-e izd.; pererab. / V. A. Grachev, S. V. Sobur', I. V. Korshunov i dr. M.: Pozh. kniga, 2012. 190 s., il.
6. Grachev V. A. Gazodymozashhitnaja sluzhba / V. A. Grachev, V. V. Terebnev, D. V. Popovskij. M.: Kalan, 2012. 280 s., il.
7. Larichev O. I. Teorii i metody prinjatij reshenij / O. I. Larichev. M.: Universitetskaja kniga, Logos, 2008. 392 s.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

8. *Nogin V. D.* Prinjatje reshenij pri mnogih kriterijah / V. D. Nogin. SPb.: Izdatel'stvo Jutas, 2007. 104 s.

9. *Terebnev V. V.* Raschet parametrov razvitija i tushenija pozharov (Metodika. Primery. Zadanija) / V. V. Terebnev. Ekaterburg: ООО Izdatel'stvo «Kalan», 2012. 460 s.

10. Organizacija dejatel'nosti gazodymozashhitnoj sluzhby: uchebno-metodicheskoe posobie dlja kursantov i slushatelej vseh form obuchenija po napravleniju podgotovki 20.05.01 Pozharnaja bezopasnost'; po napravleniju podgotovki bakalavra 20.03.01 Tehnosfernaja bezopasnost' (profil' «Pozharnaja bezopasnost'») / I. M. Chistjakov, S. N. Nikishov, E. E. Sokolov i dr. Ivanovo: OONI IPSA GPS MChS Rossii, 2015. 172 s., il.

Чистяков Илья Михайлович

Старший преподаватель

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

E-mail: carcassburner@mail.ru

Chistyakov Ilya Mikhailovich

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

Шипилов Роман Михайлович

Доцент

Кандидат педагогических наук

Доцент

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

E-mail: rim-sgpu@rambler.ru

Shipilov Roman Mikhailovich

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

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=234925

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 66.011:66.023

С. В. Натарева, А. А. Быков, С. В. Беляев

ИОНООБМЕННАЯ АДСОРБЦИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПУЛЬСАЦИОННОЙ КОЛОННЕ

Предложено математическое описание процесса ионообменной очистки растворов от ионов тяжелых металлов в пульсационной колонне с провальными тарелками КРИЗМ. Математическое описание включает уравнение изотермы Никольского, уравнение материального баланса, уравнение диффузии для сферической частицы, двухпараметрическое диффузионное уравнение гидродинамической структуры потока раствора и граничные условия. Для решения поставленной задачи используется интервально-итерационный метод. Установлена адекватность разработанной математической модели на примере очистки сточных вод от ионов никеля на катионите КУ-2-8 (Н-форма). Характеристики ионообменной колонны: расход раствора – $3,492 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (опыт № 1), $492 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (опыт № 2); расход катионита – $0,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ (опыт № 1), $492 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (опыт № 2); концентрация исходного раствора – $1,87 \cdot 10^{-3} \text{ кг-экв/м}^3$; диаметр аппарата – 0,2 м; высота слоя катионита на тарелке – $3,63 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ (опыт № 1); $492 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (опыт № 2); количество тарелок – 20. Представлены экспериментальные и расчетные зависимости распределения средней концентрации ионов Ni^{2+} в растворе по высоте аппарата и распределения концентрации ионов Ni^{2+} в растворе по радиусу аппарата. Отклонение расчетных данных от экспериментальных данных не превышает 10 %. Математическая модель рекомендована для применения в инженерных расчетах.

Ключевые слова: ионный обмен; математическая модель; тарельчатая колонна; тарелки КРИЗМ; очистка вода; катионит КУ-2-8; ионы тяжелых металлов.

Ионный обмен относится к одному из универсальных процессов химической технологии, который применяется для глубокой очистки растворов и сточных вод промышленных предприятий от ионов цветных и тяжелых металлов. Эффективность ионообменной очистки в значительной мере определяется аппаратным оформлением процесса. Среди большого многообразия различного оборудования для ионного обмена выделим

пульсационные колонные аппараты с провальными тарелками КРИЗМ [1], которые устанавливаются по высоте колонного аппарата с чередованием направления лопаток (рис. 1), что обеспечивает интенсивное перемешивание ионита и раствора, предотвращает образование застойных зон, канальных и пристеночных эффектов.

Для расчета данных аппаратов требуется обычно выполнение многократных вычислительных операций на ЭВМ. Использование рационального сочетания аналитических и численных методов позволяет упростить исходную систему уравнений, уменьшить их размерность и получить искомое решение задачи с учетом различных нелинейных эффектов переноса [2]. Целью работы является создание математического описания ионообменной адсорбции ионов тяжелых металлов в пульсационной колонне с провальными тарелками на основе на совместного рассмотрения статики и кинетики процесса, а также особенностей движения раствора и ионита в аппарате.

Ионообменная колонна (рис. 1) представляет собой вертикальный цилиндрический корпус диаметром d_a с тарелками КРИЗМ, нумерацию N которых примем по высоте аппарата снизу вверх. Для построения математического описания выделим в данном аппарате i -ую тарелку. Ионит с заданным объемным расходом $\bar{Q}$ и начальной концентрацией сорбируемого иона $\bar{C}_{cp.вх.i}$ подается на i -ую тарелку сверху.

Исходный раствор поступает на эту тарелку снизу вверх с объемным расходом Q и концентрацией $C_{вх.i}$, проходит через слой ионита высотой h и

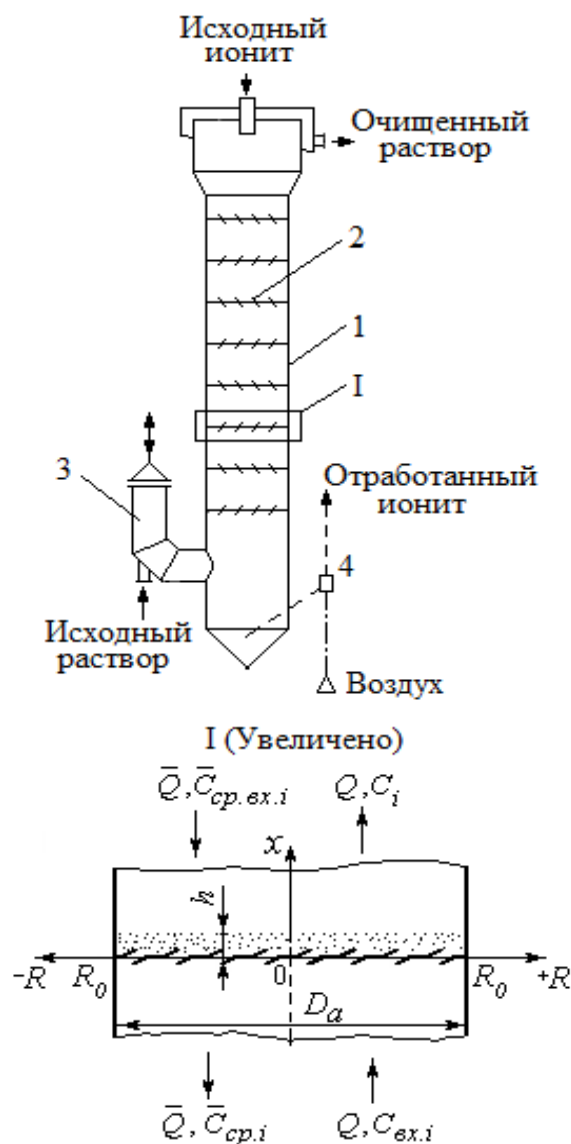


Рис. 1. Схема тарельчатой колонны:
1 – корпус, 2 – тарелка КРИЗМ,
3 – пульсационное устройство, 4 – эрлифт

очищается до концентрации C_i , значение которой неизвестно. Отработанный ионит с неизвестным содержанием целевого компонента $\bar{C}_{cp,i}$ выводится через отверстия в тарелке на нижерасположенную тарелку.

При разработке математического описания используем следующие допущения: 1) зерна ионита имеют сферическую форму; 2) ионообменное равновесие описывается нелинейным уравнением изотермы Никольского; 3) скорость процесса ионного обмена лимитируется как внешней, так и внутренней диффузией; 4) ионит и раствор движутся в противоположных направлениях; 5) структура потока раствора на тарелке описывается двухпараметрической диффузионной моделью с учетом эффектов продольного и радиального перемешивания; 6) направление движения раствора совпадает с направлением координаты $0x$.

Математическое описание процесса ионного обмена на i -ой тарелке включает следующие уравнения:

уравнение материального баланса в общем виде:

$$Q(C_{\text{ex},i} - C_i) = \bar{Q}(\bar{C}_{cp,i} - \bar{C}_{cp,\text{ex},i}); \quad (1)$$

уравнение материального баланса по жидкой фазе:

$$\varepsilon v \frac{\partial C_i}{\partial x} - (1 - \varepsilon) w \frac{\partial \bar{C}_{cp,i}}{\partial x} - \varepsilon D_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - \varepsilon D_r \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial C_i}{\partial R} \right) = 0; \quad (2)$$

уравнение диффузии для сферической частицы:

$$w \frac{\partial \bar{C}_i(r, x)}{\partial x} = \bar{D}_s \left[\frac{\partial \bar{C}_i^2(r, x)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \bar{C}_i(r, x)}{\partial r} \right],$$

$$0 \leq r \leq r_0; \quad (3)$$

граничные условия:

$$C_i|_{x=0} = C_{\text{ex},i}(R); \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial C_i}{\partial x} \right|_{x=h} = 0; \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial C_i}{\partial x} \right|_{\substack{x=0 \\ R=R_0}} = 0 ; \quad (6)$$

$$C_i \Big|_{\substack{x=0 \\ R=0}} = C_{ex.i} ; \quad (7)$$

$$\bar{C}_i \Big|_{x=h} = \bar{C}_{cp.i} \Big|_{x=h} = \bar{C}_{cp.ex.i} ; \quad (8)$$

$$\bar{D}_\varnothing \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \beta (C_i - C_{cp.i}) ; \quad (9)$$

$$\left. \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 ; \quad (10)$$

уравнение связи между средней концентрацией сорбируемого иона в частице $\bar{C}_{cp.i}(x, R)$ и локальным её значением $\bar{C}_i(x, R, r)$ на поверхности частицы:

$$w \frac{\partial \bar{C}_{cp.i}(x, R)}{\partial x} = 3 \frac{\bar{D}_\varnothing}{r_0} \frac{\partial \bar{C}_i(x, R, r)}{\partial r} \Big|_{r=r_0} ; \quad (11)$$

уравнение изотермы Никольского, которое в случае обмена двухвалентного иона на одновалентный имеет вид:

$$K_c = \frac{(C_{ex} - C_i^*)^2 \bar{C}_i^*}{(a_0 - \bar{C}_i^*)^2 C_i^*} , \quad (12)$$

где $C_{ex.i} < C_{ex.i}(R) < C_{ex.cm.i}$; a_0 – обменная емкость ионита, кг-экв/м³; C и $\bar{C}$ – концентрация целевого компонента в растворе и ионите, соответственно, кг-экв/м³; $C_{ex.i}$ – концентрация раствора, входящего в центр i -ой тарелки, кг-экв/м³; $C_{ex.cm.i}$ – концентрация раствора, входящего на i -ую тарелку у стенки аппарата, кг-экв/м³; C^* и $\bar{C}^*$ – равновесные концентрации сорбируемого иона в растворе и ионите, кг-экв/м³; D_x – коэффициент продольной диффузии раствора, м²/с; D_r – коэффициент радиальной диффузии раствора, м²/с; $\bar{D}$ – коэффициент диффузии в ионите, м²/с; K_c – константа обмена; h – высота слоя ионита на тарелке, м; Q – расход раствора м³/с; $\bar{Q}$ – расход ионита м³/с; r – радиальная координата внутри частицы, м; r_0 – радиус частицы, м; R –

радиальная координата внутри аппарата, м; R_0 – радиус аппарата, м; v – действительная скорость раствора, м/с; w – действительная скорость ионита, м/с; x – координата, м; β – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, м/с; ε – порозность; индекс: *вх* – входящий, *вых* – выходящий, *гр* – граница, *ср* – средний, *ст* – стенка; *ц* – центр, *э* – эффективный.

Для решения поставленной задачи используем интервально-итерационный метод, основанный на предположении о линейном изменении равновесных концентраций в твердой и жидкой фазах при адсорбции в пределах расчетного интервала [2]:

$$\bar{C}_i^* = mC_i^* + u, \quad (13)$$

где $u = \left(a_0 + \frac{(C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i})^2}{2K_c C_{\text{вх},i}} \right) \left(1 + \frac{1}{(C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i}) \sqrt{4K_c C_{\text{вх},i} a_0 + (C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i})^2}} \right) - \sqrt{\left(a_0 + \frac{(C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i})^2}{2K_c C_{\text{вх},i}} \right)^2 - a_0^2}$ –

величина отрезка, который отсекает прямая на оси ординат, считая от начала

координат, $m = (C_{\text{вх}}^2 - C_{\text{вх},i}^2) \left(-\frac{1}{2K_c C_{\text{вх},i}^2} + \frac{2K_c C_{\text{вх},i} a_0 + (C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i})^2}{2K_c C_{\text{вх},i}^2 (C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i}) \sqrt{4K_c C_{\text{вх},i} a_0 + (C_{\text{вх}} - C_{\text{вх},i})^2}} \right) -$

угловой коэффициент.

Решение системы уравнение (3), (8) – (10), (13) может быть получено аналитическими методами по аналогии с решением известной задачи теплопроводности в сферической частице для граничных условий третьего рода [3]:

$$\frac{\bar{C}_i^* - \bar{C}_i(r, \delta)}{\bar{C}_i^*} = \frac{2}{r} \frac{(\bar{C}_i^* - \bar{C}_{\text{вх},i})}{\bar{C}_i^*} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \times \sin \left(\mu_n \frac{r}{r_0} \right) \exp \left(-\frac{\mu_n^2 \bar{D}_y \delta}{r_0^2 w} \right), \quad (14)$$

где μ_n – корни трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{tg} \mu = -\frac{\mu}{Bi_m - 1}. \quad (15)$$

Введем в рассмотрение новые переменные и безразмерные величины:

$$N_i = \frac{C_{\text{вх},i} - C_i}{C_{\text{вх},i}}; \bar{N}_{\text{ср},i} = \frac{\bar{C}_i^* - \bar{C}_{\text{ср},i}}{\bar{C}_i^*}; \bar{N}_{\text{ср},\text{вх}} = \frac{\bar{C}_i^* - \bar{C}_{\text{ср},\text{вх}}}{\bar{C}_i^*}; \xi = \frac{r}{r_0}; \iota = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon};$$

$$\zeta = \frac{\bar{C}_i^*}{C_{\text{вх},i}}; \gamma = \frac{D_r}{D_x}; \chi = \frac{h^2}{r_0^2}; X = \frac{x \sqrt{\bar{D}_{\text{эф}}}}{h \sqrt{D_x}}; L = \frac{R \sqrt{\bar{D}_{\text{эф}}}}{h \sqrt{D_r}}; L_o = \frac{R_o \sqrt{\bar{D}_{\text{эф}}}}{h \sqrt{D_r}}; E = \frac{\sqrt{\bar{D}_{\text{эф}} D_x} h}{r_0^2 w};$$

$$V = \frac{vh}{\sqrt{D_{эф} D_x}}; W = \frac{wh}{\sqrt{D_{эф} D_x}}. \quad (16)$$

Подставим уравнение (11) в уравнение материального баланса (2), а затем запишем его и соответствующие ему краевые условия в новых переменных (16):

$$V \frac{\partial N_i(X, L)}{\partial X} - W \zeta_i \frac{\partial \bar{N}_{i, cp}(X, L)}{\partial X} - \frac{\partial^2 N_i(X, L)}{\partial X^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 N_i(X, L)}{\partial L^2} - \frac{1}{L} \frac{\partial N_i(X, L)}{\partial L} \right] = 0; \quad (17)$$

$$N_i(X, L)|_{X=0} = N_{ex, i}(L); \quad (18)$$

$$\left. \frac{\partial N_i(X, L)}{\partial X} \right|_{X=\sqrt{D_{эф} D_x}} = 0; \quad (19)$$

$$N_i(X, L)|_{L=0} = N_{ex, i}; \quad (20)$$

$$\left. \frac{\partial N(X, L)}{\partial X} \right|_{\substack{X=0 \\ L=L_0}} = 0; \quad (21)$$

$$W \frac{\partial \bar{N}_{i, cp}(X, L)}{\partial X} = 3\chi \left. \frac{\partial \bar{N}_i(X, L, \xi)}{\partial \xi} \right|_{\xi=1}. \quad (22)$$

При большом времени пребывания ионита на тарелке под знаком суммы в уравнении (14) можно ограничиться только первым слагаемым бесконечного ряда. С учетом этого подставим в правую часть уравнения (22) вместо $\bar{N}(X, L, \xi)$ соответствующее выражение из решения (14) и продифференцируем уравнение (22) по ξ . Затем полученное таким образом новое уравнение подставим в уравнение материального баланса (17), которое для i -ой тарелки может быть записано так:

$$V \frac{\partial N_i(X, L)}{\partial X} + A_1 e^{-\mu_1^2 EX} - \frac{\partial^2 N_i(X, L)}{\partial X^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 N_i(X, L)}{\partial L^2} - \frac{1}{L} \frac{\partial N_i(X, L)}{\partial L} \right] = 0, \quad (23)$$

где $A_1 = \frac{6\zeta_i \chi_i \bar{N}_{ex, i} (\sin \mu_1 - \mu_1 \cos \mu_1)^2}{\mu_1 (\mu_1 - \sin \mu_1 \cos \mu_1)}.$

Приведем уравнение (23) к более удобному виду. Для этого произведем замену функции $N_i(X, L)$ на новую сначала по формуле:

$$N_i(X, L) = \theta_i(X, L) e^{-\mu_1^2 EX}, \quad (24)$$

а затем с учетом обозначений $a = V + 2\mu_1^2 E$ и $b = V\mu_1^2 E + \mu_1^4 E^2$ по формуле:

$$T_i(X, L) = \theta_i(X, L) - \frac{B_1}{b}. \quad (25)$$

В этом случае уравнение материального баланса (23) и соответствующие ему краевые условия (17) – (22) примут вид:

$$\gamma \left[\frac{\partial^2 T_i(X, L)}{\partial L^2} + \frac{1}{L} \frac{\partial T_i(X, L)}{\partial L} \right] = - \frac{\partial^2 T_i(X, L)}{\partial X^2} + a \frac{\partial T_i(X, L)}{\partial X} - b T_i(X, L); \quad (26)$$

$$T_i(X, L)|_{X=0} = T_{ex,i}(L); \quad (27)$$

$$\left. \frac{\partial T_i(X, L)}{\partial X} \right|_{X=\sqrt{\bar{D}_{\partial\phi}/D_x}} = 0; \quad (28)$$

$$T_i(X, L)|_{L=0}^{X=0} = T_{ex,i}; \quad (29)$$

$$\left. \frac{\partial T_i(X, L)}{\partial X} \right|_{X=0}^{L=L_0} = 0. \quad (30)$$

Для решения системы уравнений (26) – (30) был использован метод разделения переменных [4]. Решение задачи запишем в прежних переменных:

$$\begin{aligned} \frac{C_i(x, R)}{C_{ex,i}} = & 1 - e^{-\frac{\mu_1^2 \bar{D}_{\partial\phi} x}{r_0^2 w}} \left\{ \frac{A_1}{b} + \right. \\ & 2 J_0 \left(\sigma_n \frac{R}{R_0} \right) \left[p_{1n} e^{-\sqrt{\frac{\bar{D}_{\partial\phi}}{D_x}} \left(p_{1n} - p_{2n} \frac{x}{h} \right)} - p_{2n} e^{-\sqrt{\frac{\bar{D}_{\partial\phi}}{D_x}} \left(p_{2n} - p_{1n} \frac{x}{h} \right)} \right] \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_0^2 J_1^2(\sigma_n)}{R^2 J_1^2(\sigma_n)} \left[p_{1n} e^{-p_{1n} \sqrt{\frac{\bar{D}_{\partial\phi}}{D_x}}} - p_{2n} e^{-p_{2n} \sqrt{\frac{\bar{D}_{\partial\phi}}{D_x}}} \right] \times \\ & \left. \times \int_0^{R_0} R \left[\frac{C_{ex,i} - C_{ex,i}(R)}{C_{ex,i}} - \frac{A_1}{b} \right] J_0 \left(\sigma_n \frac{R}{R_0} \right) dR \right\}. \quad (31) \end{aligned}$$

Уравнение (31) позволяет рассчитать распределение концентрации сорбируемого иона в жидкой фазе по высоте кипящего слоя ионита и радиусу аппарата на i -ой тарелке.

Для определения средней концентрации раствора по высоте аппарата воспользуемся следующей формулой:

$$C_{cp,i}(x) = \frac{2}{R_0^2} \int_0^{R_0} R C_i(x, R) dR. \quad (32)$$

Подставляя решение (31) в формулу (32) и произведя интегрирование в пределах от 0 до R_0 , получим:

$$\begin{aligned} \frac{C_{cp,i}(x)}{C_{\text{в.л.},i}} = & 1 - e^{-\frac{\mu_1^2 \bar{D}_3 \phi x}{r_0^2 w}} \left\{ \frac{A_1}{b} + \right. \\ & 4 \left[\frac{p_{1n} e^{-\sqrt{\frac{\bar{D}_3 \phi}{D_x}} \left(p_{1n} - p_{2n} \frac{x}{h} \right)} - p_{2n} e^{-\sqrt{\frac{\bar{D}_3 \phi}{D_x}} \left(p_{2n} - p_{1n} \frac{x}{h} \right)}}{R_0^2 \sigma_n J_1(\sigma_n) \left[p_{1n} e^{-p_{1n} \sqrt{\frac{\bar{D}_3 \phi}{D_x}}} - p_{2n} e^{-p_{2n} \sqrt{\frac{\bar{D}_3 \phi}{D_x}}} \right]} \right] \\ & \left. + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{C_{\text{в.л.},i} - C_{\text{в.л.},i}(R)}{C_{\text{в.л.},i}} - \frac{A_1}{b} \right] J_0 \left(\sigma_n \frac{R}{R_0} \right) dR \right\}. \quad (33) \end{aligned}$$

Уравнение (33) позволяет рассчитать распределение средней концентрации раствора по высоте слоя ионита, расположенного на i -ой тарелке.

Общая картина полей концентрации раствора в продольном и радиальном направлениях для аппарата в целом может быть получена в результате последовательного решения систем уравнений, аналогичных (1) – (12), составленных для всех тарелок аппарата.

Входящий в уравнение (9) коэффициент массоотдачи в жидкой фазе β может быть найден по выражению, полученному на основе модели одномерного капиллярного течения [5]:

$$Sh = \frac{\beta d_r}{D} = -\frac{1}{2x_{\div}} \ln \left[8 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{G_n}{\lambda_n^2} \right) \exp \left(-x_{\div} \lambda_n^2 \right) \right], \quad (34)$$

где $x_{\dot{z}} = 2H / (d_r Re' Sc)$ – безразмерная продольная координата; $Re' = v_{om} d_r / \nu$ – число Рейнольдса; $d_r = 0.423 \varepsilon^{1.25} d_z / (1 - \varepsilon)$ – гидравлический диаметр самого узкого сечения каналов слоя; $Sc = \nu / D$ – число Шмидта; D – коэффициент диффузии сорбируемого иона в растворе, $\text{м}^2/\text{с}$; ν – кинематический коэффициент вязкости раствора, $\text{м}^2/\text{с}$; d_z – диаметр зерна, м ; G_k, λ_k – постоянные и собственные значения ряда, определяемые по формулам:

$$\lambda_k = 4k + 8/3; G_k = 1.01276 \lambda_k^{-1/3}, k = 0, 1, 2 \dots \quad (35)$$

В качестве определяющей скорости в Re' используется скорость относительного движения жидкой и твердой фаз v_{om} . Поскольку на тарелке имеет место противоточное движение фаз, то модуль вектора относительной скорости может быть найден по следующей формуле:

$$v_{om} = v_s + w_m, \quad (36)$$

где $v_s = v_n / f$ – скорость движения раствора в самом узком сечении каналов слоя, $w_m = w_n / (1 - f)$ – скорость движения ионита, v_n и w_n – скорость движения раствора и ионита, отнесенная к поперечному сечению аппарата, $\text{м}/\text{с}$; $f = 0.95 \varepsilon^{1.75}$ – коэффициент минимального живого сечения каналов.

Величину доли свободного объема ε рассчитывали по уравнению [6]:

$$\varepsilon = 1.54 Re_z^{0.264} Ar^{-0.184}, \quad (37)$$

где $Re_z = v_n d_z / \nu$ – число Рейнольдса для зерна, $Ar = d_z (\bar{\rho} - \rho) g / (\nu^2 \rho)$ – число Архимеда, d_z – диаметр зерна катионита, м ; $\bar{\rho}$ и ρ – плотность катионита и раствора, соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Коэффициент продольной диффузии жидкой фазы в аппарате с кипящим слоем ионита находили из следующего выражения [7]:

$$\frac{\varepsilon Bo}{\alpha} = 0.2 + 0.011 Re_z^{0.48}, \quad (38)$$

где $\alpha = \frac{Re_{kp}}{Re_z}$; Re_{kp} – критическое значение числа Рейнольдса, определяемое из уравнения [8]:

$$Re_{kp} = \frac{Ar}{1400 + 5.22 \sqrt{Ar}}. \quad (39)$$

Коэффициент радиальной диффузии в жидкой фазе находили из уравнения [9]:

$$D_r = \frac{3}{16} \frac{v_n}{\varepsilon} d_3. \quad (40)$$

Для проверки адекватности разработанного математического описания реальному процессу были использованы экспериментальные данные [10] по очистке сточных вод от никеля на катионите КУ-2-8 (Н-форма) в пульсационной колонне диаметром d_a 0,2 м с 20 провальными тарелками типа КРИЗМ с проходным сечением 10–15 %. Показатели работы колонны представлены в таблице.

Таблица. Ионный обмен Ni^{2+} - H^+ в пульсационной колонне [10]

Наименование показателя	Величина показателя	
	Опыт 1	Опыт 2
$Q \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{с}$	3.492	2.906
$\bar{Q} \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$	0.611	1.745
$C_{\text{вх}} \cdot 10^3, \text{ кг-экв/м}^3$	1.87	1.87
$d_a, \text{ м}$	0.2	0.2
$h \cdot 10^2, \text{ м}$	3.63	9.66
ε	0.64	0.61
$D_x \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{с}$	2.12	1.42
$D_r \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	8.10	7.42
$\beta \cdot 10^5, \text{ м/с}$	5.48	4.32

Физико-химические характеристики ионообменной системы Ni^{2+} - H^+ , использованные в расчетах, имели следующие значения [11–13]: обменная емкость ионита a_0 – 1.16 кг-экв/м³; средний диаметр зерна ионита d_3 – $8 \cdot 10^{-4}$ м; плотность катионита $\bar{\rho}$ – 1180 кг/м³; коэффициент диффузии ионов никеля в катионите $\bar{D}_j$ – $3 \cdot 10^{-11}$ м²/с; константа обмена K_c – 0.9; плотность раствора ρ – 1000 кг/м³; коэффициент диффузии ионов никеля в растворе D – $8.6 \cdot 10^{-10}$ м²/с. Шаг расчета по высоте аппарата Δx принимали равным высоте слоя катионита на тарелке, а по радиусу аппарата ΔR – 0.01 м.

Найденные в результате расчета параметры математического описания ионообменного процесса приведены в таблице.

На рис. 2 показаны экспериментальные и расчетные данные по распределению концентрации ионов никеля в растворе на выходе его из каждой тарелки, сравнение которых показывает на их удовлетворительную сходимость

при относительной величине погрешности не более 10 %. На рис. 3 представлены расчетные распределения концентрации ионов Ni^{2+} в растворе по радиусу аппарата на выходе раствора из 3 и 15 тарелок, из которых видно, что в центре аппарата раствор очищается лучше, чем у его стенки.

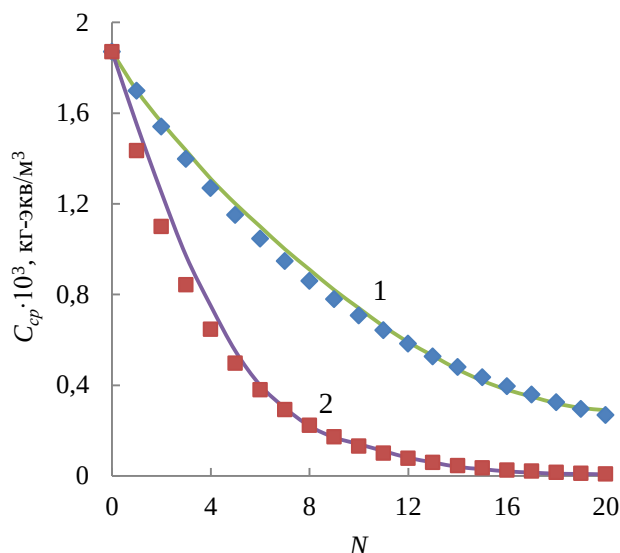


Рис. 2. Распределение средней концентрации ионов Ni^{+} в растворе по высоте аппарата: 1 – опыт 1; 2 – опыт 2; точки – экспериментальная данные [10]; линия – расчетная кривая

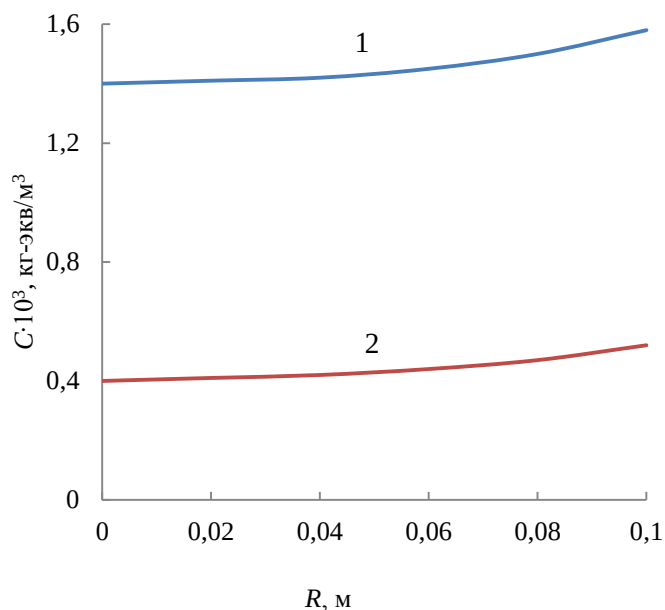


Рис. 3. Распределение концентрации ионов Ni^{2+} в растворе по радиусу аппарата (опыт 1): 1 – $N = 3$; 2 – $N = 15$

Удовлетворительное совпадение результатов расчета с экспериментальными данными по ионообменной очистке сточных вод от ионов никеля на катионите КУ-2-8, заимствованными из литературы [10], позволило рекомендовать разработанную математическую модель для практического применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложено математическое описание процесса ионообменной адсорбции ионов тяжелых металлов в пульсационной колонне с провальными тарелками, позволяющее прогнозировать изменение концентрации раствора по высоте и радиусу аппарата. Удовлетворительно совпадение результатов расчета с экспериментальными данными позволило рекомендовать разработанное математическое описание в инженерной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпачева С.М., Рябчиков Б.Е. Пульсационная аппаратура в химической технологии / С. М. Карпачева, Б. Е. Рябчиков. М.: Химия, 1983. 224 с.
2. Натарева С.В. Ионообменное извлечение ионов двухвалентных металлов в тарельчатой колонне со взвешенным слоем катионита / С. В. Натарева, А. Е. Дубкова, Т. Е. Никифорова и др. // Изв. вузов. «Химия и химическая технология». 2015. Т. 58, Вып. 1. С. 75–80.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. М.: Высш. шк., 1967. 400 с.
4. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Метод разделения переменных в математической физике / В. Ф. Зайцев, А. Д. Полянин. СПб.: Книжный дом, 2009. 92 с.
5. Кишиневский М.Х. Определение коэффициентов массоотдачи в каналах пористых сред / М. Х. Кишиневский, Т. С. Корниенко, В. Н. Кармаев // Термодинамика необратимых процессов и ее применение. Часть 1. Черновцы, 1984. С. 137–138.
6. Крамович В.Ф., Комаровский А.А. Кинетика массопередачи при ионообмене в кипящем слое ионита / В. Ф. Крамович, А. А. Комаровский // Гидродинамика, тепло- и массообмен в псевдоожиженном слое: сб. науч. тр. Иваново, 1971. С. 127–130.
7. Chung S.F. Longitudinal dispersion of liquid flowmg through fixed and fluidized beds / S.F. Chung, C.Y. New // AIChE Journal. 1968. V. 14, № 6. P. 857–866.
8. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем // М. Э. Аэров, О. М. Тодес. Л.: Химия, 1968. 512 с.
9. Saffman P.G. A theory of dispersion in a porous medium / P. G. Saffman // J. Fluid. Mech. 1959. № 6. P. 321–349.

10. *Дьяков В.С.* Очистка сточных вод от никеля на пульсационной сорбционной колонне / В. С. Дьяков, Л. К. Михеев, О. А. Бродецкий // Цветные металлы. 1975. № 9. С. 30–32.
11. *Аширов А.* Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. Л.: Химия, 1983. 295 с.
12. Расчет процесса сорбции и регенерации катионита КУ-2×8 при очистке кислых сточных вод заводов обработки цветных металлов / Н. К. Галкина, Л. П. Соколова, Е. С. Смунова, В. В. Скорняков // Теория и практика сорбционных процессов. 1981. Вып. 14. С. 82–86.
13. *Робинсон Р., Стокс Р.* Растворы электролитов / Р. Робинсон, Р. Стокс. М.: Изд. иностр. лит., 1963. 648 с.

S. V. Natareev, A. A. Bykov, S. V. Beljaev

**ION-EXCHANGE ADSORPTION OF IONS OF HEAVY METALS
IN A PULSATION COLUMN**

The mathematical description of the process of solution purification from heavy metal ions by means of ion exchange in a pulsation column with failed plates KRIZM is developed. Mathematical description includes isotherm equation Nikolsky, material balance equation, diffusion equation for a spherical particle, two-parametrical diffusive equation of hydrodynamic structure and boundary conditions. Interval-iterative method is used to solve the task. Adequacy of the mathematical model developed was established using the waste water purification from nickel ions on the exchanger KU-2-8 as an example. Characteristics of the ion exchange column: solution flow rate $-3,492 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (experiment No. 1), $2,906 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (experiment No. 2); sulfonic acid cation exchanger flow rate $-0,611 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (experiment No. 1), $1,745 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (experiment No. 2); concentration of original solution $-1,87 \cdot 10^{-3} \text{ kg-ekv/m}^3$; diameter of apparatus $-0,2 \text{ m}$; height cation exchanger on the plate $-3,63 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ (experiment No. 1), $9,66 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ (experiment No. 2); the number of plates -20 . Experimental and calculated dependences of concentration distribution of Ni^{2+} ions in a solution on the height of apparatus and concentration distribution of Ni^{2+} ions in a solution in the radius apparatus are given in article. Deviation calculated data from the experimental data does not exceed 10 %. The mathematical model recommended for use in engineering calculations.

Keywords: ion exchange; mathematical model; column apparatus; KRIZM plates; cleaning water; cation exchanger; heavy metal ions.

REFERENCES

1. Karpacheva S. M., Rjabchikov B. E. Pul'sacionnaja apparatura v himicheskoj tehnologii / S. M. Karpacheva, B. E. Rjabchikov. M.: Himija, 1983. 224 s.
2. Natareev S. V. Ionoobmennoe izvlechenie ionov dvuhvalentnyh metallov v tarel'chatoj kolonne so vzveshennym sloem kationita / S. V. Natareev, A. E. Dubkova, T. E. Nikiforova i dr. // Izv. vuzov. «Himija i himicheskaja tehnologija». 2015. T. 58, Vyp. 1. S. 75–80.
3. Lykov A. V. Teorija teploprovodnosti / A. V. Lykov. M.: Vyssh. shk., 1967. 400 s.
4. Zajcev V. F., Poljanin A. D. Metod razdelenija peremennyh v matematicheskoj fizike / V. F. Zajcev, A. D. Poljanin. SPb.: Knizhnyj dom, 2009. 92 s.
5. Kishinevskij M. H. Opredelenie koeficientov massootdachi v kanalah poristyh sred / M. H. Kishinevskij, T. S. Kornienko, V. N. Karmaev // Termodinamika neobratimyh processov i ee primenenie. Chast' 1. Chernovcy, 1984. S. 137–138.
6. Kramovich V. F., Komarovskij A. A. Kinetika massoperedachi pri ionoobmene v kipjashhem sloe ionita / V. F. Kramovich, A. A. Komarovskij // Gidrodinamika, teplo- i massoobmen v psevdoozhizhennom sloe: sb. nauch. tr. Ivanovo, 1971. S. 127–130.
7. Chung S. F. Longitudinal dispersion of liquid flowmg through fixed and fluidized beds / S.F. Chung, C.Y. New // AIChE Journal. 1968. V. 14, № 6. P. 857–866.
8. Ajerov M. Je., Todes O. M. Gidravlicheskie i teplovye osnovy raboty apparatov so stacionarnym i kipjashhim zernistym sloem // M. Je. Ajerov, O. M. Todes. L.: Himija, 1968. 512 s.
9. Saffman P. G. A theory of dispersion in a porous medium / P. G. Saffman // J. Fluid. Mech. 1959. № 6. P. 321–349.
10. D'jakov V. S. Ochistka stochnyh vod ot nikelja na pul'sacionnoj sorbcionnoj kolonne / V. S. D'jakov, L. K. Miheev, O. A. Brodeckij // Cvetnye metally. 1975. № 9. S. 30–32.
11. Ashirov A. Ionoobmennaja ochistka stochnyh vod, rastvorov i gazov / A. Ashirov. L.: Himija, 1983. 295 s.
12. Raschet processa sorbcii i regeneracii kationita KU-2□8 pri ochistke kislyh stochnyh vod zavodov obrabotki cvetnyh metallov / N. K. Galkina, L. P. Sokolova, E. S. Smurova, V. V. Skornjakov // Teorija i praktika sorbcionnyh processov. 1981. Vyp. 14. S. 82–86.
13. Robinson R., Stoks R. Rastvory jelektrolitov / R. Robinson, R. Stoks. M.: Izd. inostr. lit., 1963. 648 s.

Натареев Сергей Валентинович

Профессор

Доктор технических наук

Профессор

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Россия, г. Иваново

E-mail: natoret@mail.ru

Natareev Sergey Valentinovich

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

Russian Federation, Ivanovo

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Быков Александр Андреевич

Аспирант

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

Bykov Alexander Andreevich

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: bykovflexandr1991@mail.ru

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

Beljaev Sergej Valer'evich

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

Д. А. Ульев, Н. Е. Егорова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ГАЗОДЫМОУДАЛЕНИЯ

Рассмотрено движение частицы в воздуховоде вентиляционной системы. Вентиляционные системы широко используются в промышленности не только для аспирации и кондиционирования, но и для транспортировки сырья. Широкое распространение получили системы противодымной вентиляции. Такие системы могут стать причиной возникновения пожара или способствовать его быстрому распространению. В воздуховодах могут накапливаться горючие отложения масел, красок, пыли, волокон. В ряде случаев такие образования могут самовозгораться. Распространение пожара по технологическим коммуникациям связано с движением твердых частиц в потоке воздуха. Поскольку дым можно рассматривать как двухфазную гетерогенную систему, актуальным представляется определение скорости движения частиц твердой фазы системы. В статье рассмотрено движение частицы под действием силы тяжести и силы сопротивления среды. В случае уменьшения размеров частицы из-за выгорания сила сопротивления среды также изменяется, что сказывается на изменении скорости и значительно усложняет математическую модель движения. При решении данной задачи показано, что функцией времени является сила динамического сопротивления среды, изменяющаяся вследствие уменьшения размеров частицы. Предложено решение полученного уравнения методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

Ключевые слова: вентиляция, удаление дыма, пожарная опасность, движение частицы, сопротивление среды, потеря массы, численный метод.

Вентиляционные системы широко используются в промышленности не только для аспирации и кондиционирования, но и для транспортировки сырья. В помещениях, предназначенных для хранения и обработки горючих материалов, административных зданиях, или объектах с массовым пребыванием людей используются системы противодымной вентиляции [1]. Дымоудаление в случае пожара создает условия для безопасной эвакуации людей и эффективного тушения пожара. При решении этой задачи может быть использована особая конструкция вентиляционных каналов со специально подобранными вставками [6]. Задача вставок – обеспечить одинаковый расход воздуха на различных участках отверстия воздуховода. Вставки разделяют

внутреннее пространство на полностью или частично изолированные друг от друга области с равной живой площадью поперечного сечения. Таким образом, в непосредственной близости от отверстия образуются несколько зон разряжения, что приводит к равномерному распределению аэрозоля по сечению вентиляционного канала. Количество вставок должно быть оптимально, то есть создавать условия равномерного распределения продуктов дымоудаления и не повышать гидравлического сопротивления всей системы [10].

Однако вентиляционные системы могут стать причиной возникновения пожара или способствовать его быстрому распространению. В воздуховодах могут накапливаться горючие отложения масел, красок, пыли, волокон. В ряде случаев такие образования могут самовозгораться [7]. В основном же источником зажигания служат искры механической, электрической, электростатической природы. В случае использования воздуховода для дымоудаления источником зажигания могут служить продукты горения или нагрев отдельных частей воздуховода.

Какой бы ни была причина возникновения пожара, распространение его по технологическим коммуникациям связано с движением твердых частиц в потоке воздуха.

Математическая модель, описывающая их движение, позволит как прогнозировать скорость распространения пожара по вентиляционным системам, так и оценить эффективность работы системы газодымоудаления.

Стоит отметить, что дым можно рассматривать как двухфазную гетерогенную систему, в связи с чем, помимо скорости потока, актуальным представляется определение скорости движения частиц твердой фазы системы.

Введем ряд допущений для решения данной задачи:

- частицы удалены друг от друга на расстояния, во много превышающие их размеры, что позволяет рассматривать движение отдельно взятой частицы;
- частица имеет сферическую форму.

Необходимое условие – размер частицы с течением времени изменяется за счет выгорания и определяется из закона сохранения масс [3].

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{\omega}{4\pi\rho r^2}, \quad (1)$$

где r – радиус частицы, м; ω – скорость потери массы частицы, кг/с; ρ – плотность частицы.

Рассмотрим частицу постоянного размера,двигающуюся вертикально. На такую частицу действуют сила тяжести и сила сопротивления среды. Под действием силы тяжести первоначально частица будет падать с ускорением, затем, так как среда оказывает сопротивление движению, скорость падения

становится постоянной [2]. Однако, в случае уменьшения размеров частицы, сила сопротивления среды также изменяется, что сказывается на изменении скорости.

Сила тяжести, направленная вниз:

$$F_t = mg. \quad (2)$$

Сила сопротивления среды, направленная вверх (противоположно вектору скорости):

$$F_c = cS\rho_g \frac{V^2}{2}, \quad (3)$$

где c – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы; ρ_g – плотность воздуха, кг/м³; S – миделево сечение частицы, м²; V – относительная скорость движения частицы, м/с.

Входящий в формулу (3) коэффициент c является функцией числа Рейнольдса. В общем случае коэффициент определяется по экспериментальным данным. Существует большое количество эмпирических формул для его нахождения. Воспользуемся формулой Л.С. Клячко [5], как наиболее удачной по простоте и степени приближения:

$$c = \frac{24}{Re} + \frac{4}{Re^{1/3}}, \quad (4)$$

где число Рейнольдса:

$$Re = \frac{2rV}{\nu}. \quad (5)$$

Здесь ν – динамическая вязкость среды, Па×с.

Принимая форму частицы сферической с радиусом r , получим значение массы:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho. \quad (6)$$

Тогда дифференциальное уравнение движения частицы:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho \frac{dV}{dt} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - cS\rho_g \frac{V^2}{2}. \quad (7)$$

После ряда преобразований получим:

$$\frac{dV}{dt} = g - \frac{3cS}{8\pi r^3} V^2. \quad (8)$$

Уравнение (8) решается численными методами.

Возможно его решение с помощью метода Рунге-Кутты четвертого порядка точности [4], так как этот метод является одноступенчатым и одношаговым, требует информацию только об одной точке, имеет небольшую погрешность, значение функции рассчитывается при каждом шаге.

Полученное уравнение позволяет рассчитать скорость частиц твердой фазы дыма при их движении в системах газодымоудаления в зависимости от свойств частицы с учетом изменения ее массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батчел Е. Опасность дыма и дымозащита / Е. Батчер, А. Парнэлл; пер. с англ. Е. Ш. Фельдмана. М.: Стройиздат, 1983. 153 с.: ил.
2. Богословский В. Н. Отопление и вентиляция. Ч. 2. Вентиляция: учебник для вузов / В. Н. Богословский, В. И. Новожилов, Б. Д. Симаков и др.; под ред. В. Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1976. 439 с.: ил.
3. Горячева М. Н. Моделирование движения частиц дыма при пожаре в помещении / М. Н. Горячева, С. А. Горячев, С. В. Пузач // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. 2004. №2. 159 с.
4. Егорова Н. Е. Математическое моделирование рассеивания пыли в турбулентном воздушном потоке / Н. Е. Егорова, Ф. Н. Ясинский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2002. № 2 (266). С. 111–114.
5. Кабаева И. В. О распространении и оседании пылевых частиц размером до 10 мкм в горизонтальном турбулентном потоке / И. В. Кабаева, А. Г. Шестаков, А. С. Артюхин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Политематическая сер. 2007. Вып. 2 (3). 6 с.
6. Пат. на полезную модель, Российская Федерация 39602, МПК7 D 01 G 25/00, 15/46. Устройство для формирования волокнистого настила / Зарубин В. М., Глинкин П. М., Шмелев С. А., Ульев Д. А., Шмелева Т. В., Полякова Е. В., Кочетков И. В. № 2004110509/22; заявл. 07.04.2004; опубл. 10.08.2004, Бюл. №22. 4 с.
7. Сидорук В. И. Инспектору госпожнадзора о системах вентиляции / В. И. Сидорук. М.: Стройиздат, 1989. 96 с.: ил.
8. Ульев Д. А. Механика газа в системах дымоудаления с установленными вставками / Д. А. Ульев // Пожарная и аварийная безопасность: материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России. Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2011. Ч. I. С. 362–364.

9. *Ульев Д. А.* Оптимизация процессов аспирации и дымоудаления вентиляционных систем / Д. А. Ульев, К. В. Семенова, Г. Е. Назаров // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. 2014. №1 (21). С. 90–97.

10. *Ульев Д.А.* Повышение эффективности динамических систем дымоудаления за счет применения коробчатых вставок / Д. А. Ульев, К. В. Семенова, Г. Е. Назаров // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: II Всероссийская научно-практическая конференция. Воронеж, 2013. 5 с.

D. A. Ul'ev, N. E. Egorova

MATHEMATICAL MODEL OF AIRFLOWS IN SYSTEM OF GAS-SMOKE REMOVAL

Motion of a particle in an air duct of the vent system is considered. Vent systems are widely used in the industry not only for an aspiration and conditioning, but also for raw materials transportation. Systems of antismoke ventilation were widely adopted. Such systems can become the cause of the fire or promote its spreading. In air ducts combustible deposits of oils, paints, dust, fibers can collect. In some cases such sediments can ignite spontaneously. Spreading of the fire on technological communications is bound to driving of solids in an air stream. As smoke can be considered how a two-phase heterogeneous system, definition of motion speed of particles of a solid phase of system is represented urgent. In article motion of a particle by gravity and resisting strengths of the environment is considered. In case of decrease of the sizes of a particle because of a burnup, resisting strength of the environment also changes that affects change of speed and considerably complicates mathematical model of driving. At the solution of this task it is shown that function of time is resisting strength of the environment changing owing to decrease of the sizes of a particle. The solution of the received equation is proposed by a Runge-Kutta method of the fourth order of accuracy.

Keywords: ventilation, removal of smoke, fire hazard, driving of a particle, environment resistance, loss of weight, numerical method.

REFERENCES

1. *Batchel E.* Opasnost' dyma i dymozashhita / E. Batchel, A. Parnjell; per. s angl. E. Sh. Fel'dmana. M.: Strojizdat, 1983. 153 s.: il.
2. *Bogoslovskij V. N.* Otoplenie i ventiljacija. Ch. 2. Ventiljacija: uchebnik dlja vuzov / V. N. Bogoslovskij, V. I. Novozhilov, B. D. Simakov i dr.; pod red. V. N. Bogoslovskogo. M.: Strojizdat, 1976. 439 s.: il.
3. *Gorjacheva M. N.* Modelirovanie dvizhenija chastic dyma pri pozhare v pomeshhenii / M. N. Gorjacheva, S. A. Gorjachev, S. V. Puzach // Vestnik Akademii Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii. 2004. №2. 159 s.
4. *Egorova N. E.* Matematicheskoe modelirovanie rasseivaniya pyli v turbulentnom vozdušnom potoke / N. E. Egorova, F. N. Jasinskij // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. 2002. № 2 (266). S. 111–114.
5. *Kabaeva I. V.* O rasprostranenii i osedanii pylevyh chastic razmerom do 10 mkm v gorizont'al'nom turbulentnom potoke / I. V. Kabaeva, A. G. Shestakov, A. S. Artjuhin // Internet-vestnik VolgGASU. Politematicheskaja ser. 2007. Vyp. 2 (3). 6 s.
6. Pat. na poleznuju model', Rossijskaja Federacija 39602, MPK7 D 01 G 25/00, 15/46. Ustrojstvo dlja formirovanija voloknistogo nastila / Zarubin V. M., Glinkin P. M.,

Shmelev S. A., Ul'ev D. A., Shmeleva T. V., Poljakova E. V., Kochetkov I. V. № 2004110509/22; zayavl. 07.04.2004; opubl. 10.08.2004, Bjul. № 22. 4 s.

7. Sidoruk V. I. Inspektoru gospozhnadzora o sistemah ventiljacii / V. I. Sidoruk. M.: Strojizdat, 1989. 96 s.: il.

8. Ul'ev D. A. Mehanika gaza v sistemah dymoudalenija s ustanovlennymi vstavkami / D. A. Ul'ev // Pozharnaja i avarijnaja bezopasnost': materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 45-letiju Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii. Ivanovo: IvI GPS MChS Rossii, 2011. Ch.I. S. 362–364.

9. Ul'ev D. A. Optimizacija processov aspiracii i dymoudalenija ventiljacionnyh sistem / D. A. Ul'ev, K. V. Semenova, G. E. Nazarov // Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii. 2014. №1 (21). S. 90–97.

10. Ul'ev D.A. Povyshenie jeffektivnosti dinamicheskikh sistem dymoudalenija za schet primenenija korobchatyh vstavok / D. A. Ul'ev, K. V. Semenova, G. E. Nazarov // Problemy obespechenija bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: II Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija. Voronezh, 2013. 5 s.

Ульев Дмитрий Андреевич

Ученый секретарь

Кандидат технических наук

Доцент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: deezz@mail.ru

РИНЦ:http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=814444

Ul'ev Dmitriy Andreevich

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

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

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

ГУМАНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ

УДК 316.752+614.842

А. А. Лобова, Д. А. Кистанова, А. Л. Остроумова

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ОБРАЗА ПОЖАРНОГО В ОБЩЕСТВЕННОМ СОЗНАНИИ: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Авторы статьи рассматривают проблему формирования положительного образа пожарного как представителя сотрудника Государственной противопожарной службы. Основной особенностью общественного восприятия отмечается противоречие в образе пожарного, формирующегося в общественном сознании средствами массовой информации, и в образе пожарного, складывающегося на основе общественного восприятия деятельности и поступков сотрудников Государственной противопожарной службы. Отмечается исключительная важность формирования и воспитания высоких морально-нравственных качеств сотрудников данной сферы как основы для формирования положительного образа пожарного в общественном сознании. Анализируется западный опыт деятельности пожарных подразделений по поддержанию и формированию положительного образа пожарного. Приводятся данные социологических опросов, проведенных среди курсантов и различных групп населения по вопросам личностных качеств, присущих пожарным.

Ключевые слова: Государственная противопожарная служба; общественное сознание; общественное мнение; образ пожарного; профессионально ценные качества; моральные и нравственные качества; положительное восприятие пожарного.

В современном мире общественное мнение как проявление общественного сознания играет важную роль в формировании стереотипов в представлении о различных профессиях. Стереотипные представления, основываясь на положительных и отрицательных аспектах восприятия сотрудников, в свою очередь, оказывают сильное влияние на восприятие представителей профессии в целом. Положительное восприятие образа пожарного как сотрудника Государственной противопожарной службы, который всегда на виду, в настоящее время является сильным фактором, стимулирующим граждан к участию в поддержании безопасности жизни общества, к патриотическому воспитанию молодежи.

В последнее время отмечается большое количество мероприятий, работающих на формирование положительного образа пожарного:

- активная пропаганда добровольческого движения и вовлечение большего количества в его деятельность,
- обеспечение мер социальной и финансовой поддержки сотрудников,
- знакомство граждан с нелегким трудом пожарных и спасателей в средствах массовой информации и через интернет.

Некоторые исследователи считают, что в настоящее время Государственная противопожарная служба вступает в период реорганизации и оформления нового облика. Именно поэтому особо важно формировать в общественном сознании только положительный образ сотрудника ГПС как того, кто стоит на защите общества.

К сожалению, порой все усилия по продвижению положительного образа сотрудника пожарной службы (пожарного или инспектора) сводятся на «нет» одним негативным поступком отдельных сотрудников. Часто в средствах массовой информации мы встречаем новости об очередном коррупционере-взяточнике из сферы ГПС. В некоторых сериалах встречаем пренебрежительное и оскорбительное отношение к служащим в пожарной охране. Небольшая ситуация из сериала:

Полицейские сотрудники входят в квартиру, которую вскрыли спасатели. Слова оперативного работника:

- Да здесь уже пожарники побывали: брать нечего.

В связи с этим встает задача: что является причиной такого противоречия в официальном и обыденном представлении об образе пожарного.

Портрет пожарного глазами простых людей имеет большое значение в понимании того, какие качества являются основополагающими для данной профессии, с одной стороны, а также отражением того, какие качества наиболее ярко проявляются в деятельности пожарных, - с другой. В связи с этим нас заинтересовало представление различных возрастных групп о профессионально важных качествах пожарного.

Профессионально важные качества представляют собой психические и физические качества, которые соответствуют требованиям к человеку какой-либо определенной профессии и способствуют успешному овладению этой профессией.

Так, Е.А. Климов выделяет пять основных компонентов системы профессионально ценных качеств:

1. Гражданские качества – идейный моральный облик человека как члена коллектива, общества;

2. Отношение к труду, профессии, интересы и склонности к данной области деятельности;

3. Дееспособность, которая образуется качествами, важными во многих и разных видах деятельности (широта ума, его глубина, гибкость и др.);

4. Единичные, частные, специальные способности. Это такие личные качества, которые важны для данной работы, профессии или для относительно узкого их круга;

5. Навыки, привычки, знания, опыт.

Нельзя не отметить, вслед за Е.А. Климовым, что специфические особенности являются неотъемлемой частью профессии пожарного-спасателя. К ним, в первую очередь, относятся высокий уровень опасности, травматизации и стрессогенности, рискованность, высокий уровень ответственности, неопределенность ситуации, действия в условиях ограниченного пространства и дефицита времени. Исходя из этого, можно выделить следующие ведущие психологические качества:

- смелость;
- способность брать на себя ответственность в сложных ситуациях;
- уверенность в себе;
- способность принимать правильное решение при недостатке необходимой информации, при отсутствии времени на ее осмысление;
- способность объективно оценивать свои силы и возможности;
- способность к длительному сохранению высокой активности;
- умение распределять внимание при выполнении нескольких действий, функций, задач;
- уравновешенность, самообладание при конфликтах;
- способность к быстрому установлению контактов с новыми людьми;
- способность располагать к себе людей, вызывать у них доверие;
- способность найти нужный тон, целесообразную форму общения в зависимости от психологического состояния и индивидуальных особенностей собеседника;
- склонность к риску.

Указанные качества проявляются в зависимости от специфики выполняемых задач и связаны с успешностью профессиональной деятельности.

Нами был задан вопрос респондентам различных возрастных групп: «Какие качества они считают наиболее важными для пожарного?».

Как отмечает А.В. Осипов, в связи с особенностями трудовой деятельности пожарный-спасатель должен обладать определенными профессионально важными качествами: смелость, способность брать на себя ответственность в сложных ситуациях, уверенность в себе, способность

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

принимать правильное решение при недостатке необходимой информации, при отсутствии времени на ее осмысление, способность к длительному сохранению высокой активности; умение распределять и переключать внимание при выполнении нескольких действий, функций, задач, хорошая память, уравновешенность, самообладание при конфликтах, склонность к риску и т. д. Отсутствие или недостаточное развитие этих качеств снижает эффективность профессиональной деятельности.

Как субъекты деятельности, пожарные развивают личностные качества, выражающиеся в склонности к риску и стрессоустойчивости. Именно эти качества и были отмечены респондентами в первую очередь.

Результаты проведенного нами в марте 2016 года социологического опроса показали, что люди абсолютно всех возрастов считают, что пожарный должен быть в первую очередь отважным (табл. 1).

Таблица 1. Выбираемые качества, характерные для пожарного

Качество	Дети (от 5 до 10 лет) 15 человек(%)	Взрослые (от 25 до 40 лет) 15 человек (%)	Взрослые (от 60 лет) 15 человек(%)
смелый	33,3	20	73,3
решительный	40	13,3	33,3
самоуверенность	0	20	6,6
мужественный	13	53,3	66,6
добрый	66,6	60	40
храбрый	86,6	33,3	0
сильный	60	53,3	13,3
бескорыстный	0	40	80
отважный	33,3	33,3	66,6
самодостаточный	0	6,6	40
имеет чувство собственного достоинства	0	6,6	53,3
целеустремленный	0	46,6	86,6
склонен к оправданному риску	0	0	46,6

В остальном их мнения расходятся. Дети единогласно остановились на том, что пожарный, просто обязан быть храбрым, решительным и сильным. Взрослые от 25 до 40 лет отдали предпочтение таким качествам как: сила и

мужество. А взрослые от 60 лет, считают, что пожарный просто обязан быть целеустремленным и бескорыстным (рисунок).

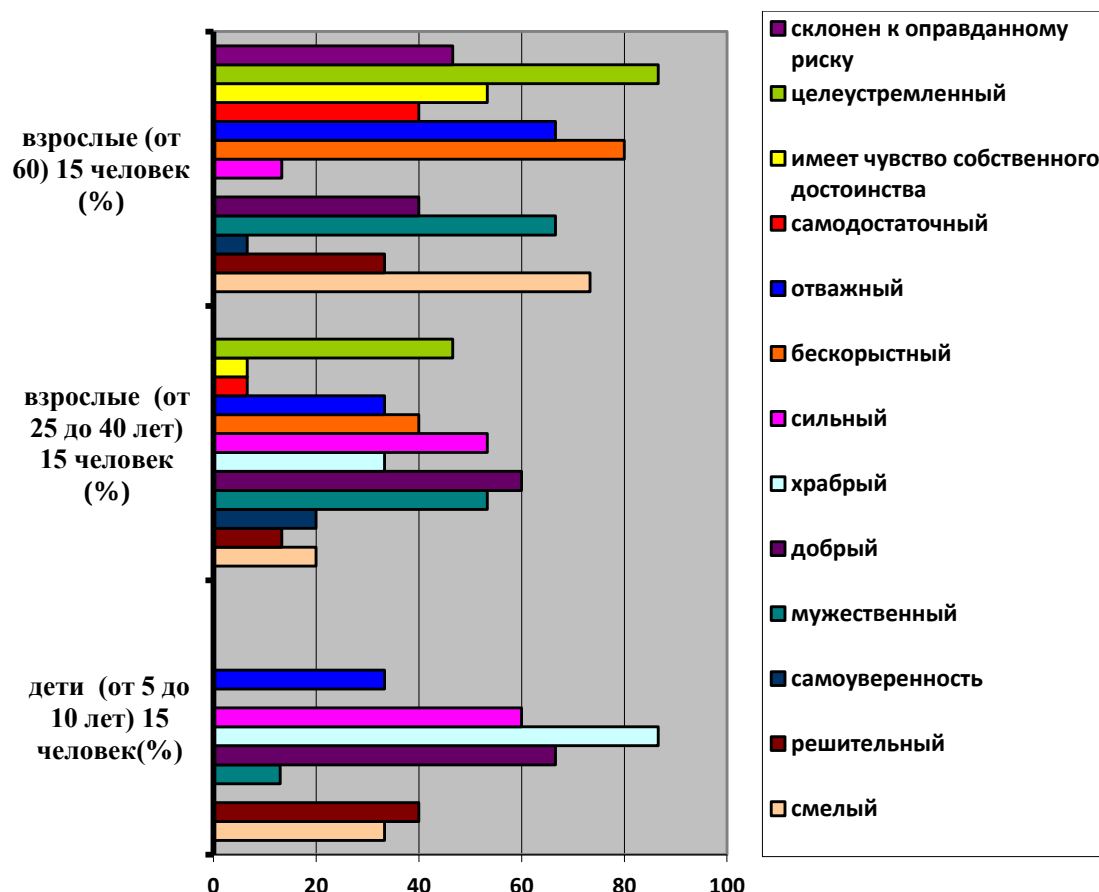


Рисунок. Сравнительная характеристика полученных ответов по возрастным группам

Указанные качества можно отнести к таким компонентам системы профессионально ценных качеств, как: 4) единичные, частные, специальные способности и 5) навыки, привычки, знания, опыт. Однако респонденты практически не упомянули качества, относящиеся к моральным и личностным качествам в целом. Это может свидетельствовать о том, что основополагающими качествами в обыденном представлении являются качества, проявляющиеся в зависимости от специфики выполняемых задач. Нравственная сторона образа пожарного не упоминается совсем в проведенном нами опросе. Также было проведено анкетирование среди курсантов по различным аспектам духовной культуры офицера (2010 год). Среди вопросов курсантам предлагалось охарактеризовать такое базовое понятие офицерской культуры, как «честь». Результаты представлены в табл. 2.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Таблица 2. Результаты опроса курсантов по вопросу «Что такое честь?»

Категория	Характеристика	Кол-во ответов
Качество характера	• Одно из духовных качеств человека, подразумевает под собой честность, гордость, волю, мужественность. • Качество, характеризующее его обладателя, как человека достойного, не запятнанного уважающего себя и окружающих. • Качество человека, которое часто приходится отстаивать. • Качество человека, который уважает себя, родных, близких, свою родину, фамилию, поведение, которое не позорит достоинство.	30 (41,12%)
Моральная категория	• Соблюдение человеческих и военных ценностей. • Комплексное этическое и социальное понятие, связанное с оценкой таких качеств: верность, справедливость, правдивость, благородство. • Уважение к другим, достоинство поступков, высокая культура.	23 (31,5%)
Понятия, связанные с умениями и способностями	• Способность человека с достоинством и правильной оценкой воспринимать неудачи, поражения и всякого рода проблем. • Способность человека не отступать от намеченной цели и не давать другим людям	3 (4,1%)
Нет мнения		17 (23,28%)

Исходя из результатов опроса, всех курсантов можно поделить на две большие категории: 1) те, кто имеет сформированное представление о понятии честь— 23,3 %; 2) те, кто не имеет сформированного представления о понятии честь – 76,7 %.

Таким образом, большая часть опрошенных курсантов не имеет представления о своей службе как о некоем моральном долге, а соответственно не знает о том, какие качества и черты характера они должны формировать и закалять для того, что бы стать профессионалами своего дела. Все это, с одной стороны, во многом мешает освоению выбранной ими профессии и становлению развитой взрослой личности. С другой стороны, таким специалистам, не представляющим, что такое честь офицера, впоследствии будет трудно пренебречь личным благом ради других, осуществлять

нравственный самоконтроль в чрезвычайных ситуациях, осуществлять оценку своих поступков и, соответственно быть теми, кто будет формировать положительный образ сотрудника ГПС.

Однако в то же время, по данным социологического опроса, проведенного в 2010 году на портале SuperJob.ru, профессия пожарного характеризуется как престижная, нужная и героическая.

Подобное противоречивое представление о сотрудниках пожарной службы и спасателях мы находим и в западной прессе. Например, в США профессия пожарного традиционно занимает лидирующие позиции в списке самых престижных профессий. Ведется активная пропаганда профессии пожарного-спасателя, работа по продвижению мер пожарной безопасности в обществе. Но в то же время, многие пожарные со стажем жалуются, что очень часто их работа воспринимается негативно из-за отдельных нарушителей закона из числа сотрудников пожарной службы. Также часто отмечается проблема восприятия пожарной службы как излишне затратной для налогоплательщиков, особенно, если простые граждане видят пожарных, не занятых тушением пожаров, забывая, что в обязанности сотрудников пожарных частей входит гораздо большее, нежели борьба с огнем.

Таким образом, основная причина проблемы несоответствия образа сотрудника ГПС, пропагандируемого официальными средствами массовой информации, и образа, сложившегося в обыденном сознании, кроется в недостаточности сформированности высоких моральных качеств сотрудников данной сферы, даже при наличии профессионализма при выполнении поставленных задач.

Решение этой проблемы является чрезвычайно важным, так как именно от этого зависит положительное восприятие сотрудника ГПС, который часто ассоциируется с пожарным или пожарным инспектором. Поэтому особую важность приобретает воспитание и формирование высоких моральных качеств сотрудников ГПС в процессе их профессиональной подготовки в учебных заведениях, также во время приобретения опыта уже на месте работы.

В заключение, хотелось бы привести слова американского пожарного-добровольца Бена Мэя как девиз для формирования положительного образа пожарного как главного представителя противопожарной службы:

«Наша работа – благородное призвание. И это наша обязанность – сохранить её такой».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Marsar Stephen*. Public Perception of the Fire Service // Режим доступа: <http://www.firefighternation.com/article/management-and-leadership/public-perception-fire-service> (Дата обращения: 12.09.2016)
2. *May Ben*. Public Perception & Reputation Management // Режим доступа: <http://www.firehouse.com/blog/10914940/fire-service-reputation-iafcs-taking-responsibility-for-a-positive-public-perception-report> (Дата обращения: 11.09.2016)
3. *Nicol Susan* IAFC Issues Report on Public Perception of Responders. Режим доступа: <http://www.firehouse.com/news/10885701/iafc-issues-report-on-public-perception-of-responders> (Дата обращения: 12.09.2016)
4. *Гершельман Ф.* Воспитание будущих офицеров // Режим доступа: http://artofwar.ru/k/kamenew_anatolij_iwanowich/razwitielichnostibudushihoficerow.shtml (Дата обращения: 21.03.2011)
5. *Климов Е. А.* Психология профессионала. М.: Издательство «Институт практической психологии»; Воронеж: НПО «МО-ДЭК», 1996
6. *Коровин В. М., Пустовалов С. И., Свиридов В. А.* Офицерская честь: моральные принципы и правовые нормы. Режим доступа: http://armyrus.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=93&Itemid=1521 (Дата обращения: 11.03.2011).
7. *Лобова А. А., Кренина А. В.* Честь как духовная основа офицерской культуры // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. № 4(14). 2011. С. 139–149.
8. *Осипов А. В.* Профессионально-важные качества сотрудников пожарно-спасательных формирований на разных этапах профессионального становления: дис... канд. психол. наук : 19.00.13 / Осипов Артур Валентинович; [Место защиты: Юж. федер. ун-т]. Ростов-на-Дону, 2009.
9. Профессиографическое описание основных видов деятельности сотрудников ГПС МВД России: пособие / ред. М. И. Марьин, И. Н. Ефанова, М. Н. Поляков и др. М.: ВНИИПО, 1998.
10. *Пустовалова Е. И.* Образ пожарного в общественном сознании россиян: особенности восприятия, историческая трансформация / Е. И. Пустовалова, А. И. Ложкарев, М. В. Барановских // Техносферная безопасность. 2015. № 4 (9). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Дата обращения: 14.09.2016).

A. A. Lobova, D. A. Kistanova, A. L. Osrohumova

FORMING THE POSITIVE IMAGE OF A FIREFIGHTER IN THE PUBLIC CONSCIOUSNESS: THE PROBLEM STATEMENT

The authors address the problem of forming a positive image of a firefighter as a representative of the State Fire Service. The main feature of the public perception is noted as the contradiction in the image of fire formed in the public consciousness by the media, and in the image of firefighter formed on the basis of the public perception of the activities and actions of employees of the State Fire Service. It is noted the critical importance of formation and education of high moral qualities of the employees of this sector as the basis for the formation of a positive image of the firefighter in the public consciousness. The Western experience of activities of fire departments to maintain and promote a positive image of the fire is examined. The data of sociological surveys conducted among cadets, students and different population groups on the personal qualities of a firefighter are demonstrated.

Keywords: the State Fire Service; public consciousness; public opinion; the image of the firefighter; professionally valuable qualities; moral qualities; the positive perception of the firefighter.

REFERENCES

1. *Marsar Stephen*. Public Perception of the Fire Service // *Rezhim dostupa:* <http://www.firefighternation.com/article/management-and-leadership/public-perception-fire-service> (Data obrashhenija: 12.09.2016)
2. *May Ben*. Public Perception & Reputation Management // *Rezhim dostupa:* <http://www.firehouse.com/blog/10914940/fire-service-reputation-iafcs-taking-responsibility-for-a-positive-public-perception-report> (Data obrashhenija: 11.09.2016)
3. *Nicol Susan* IAFC Issues Report on Public Perception of Responders. // *Rezhim dostupa:* <http://www.firehouse.com/news/10885701/iafc-issues-report-on-public-perception-of-responders> (Data obrashhenija: 12.09.2016)
4. *Gershel'man F.* Vospitanie budushhih oficerov // *Rezhim dostupa:* http://artofwar.ru/k/kamenew_anatolij_iwanowich/razwitielichnostibudushihoficerow.shtml (Data obrashhenija: 21.03.2011)
5. *Klimov E. A.* Psihologija professionala. M.: Izdatel'stvo «Institut prakticheskoy psihologii»; Voronezh: NPO «MO-DJeK», 1996
6. *Korovin V. M., Pustovalov S. I., Sviridov V. A.* Oficerskaja chest': moral'nye principy i pravovye normy. *Rezhim dostupa:* http://armyrus.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=93&Itemid=1521 (Data obrashhenija: 11.03.2011).
7. *Lobova A. A., Krinina A. V.* Chest' kak duhovnaja osnova oficerskoj kul'tury // *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii.* № 4(14). 2011. S. 139–149.

8. *Osipov A. V.* Professional'no-vazhnye kachestva sotrudnikov pozharno-spasatel'nyh formirovanij na raznyh jetapah professional'nogo stanovlenija: dis... kand. psihol.nauk : 19.00.13 / Osipov Artur Valentinovich; [Mesto zashhity: Juzh. feder. un-t]. Rostov-na-Donu, 2009.

9. *Professiograficheskoe opisanie osnovnyh vidov dejatel'nosti sotrudnikov GPS MVD Rossii: posobie* / red. M. I. Mar'in, I. N. Efanova, M. N. Poljakov i dr. M.: VNIPO, 1998.

10. *Pustovalova E. I.* Obraz pozharnogo v obshhestvennom soznanii rossijan: osobennosti vosprijatija, istoricheskaja transformacija / E. I. Pustovalova, A. I. Lozhkarev, M. V. Baranovskih // *Tehnosfernaja bezopasnost'*. 2015. № 4 (9). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Data obrashhenija: 14.09.2016).

Лобова Анна Анатольевна

Заведующий кафедрой

Кандидат культурологии

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: annete79@mail.ru

Lobova Anna Anatolievna

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

Кистанова Дарья Александровна

Студент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: annete79@mail.ru

Kistanova Daria Alexandrovna

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

Остроумова Анастасия Леонидовна

Студент

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: ymka-240495@yandex.ru

Osrohumova Anastasia Leonidovna

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

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 510+614.842

М. Г. Есина, С. В. Горинова, А. А. Братушев

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

В данной статье рассмотрена задача оптимизации времени следования пожарной техники к некоторому заранее известному пункту назначения. При выборе метода оптимизации на основе анализа инструментов и методов решения задач рекомендовано применение симплекс-метода для разработки оптимального маршрута продвижения пожарных подразделений по пересечённой местности к контрольной точке. Для математической постановки задачи оптимизации маршрута рассмотрен случай возникновения торфяного пожара в Ивановской области (в районе Рубского озера), где расположено множество участков земли, которые могут быть подвержены большому риску в результате пожара. В работе проведен анализ факторов, влияющих на движение транспортного средства, соответствующих реальному состоянию местности: заболоченность, преодоление топких мест (глина, болото); туман как фактор, влияющий на видимость; повреждения дороги, т.е. преодоление неровностей; жилищная зона; возможный обвал деревьев. Влияние факторов отражено в матрице вероятного воздействия. При выборе метода решения задачи оптимизации маршрута движения пожарной техники в чрезвычайных ситуациях учтены особенности задач математического программирования. По количеству управляющих параметров поставленная задача классифицируется как оптимизация при одной управляющей переменной – одномерная оптимизация.

Ключевые слова: оптимизация; маршрут движения пожарной техники; сокращение времени прибытия пожарных подразделений.

Вопросы повышения эффективности действий чрезвычайных служб имеют особую остроту и значимость в современных условиях. Понимание роли инструментов и методов в решении задач управления развертыванием сил и средств играет ключевую роль в процессе подготовки кадров в области пожарной безопасности, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Наглядным примером приобретения навыков и умений для решения

подобного рода задач является поиск оптимально маршрута движения пожарной техники в сложных условиях.

Как известно, задачи на отыскание оптимального решения называются задачами оптимизации, конечной целью которой является отыскание наилучшего или «оптимального» решения. Однако, зачастую приходится довольствоваться улучшением известных решений, а не доведением их до совершенства. Поэтому под оптимизацией понимают скорее стремление к совершенству, которое, возможно, и не будет достигнуто. Практика управления порождает множество новых задач оптимизации, причём сложность их растёт. Требуются новые математические модели и методы, учитывающие наличие многих критериев, проводящие глобальный поиск оптимума. Навыки и умения по выявлению оптимального пути движения пожарной техники помогут сократить время ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время новейшие достижения математики и современной вычислительной техники находят все более широкое применение как в экономических исследованиях и планировании, так и в решении военных тактических задач. Этому способствует развитие таких разделов математики как математическое программирование, теория игр, теория массового обслуживания, а также бурное развитие быстродействующей электронно-вычислительной техники. Уже накоплен большой опыт постановки и решения экономических и тактических задач с помощью математических методов. Особенно успешно развиваются методы оптимизации – задачи о нахождении экстремума вещественной функции в математике.

Оптимизация подразумевает нахождение наилучшего варианта среди всех существующих. В любой практической оптимизационной задаче существует много совпадающих этапов. Наиболее важным этапом является моделирование рассматриваемой физической ситуации с целью получения математической функции, которую необходимо минимизировать, а также определения ограничений, если таковые существуют. Затем следует выбрать подходящую процедуру для осуществления минимизации. Эта процедура должна быть реализована на практике, что во многих реальных случаях вынуждает использовать компьютерную технику для выполнения большого объема вычислений. В настоящее время для эффективного применения методов математического программирования и решения задач используются специальные компьютерные программы, самой используемой из которых является Microsoft Excel. При выборе метода решения задачи оптимизации маршрута движения пожарной техники в чрезвычайных ситуациях рассмотрены особенности задач математического программирования. Так, по виду целевой функции следует выбрать класс задач линейного программирования, относящихся к методам решения экстремальных задач на

множествах n -мерного векторного пространства, задаваемых системами линейных уравнений и неравенств. По количеству управляющих параметров классифицируем задачу как оптимизация при одной управляющей переменной – одномерная оптимизация.

При выборе метода оптимизации будем учитывать, что чем сложнее организуемое мероприятие, чем больше вкладывается в него материальных средств, чем шире спектр его возможных последствий, тем менее допустимы решения, не опирающиеся на научный расчет, и тем весомее совокупность научных методов, позволяющих заранее оценить последствия каждого решения, заранее отбросить недопустимые варианты и рекомендовать те, которые представляются наиболее удачными. Поскольку решение сводится к локальному экстремуму целевой функции, будем использовать детерминированные локальные численные, требующие только вычислений целевой функции в точках приближений методы решения. Алгоритм такого решения предполагает тотальный перебор, когда область ограничений накрывается прямоугольной сеткой, каждый узел сетки проверяется по системе ограничений. Если узел – план, для него рассчитывается значение целевой функции. В процессе счета запоминается оптимальное значение целевой функции и координаты оптимального узла.

Таким образом, в целях оптимизации времени следования пожарной техники наиболее результативной является транспортная задача, или задача Монжа-Канторовича. Это класс задач, нацеленных на поиск «оптимального распределения однородных объектов из аккумулятора к приемникам с минимизацией затрат на перемещение» [2, с.23]. Иными словами транспортная задача – это задача на нахождение оптимального пути перевозок грузов из пунктов отправления в пункты назначения с минимальными затратами на перевозки. Один из самых распространённых методов решения данного типа задачи – симплекс-метод.

Поиск оптимального маршрута – это не всегда поиск кратчайшего пути. Однако в данном случае его поиск очень важен для минимизации времени прибытия пожарной техники, к которой относятся: пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы); установки пожаротушения; установки пожарной сигнализации; огнетушители; пожарное оборудование; пожарный ручной инструмент; пожарный инвентарь; пожарные спасательные устройства [1] к месту назначения. Сложные рельефы местности, загроможденность участков пути, блокирование дорог в чрезвычайных условиях усложняют задачу. В качестве примера для математической постановки задачи оптимизации маршрута примем возникновение торфяного пожара в Ивановской области, где расположено множество участков земли, которые

могут быть подвержены большому риску в результате пожара, особенно это касается летнего периода.

Сделаем допущение, что пожар начался на Рубском озере, причем там он мог произойти как в связи с естественным горением торфа, так и в связи с неосторожным обращением с огнем. Будем рассчитывать оптимальный путь движения пожарной техники к пункту назначения, находящемуся в точке с координатами $56^{\circ}43'02.2''N$ $40^{\circ}36'02.1''E$ (рис. 1).

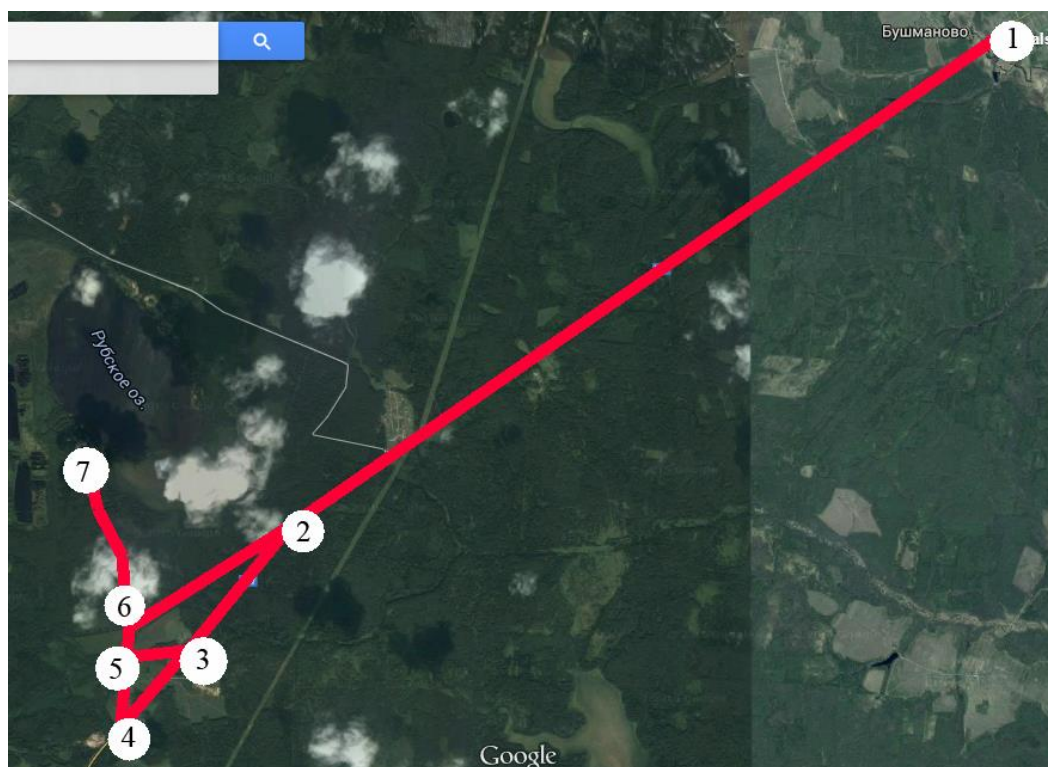


Рис. 1. Вероятные пути следования к пункту назначения

Математическая постановка задачи будет иметь следующий вид.

Пусть задана некоторая схема возможных перемещений, представленная в виде сети на рис. 2, где каждой ориентированной дуге, соответствует определенное расстояние. Необходимо найти кратчайший путь из 1-го узла сети, где расположена пожарная часть, в заданный 7-й узел – пункт назначения. Узлы с номерами 2-6 являются промежуточными пунктами. Необходимо разработать план перевозок пенообразователя и пожарного оборудования между узлами сети, который при минимальных затратах времени позволит специальной технике добраться до места возникновения пожара с целью его ликвидации.

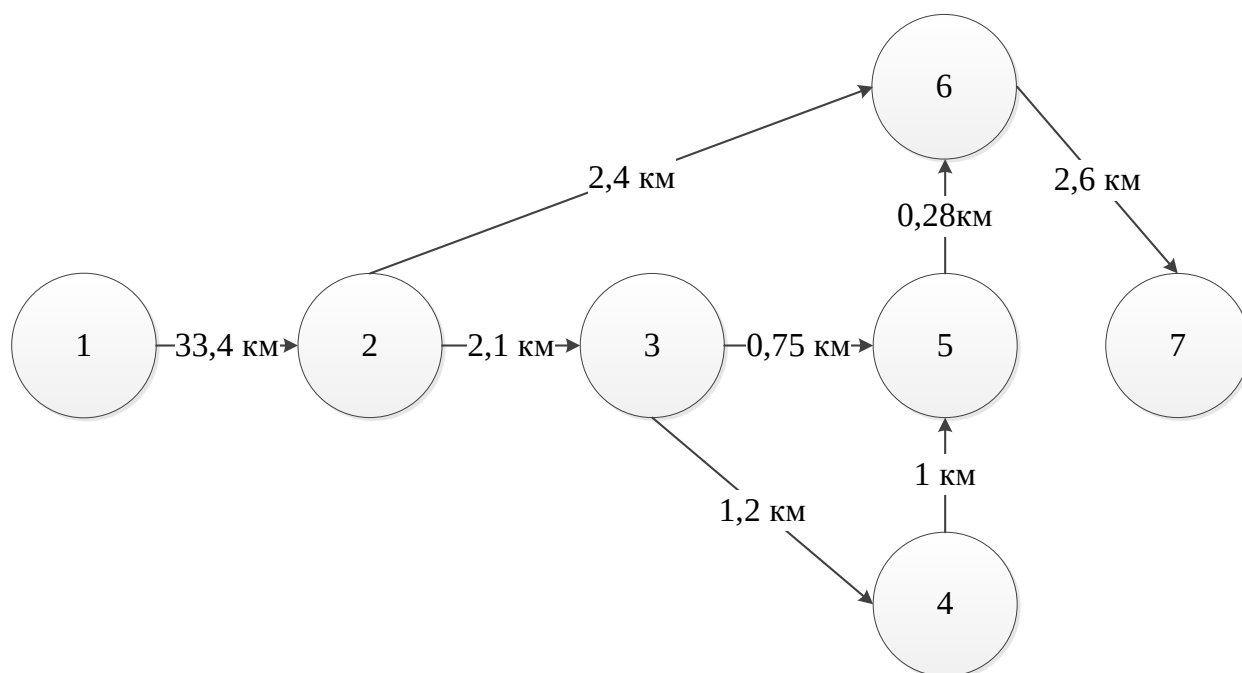


Рис. 2. Графическое представление транспортной задачи

В данном случае поиск оптимального пути очень важен для минимизации времени выполнения работ, что касается и оптимизации пути единиц пожарной техники. Задача выбора кратчайшего пути задана сетью, изображенной на рис. 2. Мы ищем кратчайший путь от узла с номером 1 до узла с номером 7, если $c_{12}=33,4$ км, $c_{23}=2,1$ км, $c_{26}=2,4$ км, $c_{34}=1,2$ км, $c_{35}=0,75$ км, $c_{45}=1$ км, $c_{56}=0,28$ км, $c_{67}=2,6$ км.

Таким образом, кратчайший путь движения пожарной техники следующий: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 7$. Длина маршрута при этом составит 38,4 км. Второй возможный путь, имеющий вид: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ имеет большую продолжительность – 39,13 км. Если же техника будет двигаться по 3-му маршруту, имеющему вид $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$, то расстояние перемещения составит 40,58 км.

Водителю пожарного автомобиля приходится быть предельно внимательным, т.к. всегда в условиях чрезвычайной ситуации имеется повышенный риск внезапного блокирования пути движения людьми, домашними животными, хозяйственной утварью, упавшими деревьями и т.д. Для рассматриваемых нами маршрутов, представленных на рис. 1, в ходе исследования были выбраны 5 факторов, влияющих на проходимость транспортного средства, соответствующих реальному состоянию местности. Выбор факторов осуществлялся путем экспертного опроса слушателей

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

факультета заочного обучения, служащих в пожарных частях, во время летней сессии. В табл. 1 представлена матрица вероятного воздействия затрудняющих движение факторов на каждом участке маршрута.

Таблица 1. Вероятность наступления неблагоприятных событий во время следования

	Участки маршрутов							
	1–2	2–3	2–6	3–4	3–5	4–5	5–6	6–7
Заболоченность	0,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Завалы из деревьев	0,4	0,4	0,7	0,1	0,7	0,1	0,1	0,7
Животные на дороге	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5
Наличие пешеходов	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0,6	0,1	0,2
Повреждение дорожного полотна	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6

Как мы уже выяснили ранее, путь 1 является самым коротким. Однако, анализируя все факторы этого пути, влияющие на проходимость автомобиля, возникает вопрос о его оптимальности, для решения которого встает необходимость в расчете времени следования по данному пути, а так же по пути, имеющему наименьшее количество препятствующих факторов и сравнительно меньшую протяженность.

Для определения времени следования подразделений, необходимо определить среднюю скорость движения пожарной техники по выбранным маршрутам. Согласно нормативной базы, средняя скорость движения пожарных автомобилей принимается за 45 км/ч на широких улицах с твердым покрытием и 25 км/ч на сложных участках [1, 5].

Вследствие того, что на скоростные характеристики движения пожарных подразделений существенным образом влияют различные факторы, для решения поставленных задач предлагается использовать скорость движения пожарных подразделений при наличии неблагоприятных факторов. На основе данного метода проведены вычисления скоростей следования подразделений пожарной охраны к месту вызова (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительный анализ оптимальных путей

	Путь 1	Путь 2	Путь 3
Средняя скорость (км/ч)	30	40	35
Расстояние	38,4	39,13	40,58
Время	1,28	0,97	1,16

Кратчайший путь составил 38,4 км, однако, в ходе дальнейших исследований, в качестве оптимального был признан второй путь, длина которого составляет 40 км. Несмотря на то, что кратчайшим путем перевозки, исходя из вычислений, был признан путь номер 1, следует принять во внимание такие факторы, как пробки, заболоченность, туман, преодоление неровностей жилой зоны, которые в итоге окажут влияние на скорость и, следовательно, время движения пожарной техники к точке назначения. Скорость движения пожарного автомобиля по оптимальному пути составила около 40 км/ч, а время – приблизительно 58 минут.

Следует отметить, что оптимальное время движения пожарных подразделений к контрольной точке составляет не более 20 минут. Оптимизации времени, полученного в результате приведенных расчетов, можно добиться, если учесть возможность оперативных действий пожарно-спасательных подразделений федеральной противопожарной службы, которые могли бы прибыть из других пожарных частей. В таком случае рассматривается оптимизация при двух и более управляющих переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ, гл. 12 ст. 42.
2. Боярский С. Н., Чернышев Л. А. Моделирование производственных процессов на транспорте: Методические указания / С. Н. Боярский, Л. А. Чернышев. Екатеринбург, 2009.
3. Задачи многокритериальной оптимизации // Экономико-математические методы и прикладные модели: – [Электронный источник]: http://studme.org/128005289271/ekonomika/zadachi_mnogokriterialnoy_optimizatsii (Дата посещения 16.03.2015).
4. Терещенков В. В. Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания). Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2012. 460 с.
5. Программная система «ВИГОЛТ» для решения задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике / Д. С. Бухаров, А. Л. Казаков (2012).
6. http://studopedia.ru/18_27532_opredelenie-vremeni-pribitiya-pervogo-podrazdeleniya.html
7. <http://base.garant.ru/5646727/17/>
8. <http://gochs.info/download/sp-11.13130.2009.pdf>
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Линейное_программирование
10. http://www.e-edu.by/main/departments/finance/staff/raczkowski/enotes/alg_simplex_meth.pdf.

M. G. Esina, S. V. Gorinova, A. A. Bratusev

APPLICATION OF THE METHODS OF MATHEMATICAL PROGRAMMING IN SOLVING PROFESSIONAL PROBLEMS

In this article we consider the problem of optimization of time following fire appliances to some previously known destination. When choosing a method of optimization-based tools for analysis and problem solving techniques recommended the use of the simplex method to develop the optimal route promoting fire departments over rough terrain to the next checkpoint. For the mathematical formulation of the problem of optimization of the route, the case of occurrence of a peat fire in the Ivanovo region (Rubskoye Lake District), where there are many areas of land that may be at greater risk from fire. The paper analyzes the factors that influence the movement of the vehicle corresponding to the real state of the terrain: waterlogging, overcoming Carr (clay, swamp); fog, as a factor that influences the visibility; damage the road, ie overcoming irregularities; living sector; a possible collapse of the trees. Influence of factors is reflected in the matrix of the likely impact. When choosing a method of solving the problem of route optimization fire equipment movement in emergency situations into account features of mathematical programming problems. According to the number of control parameters assigned task is classified as an optimization when a control variable – dimensional optimizatsiya.

Keywords: optimization; the route of movement of fire equipment; reducing the time of arrival of fire units.

REFERENCES

1. Tehnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Federal'nyj zakon ot 22 ijulja 2008 g. № 123-FZ, gl. 12 st. 42.
2. *Bojarskij S. N., Chernyshev L. A.* Modelirovanie proizvodstvennyh processov na transporte: Metodicheskie ukazaniya / S. N. Bojarskij, L. A. Chernyshev. Ekaterinburg, 2009.
3. Zadachi mnogokriterial'noj optimizacii // Jekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli: – [Jelektronnyj istochnik]: http://studme.org/128005289271/ekonomika/zadachi_mnogokriterialnoy_optimizatsii (Data poseshhenija 16.03.2015).
4. *Terebnev V. V.* Raschet parametrov razvitija i tushenija pozharov (Metodika. Primery. Zadaniya). Ekaterinburg: ООО «Izdatel'stvo «Kalan», 2012. 460 s.
5. Programmnaja sistema «VIGOLT» dlja reshenija zadach optimizacii, vznikajushih v transportnoj logistike / D. S. Buharov, A. L. Kazakov (2012).
6. http://studopedia.ru/18_27532_opredelenie-vremeni-pribitiya-pervogo-podrazdeleniya.html
7. <http://base.garant.ru/5646727/17/>
8. <http://gochs.info/download/sp-11.13130.2009.pdf>

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Linejnoe_programmirovanie

10. http://www.e-edu.by/main/departments/finance/staff/raczkowski/enotes/alg_simplex_meth.pdf.

Есина Марина Геннадьевна

Доцент

Кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: esina_mg@mail.ru

Esina Marina Gennadievna

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

Горинова Светлана Владимировна

Профессор

Доктор экономических наук

Профессор

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: s.v.gorinova@mail.ru

Gorinova Svetlana Vladimirovna

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

Братушев Александр Андреевич

Магистрант

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: bratushev_s@mail.ru

Bratusev Alexander Andreevich

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 378.146

Д. И. Коровин, С. В. Старавойтов

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ СТРЕСС-ТЕСТИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ И РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧС НА БАЗЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Авторы разрабатывают организационную инновацию, состоящую в применении алгоритма имитационного процесса подготовки персонала МЧС России, развивающую навыки принятия оптимальных решений в многоэтапных сценариях с учетом вариантности развития таких сценариев. Опишем основные этапы алгоритма такого имитационного процесса. Основным достоинством предлагаемой модели является то, что никто – ни тестируемый, ни тестирующий – заранее не знает, как будет развиваться сценарий учения. Этим достигается эффект непредсказуемости, который в экстремальной ситуации играет при ликвидации ЧС существенную роль. Это позволяет использовать методику, в том числе, и для развития навыков реакции. Проблема оценивания качества выполнения задания требует присутствия и реакции контроля со стороны тестирующего. Учитывая важность правильности принятия решения, подобную оценку должны выставлять высококомпетентные практики, что не представляется возможным, так как предполагается массовое и частое использование теста. Данную задачу предлагается решать с помощью инструмента теории нечетких множеств. Суть метода в следующем. Эксперты определяют правила на стадии проектирования теста, их правила формализуются с помощью математической логики. Организаторы учитывают специфику восприятия экспертами переменных, которые используются для оценки (эта процедура является процедурой построения так называемых функций принадлежности). Затем используются специальные нечетко-логические процедуры, выводится оценка деятельности тестируемого как оценка соответствия правилам экспертов. Замечательно то, что эксперты необходимы только на стадии конструирования теста.

Ключевые слова: стресс-тестинг; подготовка специалистов; учения; нечеткая логика; эксперты; сценарий развития событий; многоинвариантность.

Организации подготовки высокопрофессиональных кадров для Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (далее – МЧС России) в последнее время уделяется особое внимание. Это

связано с причинами, определяемыми нестабильностью финансового обеспечения государственных структур из-за изменившейся конъюнктуры экономических рынков и с ростом сложности ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) на высокотехнологичных объектах (энергетики, объектов жизнеобеспечения, связи, коммуникационных объектах и т.д.), которые в результате длительного и интенсивного износа становятся подверженными разрушению и поломкам.

В рамках подготовки специалистов противопожарных служб основное внимание уделяется обучению практическим методам ликвидации ЧС, причем обучение проходит как в теоретической сфере (в аудиториях, лабораториях, компьютерных классах), так и на практике – в полевых условиях. Последнее требует привлечения существенных материальных затрат. Если для развития стандартных навыков практические занятия являются единственно возможными и необходимыми, то для обучения персонала принятие оптимальных решений в многоэтапных сценариях с учетом многоинвариантности развития таких сценариев становится исключительно затратной процедурой, способной поглотить весь бюджет образовательного учреждения.

Участие курсантов в многоэтапных учениях, основанных на имитации ЧС, является скорее проверкой качества такой подготовки и не позволяет достичь развития аналитических способностей, необходимых для принятия быстрого решения в экстремальной нестандартной ситуации. С подобными проблемами подготовки встречаются не только специалисты МЧС России. Существенное внимание отработки действий персонала в случае наступления нестандартной ситуации, как это странным не покажется, уделяется в банковской сфере.

В западной банковской практике популярными мероприятиями, направленными на подготовку персонала «правильно» реагировать на нестандартное развитие ситуации, являются процедуры стресс-тестинга. Стресс-тестинг в финансовой терминологии является моделированием негативного развития экономической ситуации и анализом реакции финансового учреждения, реализуемой для оптимального ухода от негативных последствий (на практике часто рассматривается не только реакция персонала, но и способность «удержания» контрольных показателей тем или иным финансовым инструментом). Вместо того чтобы делать финансовые прогнозы на основе некоторого ожидаемого сценария, компания или ее регулирующие органы производят имитацию неблагоприятного развития ситуации, далее производят анализ реакции персонала финансового учреждения или финансового инструмента. Этот тип анализа становится все более распространенным и уже принят различными государственными органами

(например, в Великобритании, в Европейской банковской администрации и в Международном валютном фонде) в качестве нормативного требования для обеспечения адекватного уровня распределения капитала для покрытия потенциальных убытков. Учитывая это, авторы разрабатывают организационную инновацию. Она состоит в применении алгоритма имитационного процесса подготовки персонала МЧС России, в котором развиваются навыки принятия оптимальных решений в многоэтапных сценариях, с учетом вариантности развития таких сценариев.

Опишем основные этапы алгоритма такого имитационного процесса. Основным достоинством предлагаемой модели является то, что никто – ни тестируемый, ни тестирующий – заранее не знает, как будет развиваться сценарий учения. Этим достигается эффект непредсказуемости, который в экстремальной ситуации играет при ликвидации ЧС существенную роль. Это позволяет использовать методику, в том числе и для развития навыков реакции. Проблема оценивания качества выполнения задания (при недетерминированном сценарии тестируемый может выполнять действия, заранее не предусмотренные) требует присутствия и реакции контроля со стороны тестирующего. Учитывая важность правильности принятия решения, подобную оценку должны выставлять высококомпетентные практики, что невозможно, так как предполагается массовое и частое использование теста. Данную задачу предлагается решать с помощью инструмента теории нечетких множеств.

Суть метода в следующем. Эксперты определяют правила на стадии проектирования теста, их правила формализуются с помощью математической логики. Организаторы учитывают специфику восприятия экспертами переменных, которые используются для оценки (эта процедура является процедурой построения так называемых функций принадлежности). Затем используются специальные нечетко-логические процедуры, выводится оценка деятельности тестируемого как оценка соответствия правилам экспертов. Замечательно то, что эксперты необходимы только на стадии конструирования теста.

Методически построение теста можно разбить на три этапа. Первый – построение сценария с всевозможными вариантами развития ситуации. Вторым – разработка правил, как будут выбираться те или варианты. Напомним, что для этого необходимо с одной стороны реализовывать случайную генерацию (элемент метода Монте-Карло), с другой стороны должны быть правила, определяющие, как будут развиваться события, если тестируемый предпримет те или иные действия. Третий этап – разработка правил оценивания. Рассмотрим концептуально пример построения теста. Построение вариантов

развития ситуации. За основу имитационной модели выбирается сценарий уже существующих учений. Сценарий разбивается на ключевые этапы (4–6 этапов).

На каждом этапе каждый из экспертов предлагает по три альтернативных сценария развития событий. Варианты, предлагаемые наибольшим количеством экспертов, рассматриваются как альтернативные сценарные пути. Для каждого из путей развития экспертами (и для основного сценарного пути) выбираются группы необходимых к выполнению мероприятий. Для каждого мероприятия выбирается шкала оценивания по объективным показателям, указываются виды ошибок и неточностей, которые может допустить тестируемый. Экспертам предлагается определить, каково может быть развитие ситуации, если предшествующие мероприятия либо не выполнены в полном объеме, либо выполнены несвоевременно, либо выполнены с нарушениями (ошибками).

Таким образом, в развитии каждого этапа могут появиться новые сценарные пути. Сценарные пути, не поддержанные основной группой экспертов, не выделяются и идентифицируются как пути с наибольшей поддержкой. На следующем этапе количество сценарных путей увеличивается, принятие решений о возможных путях развития ситуации принимается для каждого сценарного пути, а их количество существенно увеличивается (некоторые из сценарных путей могут приводить к одному результату, что сокращает количество вариантов на следующем этапе). Процедуры построения различных вариантов развития ситуации продолжаются до окончания перебора этапов сценария.

Математическая модель данного процесса описывается графом «развития ситуации». Вершинами графа признаются: вершина, соответствующая началу мероприятий; группа вершин, определяющих начало нового этапа; группа вершин, соответствующих состоянию дел после реализации тестируемым необходимых, по мнению экспертов действий (или отсутствия этих реализаций); вершины, определяемые состояние процесса ликвидации ЧС после совершения всех мероприятий тестируемым. Ребра графа двух типов – первый тип, ребра, отвечающие за вариант развития соответствующего этапа, предлагаемый экспертами, второй тип – изменение ситуации как следствие предпринятых тестируемым действий (см. рис 1).

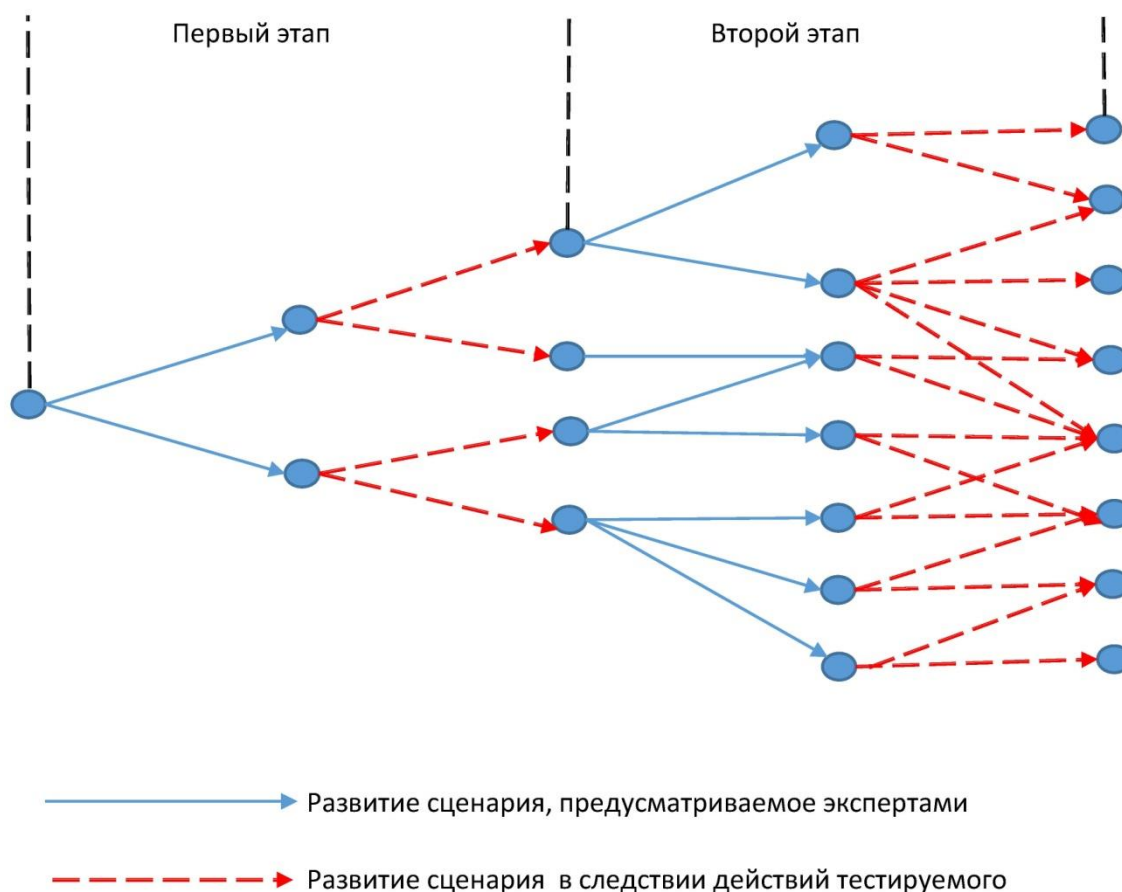


Рис. 1. Граф «развития ситуаций»

Процедуры имитации развития ситуации. При реализации тестирования выбор одного из предложенных экспертами путей (ребер первого типа) производится с помощью простого генератора случайных чисел. Например, пусть эксперты допустили три возможных варианта развития события, при этом статистически 1 вариант был предложен пятью экспертами, второй – тремя, третий – двумя. Генерируется случайное число x из $[0;1]$. Если $x \leq 5/10$, выбирается первый вариант, если $5/10 < x \leq 8/10$, выбирается второй вариант и если $8/10 < x$, выбирается третий. Однако выбор ребер второго типа требует более совершенной математической модели. Действительно, изменение ситуации эксперты связывают с исполнением (неисполнением) необходимых мероприятий, которые могут быть исполнены с ошибками. Формализовать процедуру выбора с помощью детерминированных условий невозможно. Каждый эксперт на стадии проектирования придавал мероприятиям

тестируемого свою значимость, и в силу различия опыта экспертов четких условий построить невозможно.

Одним из методов, решающих эту проблему, является применение нечетко-логических правил. Пример для преодоления этапа тестируемому необходимо реализовать мероприятия А, В, С. В зависимости от «качества реализации» возможны развития сценариев П1, П2, П3. В нечеткой логике определяются лингвистические переменные (в нашем случае А, В, С), для каждой из которых выбираются значения, например А1= «А реализовано полностью», А2=«А реализовано с ошибками», А3=«А реализовано в недостаточном объеме». Так же и В1, В2, В3, С1, С2, С3, для переменной П = {путь}, П1 – означает реализацию первого варианта развития, П2 – второго, П3 – третьего. Эксперты определяют «базу знаний» – формальные правила, которые определяют, что случится, если произойдут те или иные события. Эти правила удобно выразить в виде $A1 \& B1 \& C1 \rightarrow P1$. Знак «&» означает одновременное происхождение событий, описываемых соответствующими переменными, знак « $\rightarrow$ » называется «импликация» и используется как указание на следование события в случае реализации посылки.

Пусть экспертами составлена база знаний (например, такая)

$$A1 \& B1 \& C1 \rightarrow P1,$$

$$A1 \& B1 \& C2 \rightarrow P1,$$

.....

$$A3 \& B3 \& C3 \rightarrow P3. \tag{1}$$

Напомним, что для мероприятий определены правила оценивания (например, оценка изменятся в диапазоне от 0 до 5) и каждому выполненному (или невыполненному) мероприятию по достижению объективных показателей выставляется соответствующая оценка. Пусть x – оценка для А, y – оценка для В, z – оценка для С, t – вспомогательный параметр для нахождения номера пути P_i . В нечеткой логике для всех значений переменных строятся функции принадлежности $\mu_{A1} = \mu_{A1}(x)$, ..., $\mu_{A3} = \mu_{A3}(x)$, $\mu_{B1} = \mu_{B1}(y)$, ..., $\mu_{C3} = \mu_{C3}(z)$, $\mu_{P1} = \mu_{P1}(t)$, ..., $\mu_{P3} = \mu_{P3}(t)$. Значение функции $\mu_{A1} = \mu_{A1}(x)$ (она принимают значения от 0 до 1) можно интерпретировать так: чем более достоверно при соответствующем значении аргумента x применение значения переменной А1 (мероприятие реализовано полностью), тем ближе к 1 значение μ_{A1} . Таким образом, учитываются различия экспертов в оценке переменных – термины становятся «нечеткими». Для получения номера варианта по оценкам в соответствии с правилами базы знаний, установленными экспертами, далее

используется процедуры фазификации и дефазификации методом Мамдани. То есть, на основании формул базы знаний и вида функций принадлежности строится функция

$$T=f(x,y,z), \quad (2)$$

которая указывает номер Т-варианта развития событий. Функция f не имеет аналитического представления, фактически она имитирует работу мозга эксперта (экспертов) выдвинувших правила -базу знаний. Оценка качества принятия решений. Для определения оптимальности принятия решений о проведении мероприятий, их реализации предлагается также использовать инструмент теории нечеткой логики. В связи с этим экспертами на стадии построения правил выбора вариантов развития ситуации строится база знаний, для проставления промежуточных оценок на каждом этапе, а на заключительном этапе в качестве переменных могут быть использованы не только переменные последнего этапа, но и переменные, соответствующие существенным для ликвидации ЧС мероприятий, относящиеся к различным этапам. Например, на каждом этапе i предъявляется такая база знаний для проставления частичной оценки F_i :

$$A1 \& B1 \& C1 \rightarrow F_{i1},$$

$$A1 \& B1 \& C2 \rightarrow F_{i1},$$

.....,

$$A3 \& B3 \& C3 \rightarrow F_{i4}, \quad (3)$$

где $F_{i1}, \dots, F_{i4}$ значения лингвистической переменной F_i . Они могут описываться как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таким образом, оценку тестируемого F (она может быть представлена многомерной величиной) можно представить как линейную комбинацию оценок за каждый этап F_i (в том числе и последний). В свою очередь, оценки за этапы F_i строятся как результаты нечетко-логических процедур, которые используют, во-первых, базы знаний для построения частичных оценок, во-вторых, уже подготовленные функции принадлежности переменных, соответствующих проведенных на этапе мероприятиям, и, в-третьих, функции принадлежности $F_{i1}, \dots, F_{i4}$ для каждого этапа i , которые также выбираются по требованию экспертов. Предложенный алгоритм является уникальным, нигде ранее не реализованным теоретическим результатом, требующем практического применения. Авторы надеются представить в ближайшее время

результат практической реализации, выполненной в рамках учебного процесса ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
2. *Круглов В. В., Дли М. И.* Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 256 с.
3. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. P. 1329–1333.
4. *Cordon O., Herrera F. A.* General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. P. 33–57.
5. *Теребнев В. В.* Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строевая подготовка: учебно-методическое пособие / В. В. Теребнев, В. А. Грачев, Д. А. Шехов. М.: Калан, 2008. 300 с.
6. *Теребнев В. В., Подгрушный А. В.* Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. М.: Калан, 2009. 320 с.
7. *Ситка И. В.* Пожарная тактика: учебно-методическое пособие / И. В. Ситка, С. Ю. Антонов, Т. В. Митрофанова. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет, 2015. 132 с.
8. *Горелко Г. П., Коровин Д. И.* Моделирование взаимодействий факторов социально-экономической системы России методом теории графов // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2016. № 2 (16). С. 100–106.
9. *Егоров В. Н., Коровин Д. И.* Основы экономической теории надежности производственных систем. М.: Наука, 2006. 526 с.
10. *Коровин Д. И.* Логические принципы в организации производства. Иваново: Ивановский государственный университет, 2006. 156 с.

D. I. Korovin, S. V. Staravoytov

**THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE A STRESS
TESTING FOR ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF SKILLS
OF OPTIMUM DECISION-MAKING AT ELIMINATION OF EMERGENCY
WITH USE OF METHODS OF FUZZY LOGIC**

Authors develop the organizational innovation consisting in application of an algorithm of imitating process of the training of personnel of the Ministry of Emergency Situations developing skills of adoption of optimal solutions in multi-stage scenarios taking into account alternativeness of development of such scenarios. We will describe the main stages of an algorithm of such imitating process. The main advantage of the offered model is what nobody, not tested, not testing is foreknown as the scenario of the doctrine will develop. It reaches effect of unpredictability which in an extreme situation plays an essential role at emergency elimination. It allows to use a technique including for development of skills of reaction. The problem of estimation of quality of performance of a task demands presence and reaction of control from testing. Considering importance of correctness of decision-making highly competent practitioners have to put down a similar mark that is impossible as mass and frequent use of the test is supposed. This problem is offered to be solved with the help of the tool of the theory of indistinct sets. A method essence in the following. Experts define rules at a design stage of the test, their rules are formalized by means of mathematical logic. Organizers consider specifics of perception by experts of variables who are used for assessment (this procedure is the procedure of creation of so-called functions of accessory). Then special indistinct and logical procedures are used assessment of activity tested as assessment of compliance to rules of experts is removed. Remarkably the fact that experts are necessary only at a stage of designing of the test.

Keywords: stress testing; training of specialists; doctrines; fuzzy logic; experts; scenario of succession of events; multiinvariancy/.

REFERENCES

1. *Zade L.* Ponjatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinjatiyu priblizhennykh reshenij. M.: Mir, 1976. 165 s.
2. *Kruglov V. V., Dli M. I.* Intellektual'nye informacionnye sistemy: komp'yuternaya podderzhka sistem nechetkoj logiki i nechetkogo vyvoda. M.: Fizmatlit, 2002. 256 s.
3. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. P. 1329–1333.
4. *Cordon O., Herrera F. A.* General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. P. 33–57.
5. *Terebnev V. V.* Podgotovka spasatelej-pozharnykh. Pozharno-stroevaya podgotovka: uchebno-metodicheskoe posobie / V. V. Terebnev, V. A. Grachev, D. A. Shehov. M.: Kalan, 2008. 300 s.

6. *Terebnev V. V., Podgrushnyj A. V. Pozharnaja taktika. Osnovy tushenija pozharov.* M.: Kalan , 2009. 320 s.

7. *Sitka I. V. Pozharnaja taktika: uchebno-metodicheskoe posobie / I. V. Sitka, S. Ju. Antonov, T. V. Mitrofanova.* Cheboksary: Chuvashskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2015. 132 s.

8. *Gorelko G. P., Korovin D. I. Modelirovanie vzaimodejstvij faktorov social'no-jekonomicheskoy sistemy Rossii metodom teorii grafov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom.* 2016. № 2 (16). S. 100–106.

9. *Egorov V. N., Korovin D. I. Osnovy jekonomicheskoy teorii nadezhnosti proizvodstvennyh sistem.* M.: Nauka, 2006. 526 s.

10. *Korovin D. I. Logicheskie principy v organizacii proizvodstva.* Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj universitet, 2006. 156 s.

Коровин Дмитрий Игоревич

Профессор

Кандидат физико-математических наук

Доктор экономических наук

Доцент

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

E-mail: dmitriyikorovin@list.ru

Korovin Dmitriyi Igorevic

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

Старавойтов Семён Вячеславович

Слушатель магистратуры

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

E-mail: basovstar@mail.ru

Staravoytov Semen Vyacheslavovich

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

НАУЧНЫЙ ДЕБЮТ

(статьи членов научного общества обучающихся)

УДК 54.03+54.04

К. Н. Архангельский, В. В. Киселев, Н. А. Кропотова

РАЗРАБОТКА ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматривается возможное решение проблемы защиты стальных конструкций от воздействия высоких температур при пожаре. Воздействие температуры на металлоконструкцию, изготовленную из малоуглеродистой стали, приводит к ее размягчению, и происходит полная потеря несущей способности металлоконструкции.

В результате возможных решений по огнезащите конструкций предлагается использовать защитные экраны и огнезащитные покрытия. Авторами статьи разработан и проанализирован огнезащитный состав. Методика его приготовления проста, а состав компонентов находится в широком доступе. Технология нанесения покрытия апробирована для широкого пользования. Для проведения экспериментальной части работы по исследованию эффективности приготовленного состава использовалось стандартное лабораторное оборудование – высокотемпературные электрические печи и машина для испытания материалов на растяжение. Приготовленное огнезащитное покрытие наносилось на металлические образцы и подвергалось воздействию высоких температур. Покрытые металлические образцы после воздействия высоких температур подвергались дополнительным исследованиям на прочность. Приведены экспериментальные данные по эффективности огнезащитного покрытия.

Экспериментально доказано, что детали и конструкции, предназначенные для работы при высоких температурах, следует изготавливать из специальных теплоустойчивых (жаропрочных) и жаростойких сталей, содержащих примеси специальных легирующих элементов, или на потенциально опасных объектах несущие элементы металлоконструкций необходимо покрывать специальными огнезащитными составами. Огнезащитные покрытия приводят к улучшению прочностных и огнестойких свойств металла.

Ключевые слова: огнезащита, огнезащитное покрытие, защита металла, прочность стали, тонкослойная огнезащитная краска, защита металлоконструкций.

Современное общество все больше внимание уделяет вопросам безопасности. Наибольшую угрозу для жизни представляют не только сами пожары, но и последствия от них.

Металлические конструкции благодаря высокой прочности широко используются в строительстве. Стальные конструкции, несущие балки, лестничные пролеты мало подвержены горению, но при длительном воздействии высоких температур начинают деформироваться и теряют свою устойчивость к действующей нагрузке и несущую способность. При длительном воздействии огня и при достижении определенных условий может происходить их обрушение, приводящее к существенному материальному ущербу и даже человеческим жертвам. Поскольку время прибытия первого подразделения к месту вызова не должно превышать 10 минут в городских поселениях, городских округах, а время оперативного развертывания, как правило, составляет от 6 до 8 мин., то при самых оптимистичных прогнозах прибывший на пожар караул приступит к тушению пожара и охлаждению металлоконструкций не меньше чем через 16 минут. Поэтому высокая чувствительность металла к перепадам температур и прямому воздействию огня требуют особых мер по огнезащите металлических конструкций.

Огнезащита несущих металлических конструкций является одной из важнейших задач в области обеспечения пожарной безопасности объектов, поскольку свойства материалов сильно зависят от температуры. Из литературных источников известно, что до температуры 300 °С временное сопротивление σ_b повышается (на 20–30%), а при дальнейшем повышении температуры резко снижается. Величина предела текучести σ_T и предела пропорциональности σ_n с повышением температуры уменьшается. При температуре 400 °С предел текучести составляет 60–70 % его величины при комнатной температуре. С повышением температуры длина площадки текучести сокращается и при температуре около 400 °С площадка вовсе исчезает. Пластические свойства (относительное остаточное удлинение при разрыве δ и сужение площади поперечного сечения ψ) с повышением температуры до 300 °С снижаются, а при дальнейшем ее повышении увеличиваются.

Механические свойства материалов зависят от продолжительности испытания. При некоторых температурах (например, для малоуглеродистой стали при температуре выше 800 °С) испытуемый образец может быть разрушен при напряжении меньшем, чем предел пропорциональности, соответствующий комнатной температуре, если это напряжение будет действовать достаточно продолжительное время [3].

При пожарах температура нагрева металлоконструкций может превышать 800 °С. Из литературных источников известно, что воздействие температуры порядка 500 °С на металлоконструкцию, изготовленную из малоуглеродистой стали, приводит к ее размягчению, металл «плавает» и, как правило, происходит полная потеря несущей способности металлоконструкции. Воздействие температуры порядка 600 °С приводит к снижению прочности металлических деталей и конструкций приблизительно в 3 раза [1]. Поскольку металлы теряют свои прочностные свойства вследствие длительного воздействия высоких температур и огня пламени, исследование по созданию огнезащитного покрытия представляется для нас наиболее актуальным.

Область применения различных способов огнезащиты определяют с учетом требуемого предела огнестойкости металлических деталей, их типа и ориентации в пространстве, вида нагрузки, действующей на детали и конструкции (статическая, динамическая), температурно-влажностного режима эксплуатации и производства работ по огнезащите (сухие, мокрые процессы), степени агрессивности окружающей среды и др.

Одним из способов огнезащиты металлических конструкций, получивших широкое применение за последнее десятилетие, является нанесение огнезащитных тонкослойных красок [2].

В данной работе приводятся результаты исследований огнестойкости элементов металлоконструкций, обработанных разработанным огнестойким покрытием. Технология приготовления покрытия достаточно проста.

В состав подготовительных работ при нанесении огнезащитного покрытия на металлоконструкции входят: обработка металлической поверхности, подготовка и дозирование сыпучих компонентов покрытия, разведение жидкого стекла до требуемой плотности.

Поверхность должна быть очищена от продуктов металлических конструктивных элементов, окалина, жировых пятен, остатков флюсов и шлаков, графа, образующихся при разбрызгивании металла во время сварки.

Компонентный состав сухой смеси огнезащитного покрытия следующий: оксид алюминия, силикат натрия, вода, графит, красящая основа, вяжущие элементы, др.

Сухие компоненты взвешиваются на технических весах с погрешностью 0,5 % по массе и перемешиваются в смесителе периодического действия. Время перемешивания не менее 5 мин. Жидкое стекло (ЖС) разбавляется горячей водой с температурой не более 80 °С при постоянном перемешивании в течение 3 мин. до плотности 1,2 г/см³ (в соответствии с ГОСТ 10078-81). Допускается разбавлять жидкое стекло холодной водой (20 °С) при условии увеличения времени перемешивания до 10 мин. Разбавленное жидкое стекло фильтруется через сито № 05 (ГОСТ 3584-73). Сухая смесь и жидкое стекло загружаются в

соответствующие емкости установки аэродинамического действия для нанесения покрытия. Всего получилось несколько опытных смесей, которые использовались при нанесении на металлические образцы для доказательства огнезащитных свойств данного покрытия.

Полученные опытные составы наносились на стальные образцы, огрунтованные железным суриком по ГОСТ 8135-74 или грунтами типа ГФ по ГОСТ 12707-77 в соответствии с требованиями СНиП по проектированию защиты стальных конструкций от коррозии.

Методика нанесения покрытия: поверхность конструкции смачивается жидким стеклом, после чего наносится состав (сухая смесь и жидкое стекло) необходимой толщины напылением за один раз. При нанесении состава покрытия температура окружающего воздуха должна быть не ниже 5 °С, влажность воздуха - не выше 75 %; кроме того, при работе с составом в условиях строительной площадки конструкции должны быть защищены от атмосферных осадков. Сушка покрытия должна осуществляться в естественных условиях при температуре не ниже 5 °С и влажности не выше 75 % в течение не менее 48 ч. Допускается сушка при температуре 80–100 °С в течение не менее 5 ч.

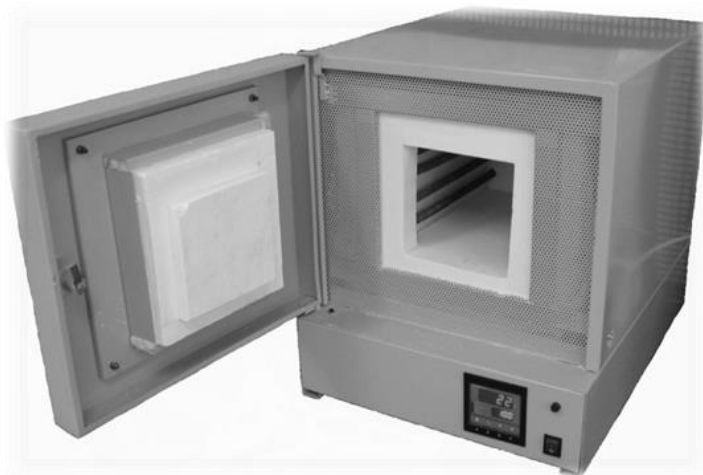
Для проведения экспериментальной части работы по исследованию эффективности приготовленного состава использовалось стандартное лабораторное оборудование – высокотемпературные электрические печи и машина для испытания материалов на растяжение (рис. 1.)

Для проведения испытаний было отобрано несколько образцов конструкционных материалов, имеющих разную массовую долю компонентов, один образец без покрытия, использовался как эталон. Предел прочности эталонного образца составил 714,3 МПа. Другие образцы были подвергнуты нагреву в муфельной печи до различных температур в интервале времени от 15 до 40 минут.

После нагрева одну заготовку погружали в воду для мгновенного охлаждения. Другую заготовку прошедшую нагрев оставили остывать на воздухе. После остывания, обе детали подверглись проверке на разрывной машине. Основные экспериментальные данные приведены в таблице.



а



б

Рис. 1. Лабораторное оборудование:
а – разрывная машина Р-5; *б* – муфельная печь.

Таблица. Экспериментальные данные по испытанию прочности металла
($t = 650^{\circ}\text{C}$)

№ пробы	Массовая доля компонентов смеси, $w(\text{ЖС}):w(\text{C}):w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	Предел прочности, МПа	
		остывание на воздухе	остывание в воде
I	-	520	440
II	1 : 0 : 0	482	125
III	0,5 : 0,5 : 0	420	160
IV	0,3 : 0,3 : 0,3	580	560

В ходе испытаний установлено, что образцы, остывавшие на воздухе, имели остаточную прочность порядка 400 МПа, что в 1,7 раза отличалось от эталонного. Образцы охлажденные водой разупрочнились в 5,6 раза, получив остаточную прочность около 125 МПа (рис. 2.) Что же касается экспериментальных образцов с нанесенным огнестойким покрытием, то можем заметить, что остаточная прочность снизилась незначительно – до 1,3 раза.

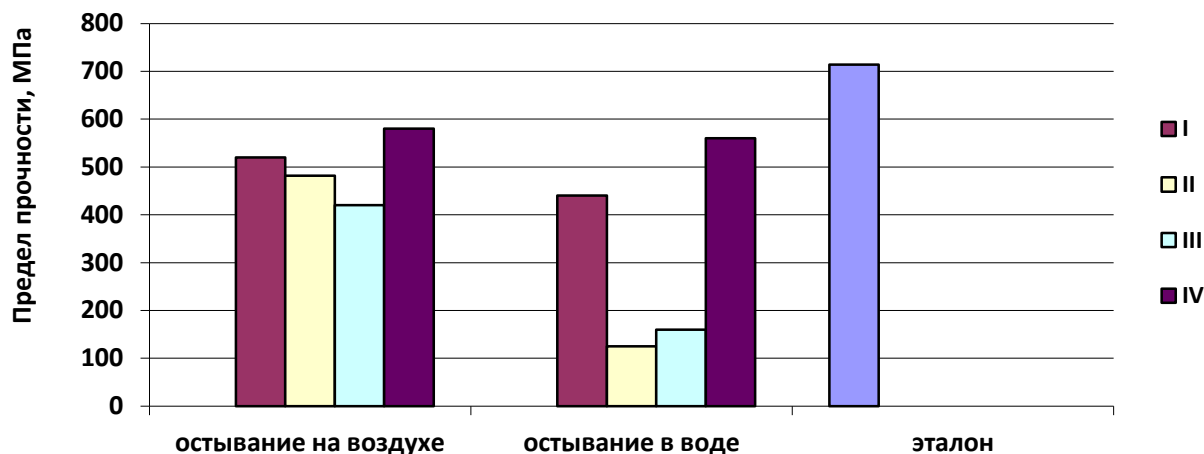


Рис. 2. Снижение прочности стали под воздействием высоких температур в сравнении с эталоном

Проведенные исследования показали, что механические свойства стали при нагревании ее до температуры 200...250 °С практически не меняются. При температуре 250...300 °С прочность стали несколько повышается, пластичность снижается. Сталь в изломе имеет крупнозернистое строение и становится более хрупкой (синеломкость). Не следует при этой температуре деформировать сталь или подвергать ее ударным воздействиям.

Нагрев выше 400 °С приводит к резкому падению предела текучести и временного сопротивления, а при $t = 600...650$ °С наступает температурная пластичность и сталь теряет свою несущую способность.

В ходе проведения экспериментов обнаружено, что для металлических конструкций критическое значение температуры $t_{кр}$, при котором ослабляются прочностные характеристики стали, равно 650 °С, причем продолжительность нагрева имеет определенное значения. Было выявлено, что прочностные параметры металлоконструкций при большем времени нагрева снижаются на 10–15 %.

Таким образом экспериментально доказано, что детали и конструкции, предназначенные для работы при высоких температурах, следует изготавливать из специальных теплоустойчивых (жаропрочных) и жаростойких сталей, содержащих примеси специальных легирующих элементов или на потенциально опасных объектах несущие элементы металлоконструкций необходимо покрывать специальными огнезащитными составами.

Результаты лабораторных испытаний разработанного огнестойкого покрытия IV показали эффективность его применения в лабораторных условиях, а именно:

- 1) улучшены прочностные и огнестойкие свойства металла, подвергшегося воздействию высоких температур [4, ГОСТ 30247.0-94];
- 2) огнестойкое покрытие просто в технологии приготовления и нанесения;
- 3) покрытие не занимает дополнительного объема;
- 4) разработанное покрытие не утяжеляет металлоконструкции.

Проводятся также дополнительные исследования данных покрытий на долговечность и воздействие окружающей среды. В качестве альтернативы планируется провести эксперимент с подкисленным графитом для получения вспучивающегося огнезащитного состава, огнезащитный эффект которого основан на образовании при тепловом воздействии пористой массы с низкой теплопроводностью, которая препятствует притоку тепла к защищаемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тайра С., Отани Р. Теория высокотемпературной прочности материалов / С. Тайра, Р. Отани. М.: Металлургия, 1986. 280 с.
2. Киселев В. В., Кропотова Н. А., Архангельский К. А. Влияние высоких температур при пожаре на прочность металлоконструкций // Материалы XI международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭНЕРГИЯ -2016». 2016. Т. 4. С. 124–126.
3. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А. И. Яковлев. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.
4. Киселев В. В., Кропотова Н. А., Архангельский К. А. Повышение надежности металлоконструкций в условиях повышенных температур за счет применения огнестойких покрытий // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию со Дня образования учебного заведения и Году пожарной охраны России, Иваново (14 апреля 2016 г.); под общ. ред. В. В. Киселева. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 21–24.
5. К вопросу защиты металлоконструкций от теплового потока при пожаре // В. В. Киселев, А. А. Покровский, Н. А. Кропотова и др. // Наука XXI век: открытия, инновации, технологии: сборник материалов научно-практической конференции. Смоленск, 31 апреля 2016 г. Смоленск, 2016. С. 18–21.
6. Киселев В. В., Кропотова Н. А., Архангельский К. А. Разработка огнестойкого покрытия для защиты металлоконструкций от высоких температур при пожаре //

Предупреждение. Спасение. Помощь: сборник материалов XXVI Международной научно-практической конференции. Химки, 2016. С. 9–14.

7. Киселев В. В., Кропотова Н. А., Архангельский К. А. Разработка огнезащитных покрытий для металлоконструкций // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов II Межвузовской научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны России. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 8–12.

8. Пучков П. В., Киселев В. В., Топоров А. В. Поведение углеродистых конструкционных сталей в условиях пожара // Современные пожаробезопасные материалы и изделия: технология, свойства, применение: сборник материалов IV межвузовского научно-практического семинара. Иваново, 22 мая 2014 г. Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2014. С. 104–109.

9. Киселев В. В., Дуда Д. А. Исследование прочностных свойств металлоконструкций при высоких температурах // Современные пожаробезопасные материалы и изделия: технология, свойства, применение: сборник материалов IV межвузовского научно-практического семинара. Иваново, 22 мая 2014 г. Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2014. С. 40–44.

10. Дуда Д. А., Киселев В. В. Исследование влияния высоких температур на эксплуатационные характеристики металлоконструкций // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов / под ред. М. Ю. Колобова, С. А. Никитиной, В. В. Киселева. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т; Иван. ин-т ГПС МЧС России, 2014. С. 99–101.

K. N. Archangelskiy, V. V. Kiselev, N. A. Kropotova

THE STEEL STRUCTURES FIRE RESISTANCE COATING DEVELOPMENT

The article discusses a possible solution of the problem of steel structures protecting against high temperatures exposure. The temperature effects on the metal structure as a consequence leads to softening and to a loss of load capacity.

Today is the actual use of flame retardant materials and coatings.

The authors designed and analyzed by flame retardant. The method preparation is simple, and the composition components are widely available. Technology coating approved for public use. To prove the effectiveness of the composition prepared using laboratory equipment - high-temperature electric furnaces and machines for materials testing in tension. Cooked fireproof coating was applied to the metal samples and exposed to high temperatures. The coated metal samples after exposure to high temperatures, subjected to further studies on the strength. Experimental data of the flame resistance coating effectiveness represented.

Experimentally proved that the details and structure designed to work at high temperatures it should be made of special heat-resistant (heat-resistant) and heat-resistant steels containing impurities special alloying elements or potentially dangerous objects bearing elements of steel structures must be covered with a special flame retardants. Fire retardant coatings lead to an improvement in strength and fire-resistant properties of the metal.

Keywords: fire protection, fire protection coating, metal protection, the strength of steel, thin-layer fire resistance paint, steel protection.

REFERENCES

1. *Tajra S., Otani R.* Teorija vysokotemperaturnoj prochnosti materialov / S. Tajra, R. Otani. M.: Metallurgija, 1986. 280 s.
2. *Kiselev V. V., Kropotova N. A., Arhangel'skij K. A.* Vlijanie vysokih temperatur pri pozhare na prochnost' metallokonstrukcij // Materialy HI mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «JeNERGIJa -2016». 2016. T. 4. S. 124–126.
3. *Jakovlev A. I.* Raschet ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij / A. I. Jakovlev. M.: Strojizdat, 1988. 143 s.
4. *Kiselev V. V., Kropotova N. A., Arhangel'skij K. A.* Povyshenie na-dezhnosti metallokonstrukcij v uslovijah povyshennyh temperatur za schet primenenija ognestojkih pokrytij // Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mehanizmov: sbornik materialov VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 50-letiju so Dnja obrazovaniya uchebnogo zavedeniya i Godu pozharnoj ohrany Rossii, Ivanovo (14 aprelja 2016 g.); pod obshh. red. V. V. Kiseleva. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaja pozharno-spasatel'naja akademija GPS MChS Rossii, 2016. S. 21–24.

5. K voprosu zashhity metallokonstrukcij ot teplovogo potoka pri pozhare // V. V. Kiselev, A. A. Pokrovskij, N. A. Kropotova i dr. // Nauka XXI vek: otkrytija, innovacii, tehnologii: sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii. Smolensk, 31 aprlja 2016 g. Smolensk, 2016. S. 18–21.

6. Kiselev V. V., Kropotova N. A., Arhangel'skij K. A. Razrabotka ognе-stojkogo pokrytija dlja zashhity metallokonstrukcij ot vysokih temperatur pri pozhare // Preduprezhdenie. Spasenie. Pomoshh': sbornik materialov HHVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Himki, 2016. S. 9–14.

7. Kiselev V. V., Kropotova N. A., Arhangel'skij K. A. Razrabotka ognе-zashhitnyh pokrytij dlja metallokonstrukcij // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tehnologii: sbornik materialov II Mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj Godu pozharnoj ohrany Rossii. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaja pozharno-spasatel'naja akademija GPS MChS Rossii, 2016. S. 8–12.

8. Puchkov P. V., Kiselev V. V., Toporov A. V. Povedenie uglerodistyh konstrukcionnyh stalej v uslovijah pozhara // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i izdelija: tehnologija, svojstva, primenenie: sbornik materialov IV mezhvuzovskogo nauchno-prakticheskogo seminar. Ivanovo, 22 maja 2014 g. Ivanovo: IvI GPS MChS Rossii, 2014. S. 104–109.

9. Kiselev V. V., Duda D. A. Issledovanie prochnostnyh svojstv metallokonstrukcij pri vysokih temperaturah // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i izdelija: tehnologija, svojstva, primenenie: sbornik materialov IV mezhvuzovskogo nauchno-prakticheskogo seminar. Ivanovo, 22 maja 2014 g. Ivanovo: IvI GPS MChS Rossii, 2014. S. 40–44.

10. Duda D. A., Kiselev V. V. Issledovanie vlijanija vysokih tempera-tur na jekspluatacionnye harakteristiki metallokonstrukcij // Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mehanizmov: sbornik materialov / pod red. M. Ju. Kolobova, S. A. Nikitinoj, V. V. Kiseleva. Ivanovo: Ivan. gos. him.-tehnol. un-t; Ivan. in-t GPS MChS Rossii, 2014. S. 99–101.

Архангельский Константин Николаевич

Курсант

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

Archangelskiy Konstantin Nikolajevich

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
E-mail: 2525245245@bk.ru

Киселев Вячеслав Валериевич

Начальник кафедры

Кандидат технических наук, доцент

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

E-mail: Slavakis76@mail.ru

Kiselev Vyacheslav Valerievich

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

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Кропотова Наталья Анатольевна

Преподаватель

Кандидат химических наук

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

E-mail: nzhirova@yandex.ru

Kropotova Natalia Anatolyevna

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 621.9

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОТС ПРИ РЕЗАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКЕ

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.

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. Основными причинами низкой эффективности смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и, в частности, смазочно-

охлаждающих жидкостей (СОЖ) при обработке резанием жаропрочных, коррозионностойких и других труднообрабатываемых материалов является их высокая химическая стойкость к образованию смазочных и разделительных пленок, высокие удельные давления и температуры на контактных площадках резца и стружки. В соответствии с современными представлениями эффективная СОТС в данном случае должна иметь в своем составе такие вещества, которые бы легко разрушались в зоне трибосопряжений на химически активные по отношению к обрабатываемым материалам частицы, включая и свободные радикалы.

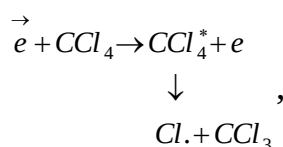
К факторам, способствующим распаду молекул СОТС с образованием химически активных частиц, которые способны интенсифицировать процессы образования смазочных пленок на резце и стружке, можно отнести [1]:

- подбор в качестве компонентов СОТС веществ с непрочной связью между атомами (перекиси, галоиды, окисленные масла, поверхностно-активные и другие вещества);

- энергетические воздействия на технологическую среду, приводящие к активации физико-химических процессов с образованием активных частиц (ионизирующее излучение, ультразвук, облучение ультрафиолетом, воздействие электрическим током и т.д.);

- использование активирующего действия ювенильных поверхностей, образующихся в контактной зоне при стружкоотделении.

Так, например, при взаимодействии воды и кислорода со свежееобразованными поверхностями никелевых сплавов образуется перекись водорода, которая является сильным окислителем, воздействие на СОТС электрическими разрядами приводит к повышению его химической активности за счет образования новых соединений, ионов и радикалов, молекулы галоидов под действием изучаемых ювенильной поверхностью электронов распадаются на радикалы



где $\vec{e}$ – электрон, излучаемый поверхностью стружки, CCl_4^* – возбужденная молекула четыреххлористого углерода, $Cl \cdot$, $CCl_3 \cdot$ – радикалы.

Исследования проводились на различных операциях механической обработки никелевых и титановых сплавов, молибдена, нержавеющей сталей. Повышение эффективности СОТС достигалось введением веществ с непрочной связью между атомами и химически активных компонентов, воздействием на СОТС коронным разрядом.

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Подача СОЖ производилась в зону резания поливом с расходом 6–10 л/мин. и микродозированно с расходом СОТС от 0,2 до 5,0 г/час в виде микрокапсул в составе жидкого и газообразного носителей.

Обобщенные результаты стойкостных испытаний при резании различных металлов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние веществ с непрочной связью между атомами, использованных в качестве добавок к СОЖ на стойкость и величину износа резцов, оснащенных твердым сплавом [2]

Материал режущего инструмента	Выполняемая операция – точение									
	Режимы резания	Обрабатываемый материал	СОЖ							
			СОЖ Т1		СОЖ Т2		СОЖ Т3		Эмульсол «Т»	
ВК8	V = 2,0 м/с S = 0,25 мм/об t = 1,5 мм	X18H10T	180	0,95	156	0,83	178	0,71	63,5	1,60
T15K6	V = 0,9 м/с S = 0,2 мм/об t = 1,5 мм	BT5	42,2	0,65	24,5	0,75	38,2	1,20	16,3	1,73
ВК8	V = 0,33 м/с S = 0,15 мм/об t = 0,1 мм	ЭИ-4376	12,5	0,90	8,50	0,90	-	-	4,30	1,80
		ЭИ-617	15,0	0,75	16,0	0,58	-	-	2,60	2,10
		ЭИ-598	18,7	0,64	12,0	0,81	-	-	6,20	1,50
ВК6М	V = 0,5 м/с S = 0,075 мм/об t = 0,25 мм	молибден	-	-	21,3	0,51	-	-	8,00	0,70

СОЖ Т1 – ПАВ БВ – 5%, H_2O_2 – 1,0%, Na_2CO_3 – 1,2%, вода – остальное;

СОЖ Т2 – ПАВ Е – 5%, йод – 0,2%, ТЭА – 0,2%, вода – остальное;

СОЖ Т3 – ПАВ ЛПС – 5%, $KMnO_4$ – 0,3%, вода – остальное.

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 [3], 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 (рис. 1).

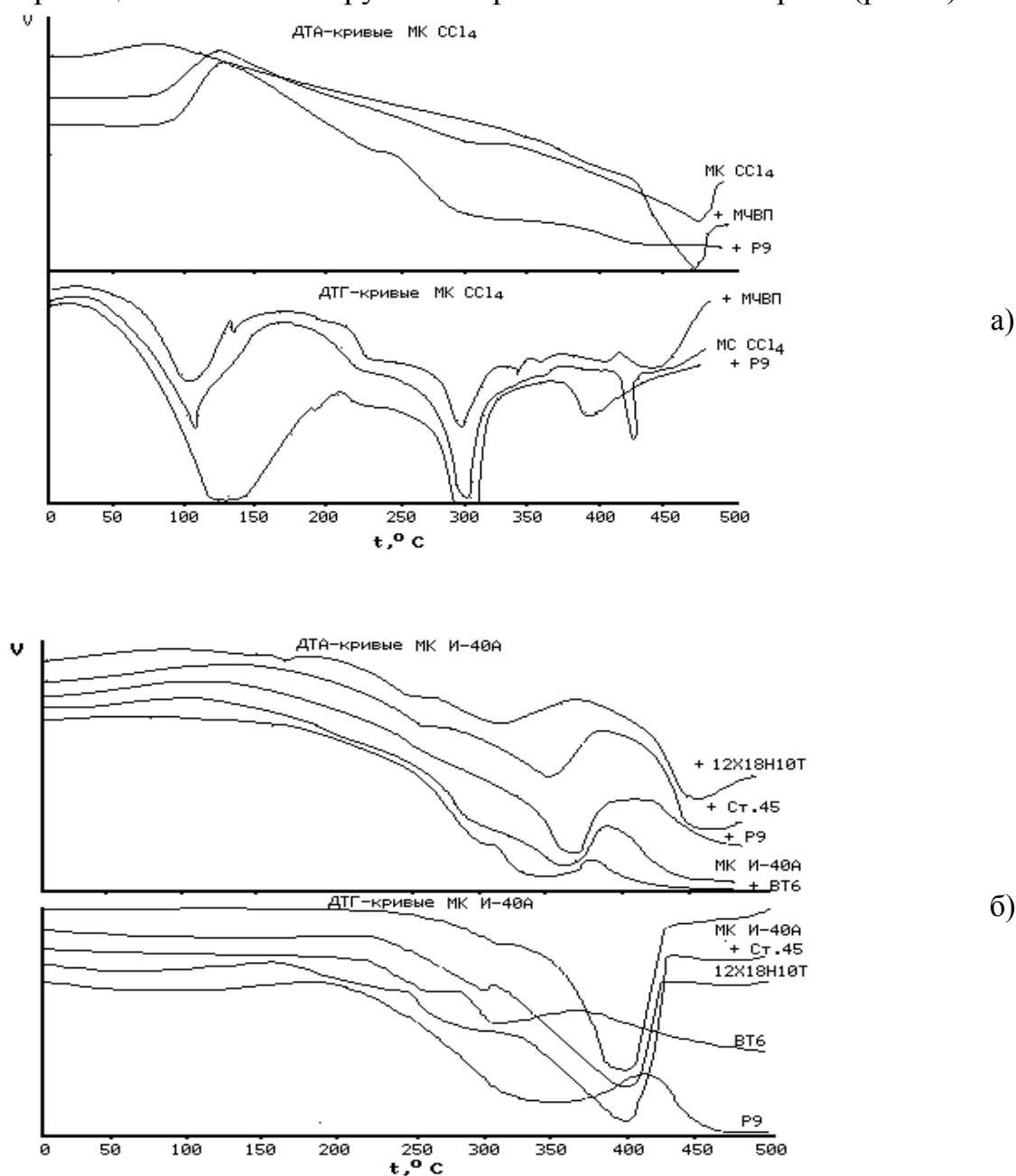


Рис. 1. Результаты сравнительных исследований по взаимодействию микрокапсул, имеющих в своем составе четыреххлористый углерод (а) и индустриальное масло И-40А (б) с различными металлами

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что при повышенных температурах происходят химические превращения между продуктами термической деструкции микрокапсул с инструментальным и обрабатываемым материалами. Протекающие при этом реакции достаточно сложны и представляют собой ряд параллельно происходящих превращений с образованием новых структурных соединений в зоне трибосопряжений инструментального и обрабатываемого материалов, трибологическая эффективность которых подтверждена многочисленными исследованиями.

Таблица 2. Расчетный порядок химических реакций микрокапсул и их отдельных компонентов в присутствии различных металлов

Образец металла	Оболочки МК	Магнитные оболочки МК	МК И-40А	ММК-50 И-40А	МК CCl ₄	ММК-50 CCl ₄
1	2	3	4	5	6	7
-	0,806	$\frac{1,096}{0,714}$	$\frac{0,545}{1,833}$	$\frac{1,430}{0,489}$	0,548	$\frac{0,870}{0,596}$
МЧВП	0,708	$\frac{1,333}{0,625}$	-	-	0,595	0,676
12X18H10T	1,275	$\frac{1,031}{2,211}$	1,235	$\frac{1,529}{0,932}$	-	-
Сталь 45	1,080	1,714	$\frac{1,367}{0,486}$	$\frac{1,140}{0,172}$	-	-
BT-6	1,048	1,167	$\frac{1,385}{1,478}$	$\frac{3,640}{1,265}$	-	-
P-9	0,923	$\frac{0,973}{0,560}$	$\frac{0,720}{0,500}$	$\frac{1,125}{2,333}$	0,755	$\frac{0,537}{1,682}$

Существует большое количество работ, в которых отмечается, что некоторые вещества могут усиливать эффективность СОТС, а, следовательно, повышать работоспособность инструментов при резании определенных

материалов. Так, например, нашими исследованиями [4] установлено, что в случае обработки титановых сплавов микродобавки йода приводят к значительному улучшению условий резания и повышению стойкостных характеристик инструментов. На рис. 2 и в табл. 3 представлены результаты по изучению влияния микродобавок йода в составе микрокапсул на изменение работоспособности режущих инструментов при точении различных труднообрабатываемых материалов.

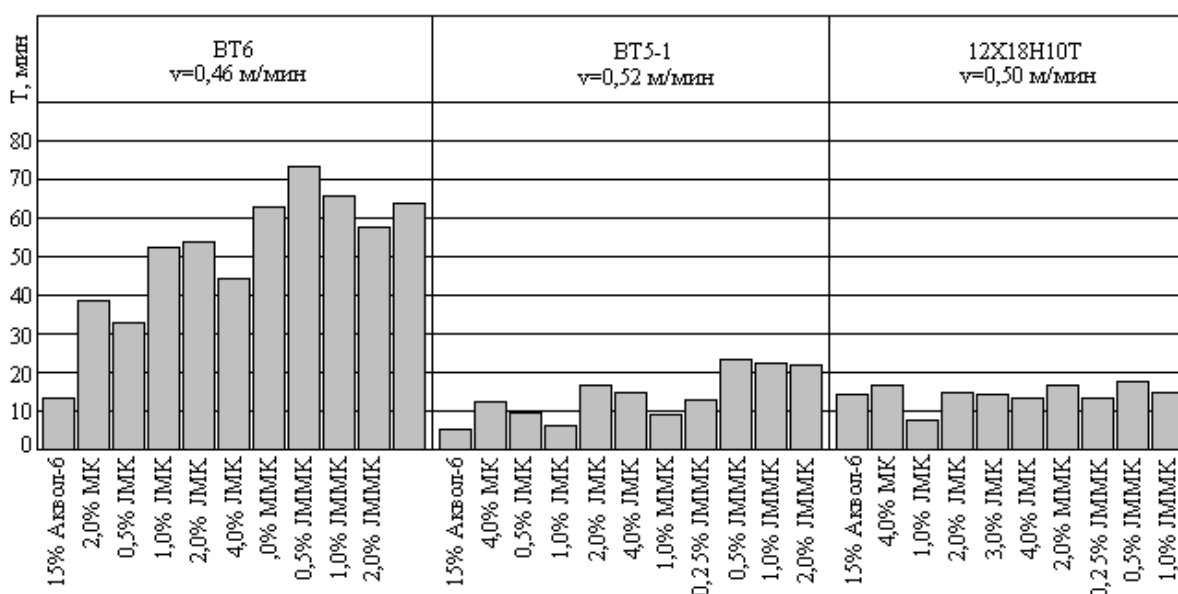


Рис. 2. Гистограмма изменения стойкости упорнопроходных резцов из стали Р6М5 при точении с использованием различных концентраций йодсодержащих микрокапсул в жидком носителе. $S = 0,1$ мм/об, $t = 0,5$ мм

Таблица 3. Результаты стойкостных показателей резцов ВК-60М, полученные при производственных испытаниях на ММП «Салют» (г. Москва) [5]

Обрабатываемый материал	Режимы резания			Используемая СОТС	Стойкость T , сек
	V , м/с	S , мм/об	t , мм		
ВТ20	1,59	0,21	1,0	Всухую Дистил. вода Укринол-1М 1% ММК+*	33 55 110 230
ВЖ-98	1,28	0,21	1,0	Всухую Дистил. вода Укринол-1М 1,5% ММК+*	30 60 90 90

Обрабатываемый материал	Режимы резания			Используемая СОТС	Стойкость <i>T</i> , сек
	<i>V</i> , м/с	<i>S</i> , мм/об	<i>t</i> , мм		
У8	4,08	0,21	1,0	Всухую	45
				Дистил. вода	60
				Укринол-1М	45
				1% ММК+*	55

* – микрокапсулы с трибоактивным компонентом

Йод может проявлять свои уникальные свойства не только в качестве присадок к СОТС. Нами проведена большая работа по изучению трибологических характеристик йодсодержащих фаз, которые предварительно формируются в трибосопрягаемых поверхностях металлов и сплавов посредством различных видов химико-термической обработки, в том числе и из плазмы тлеющего разряда. Установлено, что основной трибоактивной фазой при этом является диiodид железа. Структурные особенности йодидных соединений и их термодинамические характеристики позволили выявить двойственную природу действия FeI_2 на процесс резания.

Предложенная структурная модель FeI_2 , основанная на результатах исследований и квалифицирующая диiodид железа как представителя твердых смазок, представляет собой ряд параллельных слоев соединений $Fe-I$ с ионоковалентными связями, соединенных между собой слабыми вандерваальсовыми связями. Такое сочетание типов связей, при небольших внешних воздействиях, подразумевает возможность перемещения этих слоев относительно друг друга, т.е. реализацию эффекта твердой смазки.

Установлено, что в областях зоны контакта с температурами порядка 400–500 °С наблюдается диссоциация диiodида железа с выделением йода в зону контакта. Под воздействием внешних энергетических факторов молекула йода переходит в возбужденное состояние и распадается с образованием химических радикалов, которые, взаимодействуя со свежевскрытыми металлическими поверхностями, активизируют процессы формирования вторичных структур, улучшающих трибологическую обстановку между инструментальным и обрабатываемым материалом в зоне контакта, т.е. имеет место механизм радикально-цепных реакций. На рис. 3 представлены результаты исследований теплового состояния режущего клина резцов, полученные при использовании цветового многопозиционного термоиндикаторного вещества ТХИ-53, которые наглядно отображают положительные изменения в процессах контактного взаимодействия при наличии в приповерхностных слоях инструментального материала трибоактивных соединений йода.

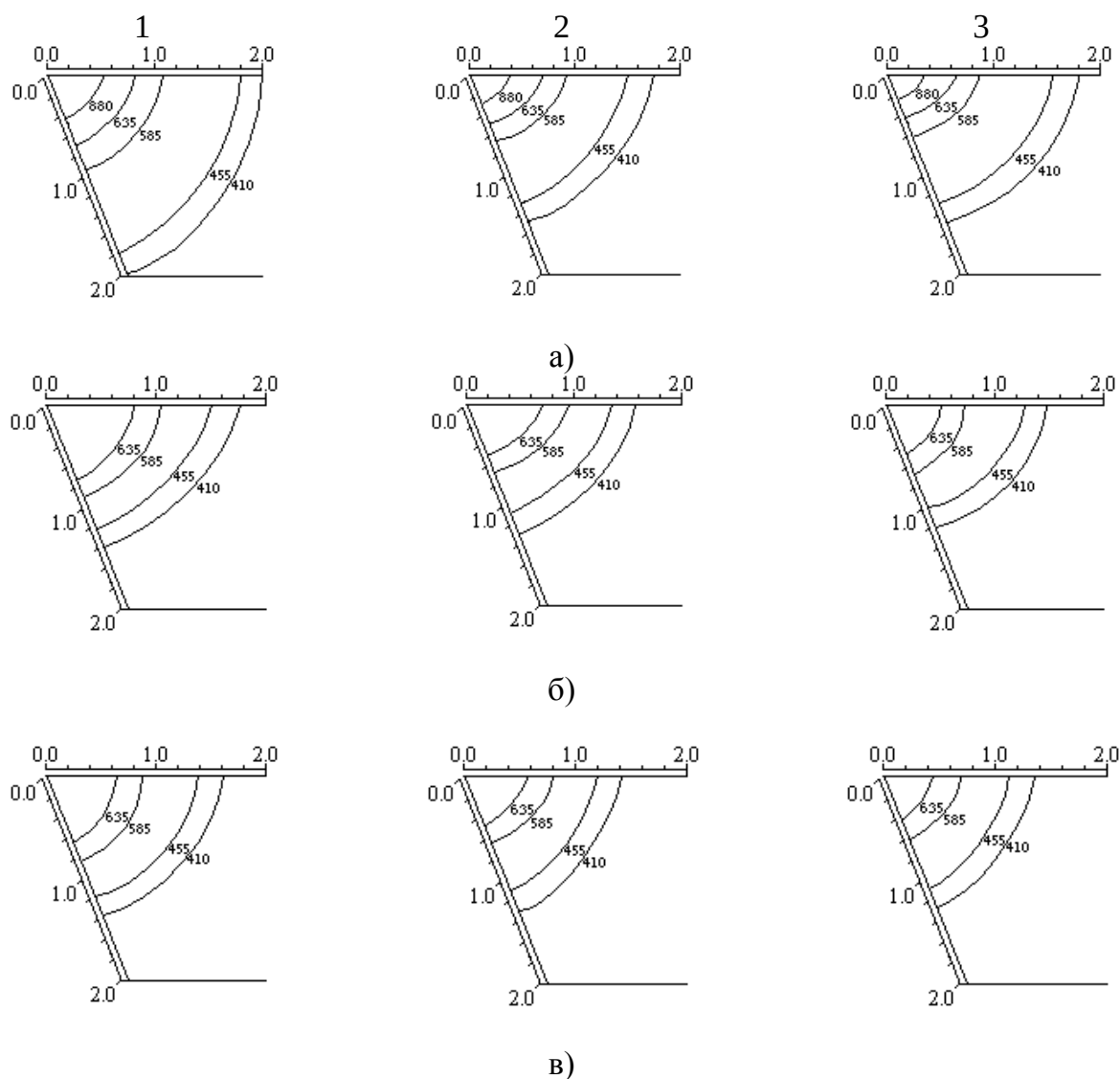
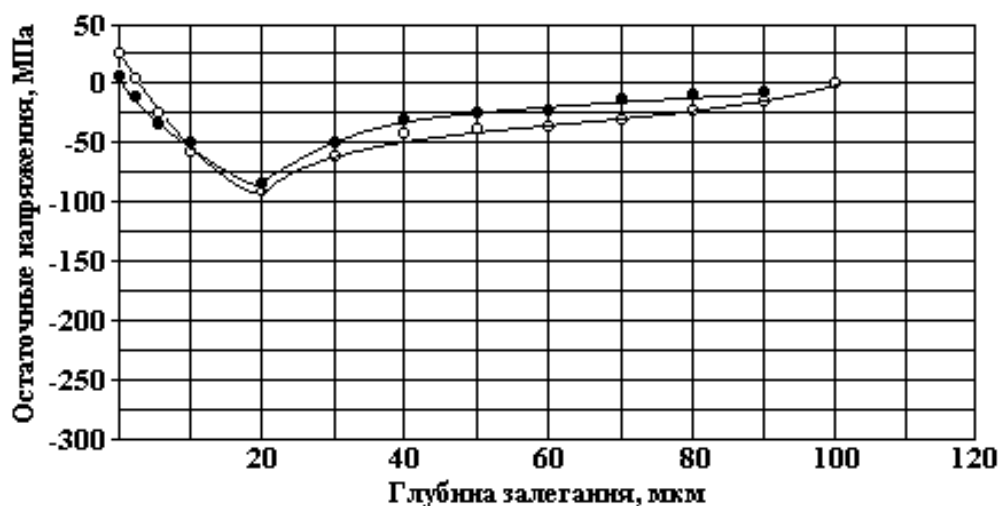
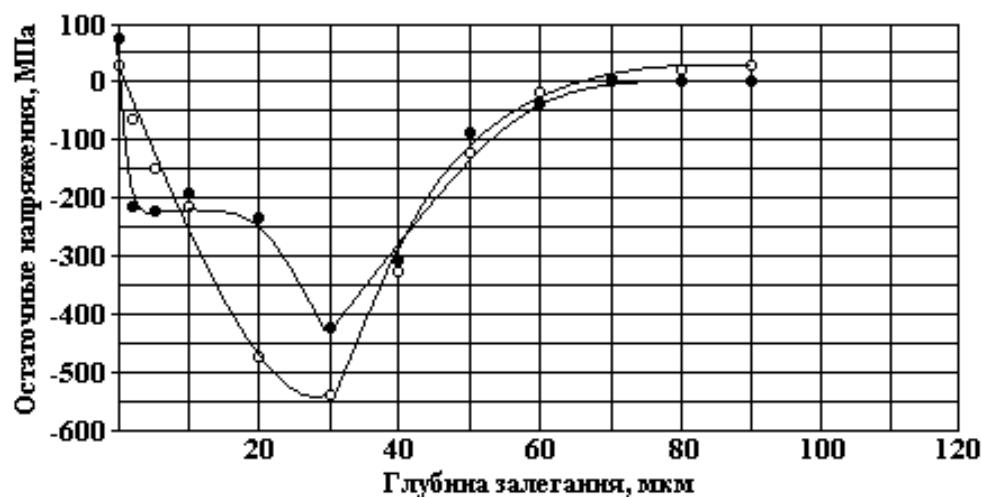


Рис. 3. Распределение температурных зон в режущем клине резцов Р6М5 при свободном точении сплава ВТ1-0 всухую (а), с использованием 15% Аквол-6 (б) и МР-4 (в): 1 – без химико-термической обработки; 2 – упрочненных ХТО; 3 – с дополнительным введением в поверхность инструмента йода при ХТО. $V = 0,52$ м/с

При резании труднообрабатываемых материалов наряду со стойкостными показателями инструментов, в ряде случаев, имеет большое значение величина и знак микронапряжений, образующихся в поверхностном слое обработанной поверхности в результате процесса формоизменения изделия. Применяемые СОТС могут кардинальным образом воздействовать на изменение этих параметров (рис. 4). Изучение остаточных напряжений было проведено по

методике, разработанной в научно-исследовательском институте двигателей (г. Москва), при непрерывном электрохимическом удалении напряженных поверхностных слоев и измерения деформаций образца при использовании индуктивных датчиков. Расчет времени травления и соответствующих остаточных напряжений с последующим построением эпюр проводился с применением вычислительной техники.



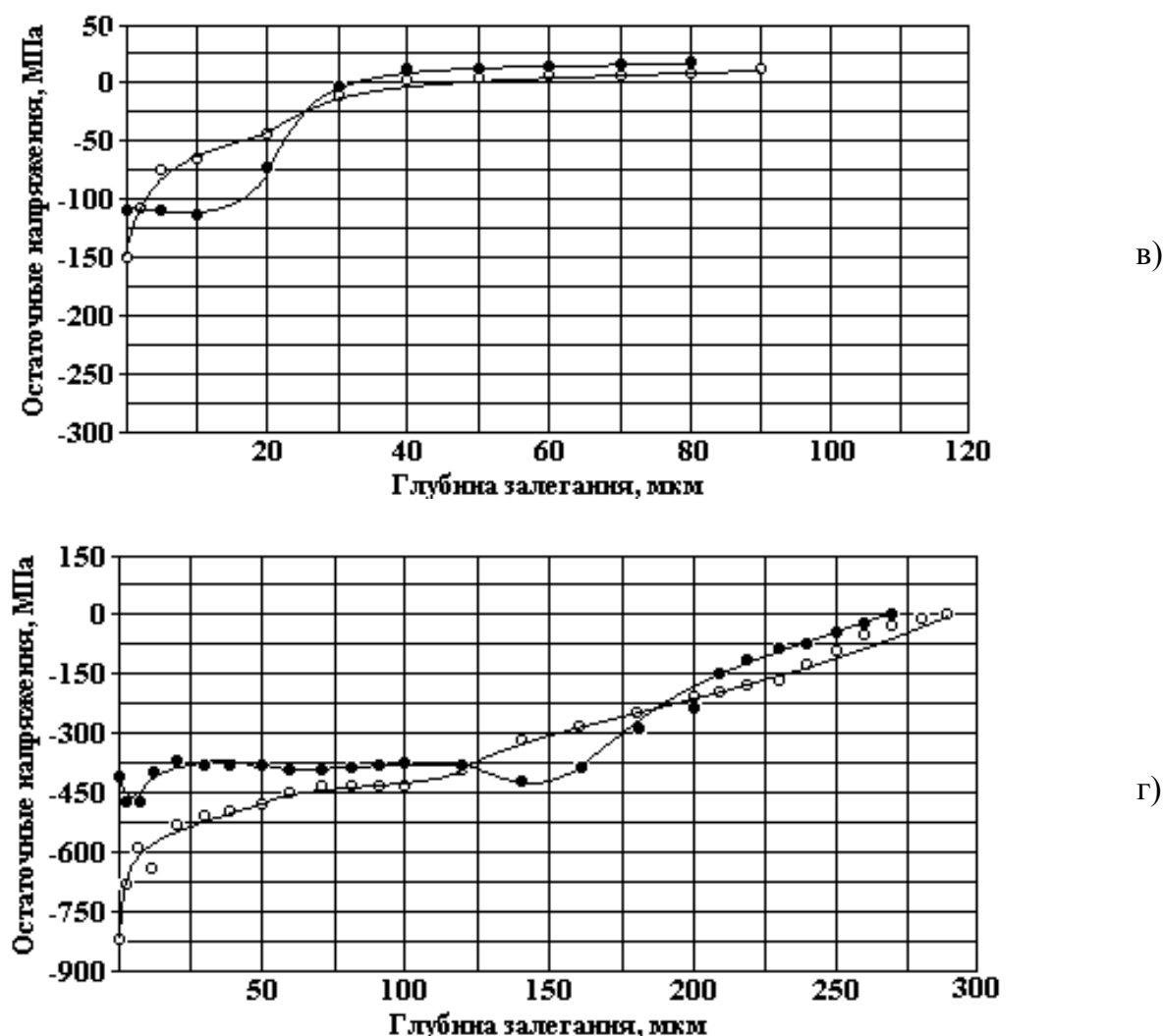


Рис. 4. Эпюры остаточных напряжений в образцах сплава ВТ9 после точения резцами ВК-6ОМ с использованием в качестве СОТС: а) сжатого воздуха; б) магнитных микрокапсул; в) ионизированной воздушной среды; в) упрочняющей дробеструйной обработки шариками $D = 3$ мм [6]

Труднообрабатываемые материалы представляют собой сложные системы, число компонентов в которых, в ряде случаев, насчитывает более 10 различных металлов. Это накладывает определенные трудности в подборе и разработке эффективных СОТС. Одним из наиболее простых путей решения этой проблемы является дополнительное введение в СОТС веществ, улучшающих трибологическое состояние контактной зоны для данной пары инструмент-обрабатываемый материал. Например, из рис. 4 следует, что ионизированный воздушный поток имеет не лучшие показатели среди

приведенных СОТС. Однако, если усилить смазочное действие этого потока посредством введения в его состав микродоз паров воды, то величина нарушенного слоя обработанной поверхности может быть значительно уменьшена (табл. 5).

Как следует из табл. 5 и было указано выше, некоторые соединения кислорода являются сильными окислителями, атомы и радикалы которых, образуя при деструкции этих соединений, способны взаимодействовать не только с обычными металлами, но и с коррозионностойкими сталями и сплавами. При этом, образуя на поверхностях контакта пленки оксидов могут оказывать существенное влияние на характеристики процесса стружкоотделения (табл. 6), что является показателем термонапряженного состояния зоны резания и, как следствие, работоспособности режущего инструмента (рис. 5).

Таблица 5. Характеристики нарушенного слоя обработанной поверхности сплава ВТ6 после точения упорнопроходными резцами из стали Р6М5 при использовании различных СОТС

№ п/п	Используемая СОТС	Микротвердость на обработанной поверхности HV ₅₀	Глубина нарушенного слоя, мкм
1	Всухую	170–180	70–80
2	Обдув сжатым воздухом	175–185	60–70
3	«Ионный ветер»	150–160	55–65
4	Воздух, обогащенный парами воды	170–180	55–65
5	Ионизированный воздух, обогащенный парами воды	120–130	45–50

Таблица 6. Расчетные значения ε , f , Φ , после точения нержавеющей стали 12Х18Н10Т с использованием различных СОТС

СОТС	Величина относительного сдвига, ε	Коэффициент трения, f	Условный угол сдвига, Φ , град
Дис.вода	1.91	0.42	33.5
КМ	1.84	0.39	35.4
КМО	1.74	0.32	39.3
ОММК	1.67	0.25	43.2

КМ – магнитный коацерват (оболочки магнитных микрокапсул)

КМО – окисленный магнитный коацерват

ОММК – озонированные магнитные микрокапсулы

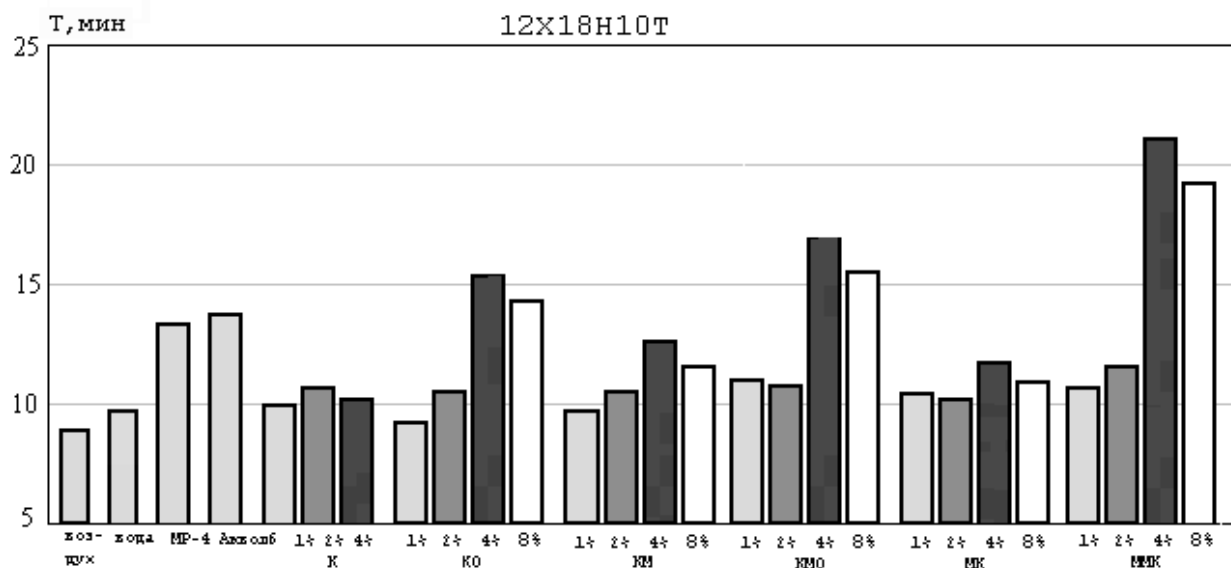


Рис. 5. Гистограмма сравнительных стойкостных испытаний упорнопроходных резцов, изготовленных из стали Р6М5, при точении стали 12Х18Н10Т с использованием озонированных микрокапсул и рекомендуемых СОТС:
 $V = 0,48$ м/с; $S = 0,5$ мм/об; $t = 0,5$ мм

Высокие значения крутящих моментов, трудности в доставке СОТС к режущим лезвиям и отвода тепла из зоны стружкообразования, высокие адгезионные взаимодействия между инструментом и обрабатываемым материалом и т.д. обуславливают процессы обработки отверстий как одни из наиболее трудоемких операций формообразующего резания металлов.

На рис. 6 показано изменение стойкостных показателей сверл на операции сверления различных материалов. СОТС подавалась микродозами в составе магнитных микрокапсул, количество которых в жидком носителе варьировалось в пределах 1–4 весовых процента.

Из представленной гистограммы следует, что применение магнитных микрокапсул в качестве СОТС оказывает эффективное влияние на работоспособность инструментов. Так, при сверлении стали 12Х18Н10Т количество отверстий, просверленных до выхода инструмента из строя, увеличилось в 2,5–4,0 раза по сравнению с использованием в качестве СОТС индустриального масла И-40А. В случае сплава ВТ6 стойкостные показатели в обоих случаях примерно одинаковые, однако применение микрокапсул позволило значительно улучшить экологию процесса резания и более чем в 1000 раз сократить количество потребляемой СОТС.

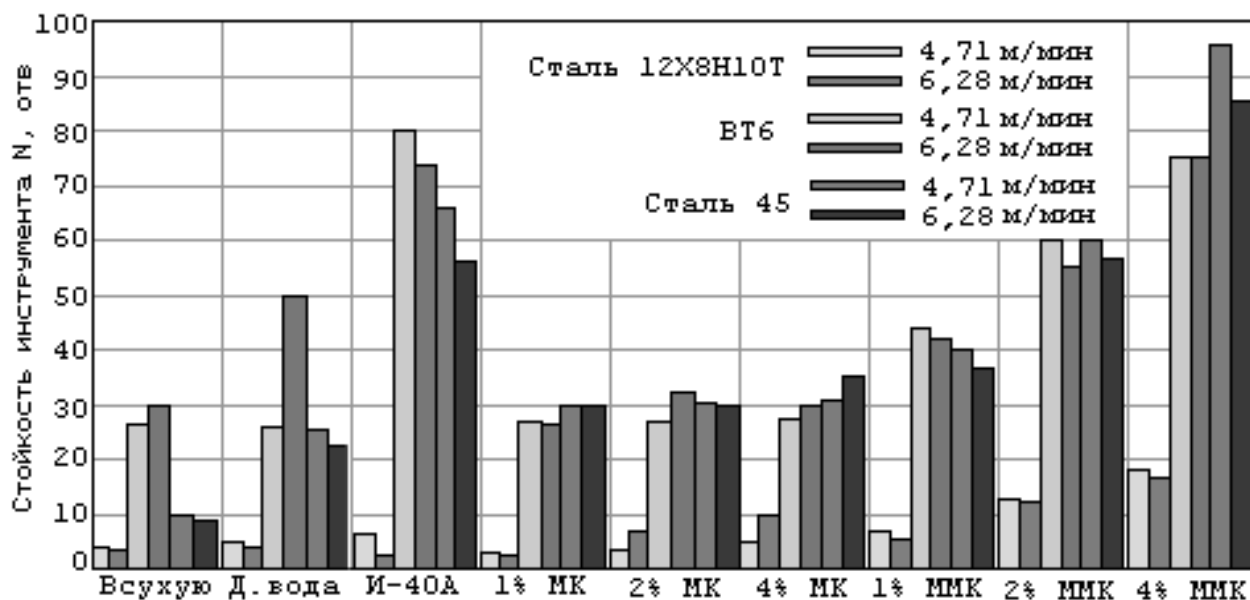


Рис. 6. Гистограмма стойкости сверл из быстрорежущей стали Р6М5 при сверлении всухую и с применением СОТС

Исследовалась эффективность СОЖ и масел с присадками высокого давления при нарезании резьбы в деталях из сплава ЭИ-617, стали Х18Н10Т и молибдена. В экспериментах фиксировалось изменение $M_{кр}$ с помощью тензометрического динамометра [2].

Рассмотрение экспериментальных данных позволило установить, что с увеличением кислотного числа масла величина крутящего момента уменьшается и является минимальной при использовании в качестве СОЖ смеси из веретенного масла, олифы и 5% порошкообразной серы.

Кроме снижения абсолютной величины $M_{кр}$ присадки йода, отанола, рольфора, стеарокса уменьшают его колебания, что свидетельствует о стабилизации процесса резания за счет образования защитных пленок и уменьшения адгезии между инструментом и обрабатываемым материалом. После проведения статистической обработки были получены следующие значения среднеквадратичного отклонения $M_{кр}$

СОЖ	$\sigma_{M_{кр}}$
без СОЖ	- 8,13
масло веретенное	- 7,85
ПАВ-Е	- 3,30
Оттанол-12	- 1,04

Исследования показали, что величина среднеквадратичного отклонения крутящего момента может быть критерием оценки эффективности применяемой СОЖ при резьбонарезании; из исследованных СОЖ максимальную смазочную способность (минимум σ_{Mkp}) имеют СОЖ ПАВ-Е и оттанол-12.

На операциях протягивания работа проводилась на горизонтально-протяжном станке мод. 76510. Режущий инструмент: однозубые секции протяжек из стали P18 ($\alpha = 3^\circ$; $\gamma = 12^\circ$, HRC = 62-65 ед.), скорость резания: 2–4 м/мин, обрабатываемые материалы: сплавы ЭИ-598 и BT5.

Исследования шероховатости обработанных поверхностей показало, что шероховатость поверхности при работе без смазки соответствует 9-му классу во всем диапазоне подъемов на зуб. Введение в зону резания керосина и веретенного масла не приводило к существенному улучшению шероховатости поверхности, что, по всей вероятности, связано со слабой химической активностью этих смазок, а, следовательно, и с менее прочными экранирующими пленками, образующимися в зоне трения. Лучшие результаты получены для составов ESP-600, ПАВ-Е и масла веретенного + 50% CCl_4 , которые обладают лучшими смазочными свойствами за счет присутствия в них более химически активных компонентов (Cl , S , $COOH$). Совершенно иная картина наблюдалась при обработке титанового сплава BT5. Из полученных результатов следует, что все испытанные смазки не дают существенной разницы по шероховатости поверхности, за исключением подъема на зуб 0,02 мм. Незначительное уменьшение шероховатости поверхности отмечено при работе с маслом веретенным + 50% CCl_4 . Одной из причин такого действия смазочных сред можно считать, с одной стороны, отсутствие наростообразования при резании сплава BT5 при данном режиме резания, а с другой стороны, слабое экранирующее действие химических пленок, образующихся на контактных поверхностях трения.

Изучение стойкости режущего инструмента при протягивании сплава ЭИ-598 секцией протяжки из стали P18 с теми же геометрическими параметрами проводилась при скорости резания 4 м/мин. За критерии, износа был взят износ зубьев по уголкам $h_V = 0,3$ мм.

Целью данной серии экспериментов являлось выявление действия кислородсодержащих продуктов и присадок йода на износ зубьев протяжки. В качестве базовых жидкостей, в которые вводились присадки, были использованы: 5% эмульсия ПАВ-Е (сульфореценат "Е"), веретенное и касторовое масла. Результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7

№ п/п	СОЖ	Суммарная длина протягивания, м
1	Масло веретенное	10,0
2	Масло веретенное окисленное	11,3
3	Масло касторовое	22,5
4	Масло касторовое окисленное	26,0
5	5% эмульсия ПАВ Е	18,7
6	5% эмульсия ПАВ Е + 0,1% KI	20,4

Из табл. 7 следует, что и окисление масел, и дополнительное введение в состав СОЖ небольших количеств йода позволяет увеличить суммарную длину протягивания.

Таким образом, из представленных выше результатов исследований установлено, что смазочно-охлаждающие технологические средства могут оказывать эффективное действие при обработке резанием труднообрабатываемых материалов. Для этого необходимо правильно подобрать компоненты СОТС (СОЖ), выбрать агрегатное состояние СОТС, способ его подачи в контактную зону, рациональную методику активации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышев В. Н., Наумов А. Г. О смазочном и химическом действии внешней среды при резании металлов // Трение и износ. 2001. Т. 22. № 3. С. 342–348.
2. Латышев В. Н. Трибология резания металлов. Ч. I-X. Иваново: Изд-во ИвГУ, 2000–2004.
3. Наумов А. Г., Латышев В. Н. О возможности использования микрокапсулированных СОТС при лезвийном резании материалов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 12. С. 34–45.
4. Tribological Properties of Iodine as a Cutting Fluid Component During Metal Cutting / A. G. Naumov, V. N. Latyshev, V. S. Radnuyk, O. A. Naumova // Journal of Friction and Wear, 2015, Vol. 36, No. 2, pp. 184–188.
5. Исследование эффективности лезвийной обработки авиационных материалов с использованием микродозированной подачи СОТС в виде магнитных микрокапсул / В. Н. Латышев, А. Г. Наумов, В. А. Поклад и др. // Материалы науч.-техн. симпозиума «Двигатели и экология». Москва, 17–18 апреля 2002 г. М., 2002. С. 68–72.
6. Влияние условий экологически безопасного резания с охлаждением ионизированной газовой средой на качество поверхностного слоя и долговечность деталей / А. С. Верещака, О. Ю. Хаустова и др. // Матер. научно-техн. симпозиума «Двигатели и экология». Москва, 17–18 апреля 2002 г. М., 2002. С. 28–34.
7. Наумов А. Г., Латышев В. Н., Раднук В. С., Прибылов А. Н., Курапов К. В. Способ охлаждения и смазки режущих инструментов. Патент РФ № 2411115.

8. Подураев В. Н., Татаринов А. С., Петрова В. Д. Механическая обработка с охлаждением ионизированным воздухом // Вестник машиностроения. 1991. №11. С.27–31.

9. Режимы резания металлов: справочник / Ю. В. Барановский, Л. А. Брахман и др. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.

10. Тепловое состояние быстрорежущего инструмента, подвергнутого химико-термической обработке / В. Н. Латышев, А. Г. Наумов и др. // Вестник машиностроения. 1992. № 4. С. 49–52.

A. M. Polyakova, A. G. Naumov, E. V. Zarubina, V. A. Komelkov

**RESEARCH OF APPLICATION OF COTS WHEN CUTTING
OF THE HARDLY PROCESSED MATERIALS APPLIED
IN THE FIRE FIGHTING EQUIPMENT**

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 titanitic 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 titanitic 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 co-operate 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.

REFERENCES

1. *Latyshev V. N., Naumov A. G. O smazochnom i himicheskom dejstvii vneshnej sredy pri rezanii metallov // Trenie i iznos. 2001. T. 22. № 3. S. 342–348.*
2. *Latyshev V. N. Tribologija rezanija metallov. Ch. I-X. Ivanovo: Izd-vo IvGU, 2000–2004.*
3. *Naumov A. G., Latyshev V. N. O vozmozhnosti ispol'zovanija mikroapsulirovannyh SOTS pri lezviynom rezanii materialov // Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah. 2010. № 12. S. 34–45.*
4. *Tribological Properties of Iodine as a Cutting Fluid Component During Metal Cutting / A. G. Naumov, V. N. Latyshev, V. S. Radnuyk, O. A. Naumova // Journal of Friction and Wear, 2015, Vol. 36, No. 2, pp. 184–188.*
5. *Issledovanie jeffektivnosti lezviynoj obrabotki aviacionnyh materialov s ispol'zovaniem mikrodozirovannoj podachi SOTS v vide magnitnyh mikroapsul / V. N. Latyshev, A. G. Naumov, V. A. Poklad i dr. // Materialy nauch.-tehn. simpoziuma «Dvigateli i jekologija». Moskva, 17–18 aprelja 2002 g. M., 2002. S. 68–72.*

6. Vlijanie uslovij jekologicheski bezopasnogo rezanija s ohlazhdeniem ionizirovannoj gazovoj sredoj na kachestvo poverhnostnogo sloja i dolgovechnost' detalej / A. S. Vereshhaka, O. Ju. Haustova i dr. // Mater. nauchno-tehn. simpoziuma «Dvigateli i jekologija». Moskva, 17–18 aprelja 2002 g. M., 2002. S. 28–34.

7. Naumov A. G., Latyshev V. N., Radnjuk V. S., Pribylov A. N., Kurapov K. V. Sposob ohlazhdenija i smazki rezhushhih instrumentov. Patent RF № 2411115.

8. Poduraev V. N., Tatarinov A. S., Petrova V. D. Mehanicheskaja obra-botka s ohlazhdeniem ionizirovannym vozduhom // Vestnik mashinostroenija. 1991. №11. S.27–31.

9. Rezhimy rezanija metallov: spravochnik / Ju. V. Baranovskij, L. A. Brahman i dr. M.: NIITavtoprom, 1995. 456 s.

10. Teplovoe sostojanie bystrorezhushhego instrumenta, podvergnutogo himiko-termicheskoj obrabotke / V. N. Latyshev, A. G. Naumov i dr. // Vestnik mashinostroenija. 1992. № 4. S. 49–52.

Полякова Анастасия Максимовна

Слушатель

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

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

Polyakova Anastasia Maksimovna

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

Наумов Александр Геннадьевич

Профессор

Доктор технических наук

Профессор

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

E-mail: agn8@yandex.ru

Naumov Alexander Gennadevich

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

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

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сетевое издание

2016, № 2

Комельков Вячеслав Алексеевич

Заместитель начальника кафедры

Кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново

E-mail: komelkov@rambler.ru

Komelkov Vyacheslav Alekseevich

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