

*Управление в социальных и  
экономических системах*

*Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы  
программ*

*Системы автоматизации  
проектирования*

*Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами*

*Методы и системы защиты  
информации*

*Транспорт*

*Управление процессами перевозок*

*Эксплуатация автомобильного,  
воздушного, водного транспорта*

*Строительные конструкции, здания и  
сооружения*

*Основания и фундаменты, подземные  
сооружения*

*Строительные материалы и изделия*

*Гидравлика и инженерная  
гидрология*

*Строительная механика*

*Экологическая безопасность  
строительства и городского  
хозяйства*

*Технология и организация  
строительства*

*Архитектура зданий и сооружений*

*Безопасность деятельности человека*

*Охрана труда*

*Безопасность в чрезвычайных  
ситуациях*

*Пожарная и промышленная  
безопасность*

*Ядерная и радиационная безопасность*

*Химическая, биологическая и  
бактериологическая безопасность*

**ISSN 2226-700X**

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

**Вестник  
Воронежского института  
ГПС МЧС России  
(Современные проблемы  
гражданской защиты)**

Журнал включен в  
«Перечень рецензируемых научных изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные научные  
результаты диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук,  
на соискание ученой степени доктора наук ВАК при  
Минобрнауки России»

**№ 4 (25), 2017**



||

**Вестник  
Воронежского института  
ГПС МЧС России  
(Современные проблемы  
гражданской защиты)**

Издается с 2011 года

Выходит 4 раза в год

Научный журнал

**Учредитель и издатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Территория распространения — Российская Федерация.

*Журнал индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU / РИИЦ (Россия), Международном каталоге периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory» (США), размещается на платформе научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» (Россия).*

*Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук*

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор:** Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, профессор,  
Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

**Члены редколлегии:**

*Андронов Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Национальный университет гражданской защиты Украины (Украина, г. Харьков)*

*Барбин Николай Михайлович, д-р техн. наук, проф., Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Екатеринбург)*

*Бутман Михаил Федорович, д-р физ.-мат. наук, проф., Ивановский государственный химико-технологический университет (Россия, г. Иваново)*

*Валуев Николай Прохорович, д-р техн. наук, проф., Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г. Химки)*

*Дешевых Юрий Иванович, д-р техн. наук, МЧС России, Департамент надзорной деятельности (Россия, г. Москва)*

*Камлюк Андрей Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доц., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Минск)*

*Ковтун Вадим Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Гомель)*

*Корневский Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф., Юго-Западный государственный университет (Россия, г. Курск)*

*Лопанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет (Россия, г. Белгород)*

*Манохин Вячеслав Яковлевич, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, г. Воронеж)*

*Меньших Валерий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, проф., Воронежский институт МВД России (Россия, г. Воронеж)*

*Овсяник Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., Научно-техническое управление МЧС России (Россия, г. Москва)*

*Платонов Игорь Артемьевич, д-р техн. наук, проф., Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (Россия, г. Самара)*

*Прус Юрий Витальевич, д-р физ.-мат. наук, проф., Академия ГПС МЧС России (Россия, г. Москва)*

*Полевой Василий Григорьевич, канд. воен. наук, доц., Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г.о. Химки)*

*Ресснер Франк, д-р естеств. наук, проф., Ольденбургский университет (ФРГ, г. Ольденбург)*

*Рудаков Олег Борисович, д-р хим. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, г. Воронеж)*

*Sumets Pavel PhD in Engineering, The University of Auckland, New Zeland*

*Селеменов Владимир Федорович, д-р хим. наук, проф., Воронежский государственный университет (Россия, г. Воронеж)*

*Стожко Наталия Юрьевна, д-р хим. наук, проф., Уральский государственный экономический университет (Россия, г. Екатеринбург)*

*Сумина Елена Германовна, д-р хим. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского (Россия, г. Саратов)*

*Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (Россия, г. Воронеж)*

*Федянин Виталий Иванович, д-р техн. наук, проф., Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)*

*Шаранов Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, г. Санкт-Петербург)*

Редакторы: Дьякова Юлия Михайловна

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94015.

Подписано в печать \_\_.12.2017. Усл. печ. л. 11,6. Тираж 500 экз. Заказ №70.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-56856 от 29.01.2014.

Адрес редакции: 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, ком. 1214;  
тел.: (473) 242-12-63; e-mail: vestnik\_vi\_gps@mail.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Управление в социальных и экономических системах.....</b>	<b>9</b>
Математическая формализация общей научной концепции детерминированного процесса пожаротушения мобильными средствами <i>Денисов А.Н.</i> .....	9
Принципы оптимизации для оценки состояний безопасного и устойчивого (антикризисного) развития экономически важных и экологически опасных объектов <i>Жидко Е.А., Леонов П.М.</i> .....	15
О разработке специального программного обеспечения для автоматизации административно-управленческих функций руководства пожарно-спасательных подразделений <i>Малютин О.С.</i> .....	24
<b>Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.....</b>	<b>35</b>
.	
Применение методов математического моделирования для оценки эффективности функционирования поста РХБ-наблюдения в системе МЧС России <i>Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б.</i> .....	35
Моделирование паводковой ситуации на территории Тамбовской области <i>Швецова О.Ф., Кочегаров А.В., Воронин М.А.</i> .....	40
<b>Транспорт.....</b>	<b>45</b>
Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей <i>Короткевич С.Г., Ковтун В.А.</i> .....	45
Подъемно-транспортное оборудование в технологии ремонта и обслуживания пожарной техники <i>Печурин А.А., Брусянин Д.В., Ситников А.И., Куприенко П.С.</i> .....	52
Диагностирование дизелей пожарной техники по соотношению концентраций продуктов изнашивания в моторном масле <i>Скрипка А.В., Брусянин Д.В., Ситников А.И., Куприенко П.С.</i> .....	56
Ствол для тушения торфяных пожаров	

<i>Широбоков С.В., Скоробогатова Р.И., Садриев Р.И., Загуменов С.Ю.....</i>	60
<b>БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА.....</b>	64
Исследование огнетушащей эффективности прямых микроэмульсий, содержащих ингибиторы горения 1,2-дибромтетрафторэтан и 2-иодгептафторпропан <i>Батов Д.В., Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е.....</i>	64
Экспериментальное определение и расчет температур вспышки бинарных (1-деканол – н-декан) и тройных (1-деканол – н-декан – метилизобутилкетон) смесей <i>Батов Д.В., Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е.....</i>	70
Загорание утечек бытового газа, инициированное электрическими аварийными режимами <i>Чешко И.Д., А.С. Смирнов, Тумановский А.А.....</i>	77
Способ получения полимерного композитного материала с инкапсулированными углеродными нанотрубками методом электроформования <i>Шутова А.Г., Соловых С.Н.....</i>	87
<b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	93
Актуальные проблемы обеспечения безопасности технологических процессов и производств для предупреждения техногенных чрезвычайных ситуаций <i>Федоров А.В., Бармашев В.А., Марков В.Н., Тагиев Ш.К.....</i>	93
Разработка и применение специализированных информационно-обучающих порталов <i>Кузьмина Т.А., Бобров А.И., Степанов И.М., Кузьмин А.А.....</i>	101
Обобщённый анализ и методы управления рисками чрезвычайных ситуаций <i>Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б.....</i>	106
Особенности оказания медицинской помощи пострадавшим при пожарах на территории воронежской области <i>Сапронов Г.И., Склярва Т.П., Полубояринов П.А.....</i>	113
<b>Пожарная и промышленная безопасность.....</b>	117
Повышение взрывобезопасности окрасочных камер <i>Гавриленков А.М., Каргашилов Д.В., Потапова С.О.....</i>	117
О перспективах создания автономных источников электропитания радиотехнических устройств с использованием электрохимических систем на основе структурированных тонких пленок алюминия	

<i>Жуков М.М., Кудряш В.И., Шалимов Ю.Н., Мальцев А.В.....</i>	121
Пожары на нефтеперерабатывающих заводах и анализ их последствий <i>Мальцев А.В., Кочегаров А.В., Зубков Д.В.....</i>	128
Моделирование процесса функционирования экстренных оперативных служб в рамках системы-112 <i>Мальцев А.В., Шокаров А.А., Дзгоев А.Р.....</i>	132
Расчет режимов прогрева несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара с применением программного комплекса ELCUT 6.2 <i>Минкин Д.Ю., Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Минкин Д.А.....</i>	136
Адаптация рентгеновского фотоэлектронного времяпролётного спектрометра к решению задач пожарной безопасности <i>Широбоков С.В., Русских Е.В., Макарова Л.Г., Кулагин А.В., Булдакова Т.В...</i>	146
<b>Методы и системы защиты информации.....</b>	152
Анализ патентно-ассоциированных документов в мире по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров (2005–2014 гг.) <i>Евдокимов В.И., Горячкина Т.Г., Эриванцева Т.Н.....</i>	152
<b>Охрана труда.....</b>	163
Магнитожидкостный амортизатор для гашения колебаний <i>Колбашов М.А., Сизов А.П., Еловский В.С., Комельков В.А., Бочкарев А.Н.</i>	163
Оценка дисперсного и элементного состава пыли при обработке отливок на участках дробеструйных аппаратов и выбивных решеток <i>Манохин В.Я., Головина Е.И., Иванова И.А.....</i>	167
<b>Химическая, биологическая и бактериологическая безопасность.....</b>	172
Результаты исследований свойств волокнистого полуфабриката для производства трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит <i>Иванов Д.В., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д.....</i>	172
Учет неизотермичности течения вязкой среды при моделировании на основе вариационных принципов аналитической механики потокораспределения в гидравлических системах с присоединенными устройствами пожаротушения <i>Сазонова С.А., Сушко Е.А., Николенко С.Д.....</i>	179
<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ.....</b>	185

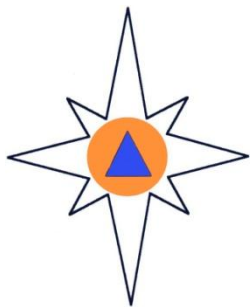
## CONTENTS

<b>Management in social and economic systems.....</b>	<b>9</b>
Mathematical formalization of the general scientific concept of the deterministic fire-fighting process by mobile means <i>Denisov A.N.</i> .....	9
Principles of optimization for assessing the states of safe and sustainable (anti-crisis) development of economically important and environmentally hazardous facilities <i>Zhidko E.A., Leonov P.M.</i> .....	15
On the development of special software for the automation of administrative and management functions of the management of fire and rescue units <i>Malyutin O.S.</i> .....	24
<b>Mathematical modeling, numerical methods and program complexes.....</b>	<b>35</b>
Application of mathematical modeling methods to assess the effectiveness of the operation of the RCB surveillance post in the EMERCOM of Russia system <i>Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B.</i> .....	35
Modeling of the flood situation in the Tambov region <i>Shvetsova O.F., Kochegarov A.V., Voronin M.A.</i> .....	40
<b>Transport.....</b>	<b>45</b>
Investigation of the stress-strain state of the construction of tanks of fire trucks <i>Korotkevich S.G., Kovtun V.A.</i> .....	45
Hoisting-and-conveying equipment in the technology of repair and maintenance of fire equipment <i>Pechurin A.A., Brusyanin D.V., Sitnikov A.I., Kuprienko P.S.</i> .....	52
Diagnosis of diesel engines by the ratio of the concentration of wear products in engine oil <i>Skripka A.V., Brusyanin D.V., Sitnikov A.I., Kuprienko P.S.</i> .....	56
Trunk for suppression of the peat fires <i>Shirobokov S.V., Skorobogatova R.I., Sadriev R.I., Zagumenov S.Yu</i> .....	60
<b>Safety of human activities.....</b>	<b>64</b>

Investigation of the fire-extinguishing efficiency of direct microemulsions containing flame retardants 1,2-dibromotetrafluoroethane and 2-iodoheptafluoropropane <i>Batov D.V., Mochalova T.A., Storonkina O.E.</i> .....	64
Experimental determination and calculation of flash points of binary (1-decanol-n-decane) and ternary (1-decanol-n-decane-methylisobutyl ketone) mixtures <i>Batov D.V., Mochalova T.A., Storonkina O.E.</i> .....	70
Heating of household gas leaks triggered by electrical emergency conditions <i>Cheshko I.D., A.S. Smirnov, Tumanovsky A.A.</i> .....	77
Method for the preparation of a polymer composite material with encapsulated carbon nanotubes by the method of electromaking <i>Shutova A.G., Solovy S.N.</i> .....	87
<b>Safety in emergency situations</b> .....	93
Actual problems of ensuring the safety of technological processes and industries to prevent man-made emergencies <i>Fedorov A.V., Barmashev V.A., Markov V.N., Tagiev Sh.K.</i> .....	93
Development and application of specialized information and training portals <i>Kuzmina T.A., Bobrov A.I., Stepanov I.M., Kuzmin A.A.</i> .....	101
Generalized analysis and methods of emergency risk management <i>Raimbekov K.Zh., Kusainov A.B.</i> .....	106
Features of rendering medical care to victims in fires in the Voronezh region <i>Sapronov G.I., Sklyarova T.P., Poluboyarinov P.A.</i> .....	113
<b>Fire and industrial safety</b> .....	117
Increase explosion safety of paint chambers <i>Gavrilentov A.M., Kargashilov D.V., Potapova S.O.</i> .....	117
On the prospects of creating autonomous power supplies for radio engineering devices using electrochemical systems based on structured thin aluminum films <i>Zhukov M.M., Kudryash V.I., Shalimov Yu.N., Maltsev A.V.</i> .....	121
Fires in oil refineries and analysis of their consequences <i>Maltsev A.V., Kochegarov AV, Zubkov DV</i> .....	128

Modeling the process of functioning of emergency operational services within the system-112 <i>Maltsev A.V., Shokarov A.A., Dzgoev A.R</i> .....	132
Calculation of the modes of heating of load-bearing structures of oil and gas complex objects in the conditions of internal fire with the use of the program complex ELCUT 6.2 <i>Minkin D.Yu., Kuzmin AA, Romanov NN, Minkin D.A.</i> .....	136
Adaptation of the X-ray photoelectron time-of-flight spectrometer to solving fire safety problems <i>Shirobokov S.V., Russkikh E.V., Makarova L.G., Kulagin A.V., Buldakova T.V...</i>	146
<b>Methods and systems of information security</b> .....	152
Analysis of patent-associated documents in the world for the prevention and liquidation of emergencies and fires (2005-2014) <i>Evdokimov V.I., Goryachkina T.G, Erivantseva T.N</i> .....	152
<b>Occupational Safety and Health</b> .....	163
Magneto-liquid shock absorber for vibration damping <i>Kolbashov M.A., Sizov A.P., Elovskiy V.S., Komelkov V.A., Bochkarev A.N</i> .....	163
Evaluation of the dispersed and elemental composition of dust in the processing of castings on sections of shot blasting machines and knockout gratings <i>Manokhin V.Ya., Golovina E.I., Ivanova I.A.</i> .....	167
<b>Chemical, biological and bacteriological safety</b> .....	172
Results of studies of the properties of a fibrous semifinished product for the production of flame-retardant fibreboard slabs <i>Ivanov D.V., Petrusheva N.A., Alashkevich Yu.D</i> .....	172
The account of non-isothermicity of viscous environment visibility by modeling based on variational principles of the analytical mechanics of flow determination in hydraulic systems with accelerated fire extinguishing devices <i>Sazonova S.A., Sushko E.A., Nikolenko S.D</i> .....	179
<b>GUIDELINES FOR AUTHORS</b> .....	185





## УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 614.842.83.07

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОБЩЕЙ НАУЧНОЙ КОНЦЕПЦИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ПОЖАРОТУШЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

*А.Н. Денисов*

*Формализованы основы моделирования динамической системы оперативного управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий при пожаре. Ключевыми элементами моделей выбраны площади пожара и тушения. Приведен обобщенный алгоритм математического моделирования сложной социальной и экономической системы управления силами и средствами при пожаротушении.*

**Ключевые слова:** алгоритм, динамическая система, модель, пожаротушение, управление.

**Введение.** Использование математики при формализации управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий на месте пожара не имеет долгой истории. Существует ряд мнений, что нет ни одного фундаментального достижения в пожаротушении, полученного с помощью математической теории; роль математиков, знающих пожаротушение, заключается не в выявлении законов управления при пожаротушении, а в интерпретации событий при исследовании математических моделей и предоставлении качественных и/или количественных оценок.

Рассмотренные математические модели, классифицируются как: разностные уравнения (с дискретным временем), обыкновенные дифференциальные уравнения (конечномерные с непрерывным временем), уравнения в частных производных и интегро-дифференциальные уравнения (бесконечномерные). Не рассмотрены вероятностные модели.

Ниже формализованы отображения сложной социальной и экономической системы оперативного управления силами и средствами при пожаротушении в формальные структуры – математические модели.

**Динамика тушения пожара.** Рассмотрим помещение, в котором развивается пожар в условиях отсутствия газообмена (практически герметичном помещении), тактические возможности первичного

тактического подразделения караула (отделение) позволяют его потушить. В том случае если для анализа системы пожаротушения нас интересует только временная динамика, то её состояние описывается единственным числом – площадью пожара ( $S_n$ ), температурой ( $T$ ), количеством личного состава, задействованного в тушении ( $N_{лс}$ ), расходом огнетушащего вещества ( $Q$ ) и т.п. Тогда модели, не учитывающие пространственную организацию пожаротушения (позиции, участки, сектора тушения пожара), назовём локальными. В терминах пожарной тактики это означает: во-первых, пожарная нагрузка в помещении одного типа и распределена равномерно, во-вторых, развитие пожара во все стороны равновероятно.

Для формализации и анализа математических моделей определимся с единицами измерения. Так как площадь (тушения или пожара) не может быть отрицательной, поэтому пространство состояний запишем:

$$S_T = \mathbf{R}_+,$$

$$\text{где } \mathbf{R}_+ = \{S \in \mathbf{R}: S > 0\}.$$

Трактуя площадь тушения как функцию времени:  $S_T(t) \in \{S \in \mathbf{Z}: S > 0\}$ .

$$\text{Величина } \frac{S_T(t + \Delta t) - S_T}{\Delta t} \text{ отображает}$$

среднюю скорость роста площади тушения на промежутке времени  $(t, t + \Delta t]$ . В том случае если величина площади тушения пожара велика, то скачки

пожара, вызванные неравномерностью пожарной нагрузки, выглядят незначительными на графике функции  $S(t)$ . Следовательно, принимаем существование производной по времени:

$$\frac{dS_{\tau}(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(S_{\tau}(t + \Delta t) - S_{\tau}(t))}{\Delta t}$$

Примечание: Производную по времени будем обозначать точкой, размещённой сверху

$$\dot{S}_{\tau} = k \cdot S_{\tau}, \quad k > 0 \quad (1)$$

где  $S_{\tau}$  – площадь пожара,  $m^2$  в момент времени,  $t$ , сек, а  $k$  – коэффициент, характеризующий темп роста площади пожара.

Граничные условия, в которых осуществляется тушения пожара, пожарная нагрузка в помещении одного типа и распределена равномерно, являются упрощением действительности. Для более правильного описания развития пожара в помещении во времени необходимо знать не только общую пожарную нагрузку и её распределение, но также другие признаки, оказывающие влияние на развитие и тушение пожара.

Введя обозначение пространства признаков – PP, опишем состояние системы функцией  $S(vt, t)$ ,

переменной  $\frac{dS_{\tau}(t)}{dt} \equiv \dot{S}_{\tau}$ , и тогда отношение  $\frac{\dot{S}_{\tau}}{S_{\tau}}$ ,

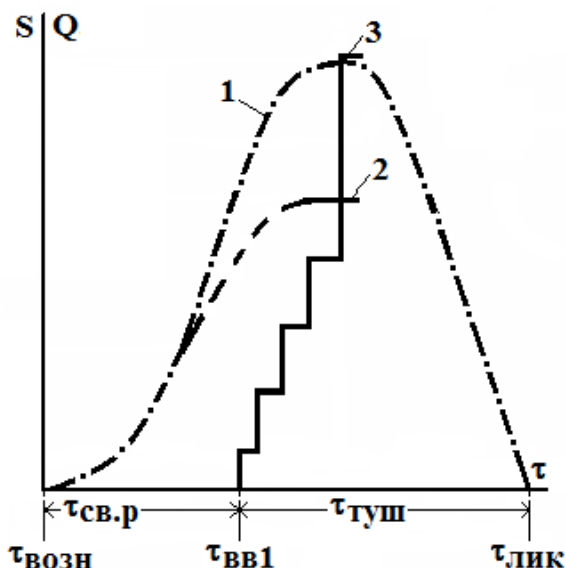
отражает усреднённый вклад позиции по тушению в уменьшение площади пожара.

Анализ описаний пожаров позволяет сделать вывод о том, что скорость роста площади пожара пропорциональна её количеству. Поэтому динамику рассматриваемой системы опишем простейшим дифференциальным уравнением:

где  $vt \in PP$ .

Существуют два основных класса признаков, предопределяющих неоднородность развития пожара: структурные признаки, такие как пространство и пожарная нагрузка, которые для конкретного объекта меняются со временем; неизменные признаки, например, категория по пожарной и взрывопожарной опасности, которая, как правило, неизменна в течение всего срока эксплуатации.

Решением уравнения (1) является функция  $S_{\tau}(t) = S_0 \cdot e^{k \cdot t}$ , где  $S_0$  – площадь пожара в момент его обнаружения. Эта функция описывает изменение площади при «стандартном» пожаре (рис. 1) [1, 2]



**Рис. 1.** График требуемого и фактического расходов огнетушащих веществ, площадей пожара и его тушения: Кривые: 1 – изменение площади пожара во времени  $S_{\pi} = f(\tau)$ ; кривая 2 – изменение площади тушения или требуемого на тушение расхода  $OB$  во времени  $S_{\tau}(Q_{\tau p}) = f(\tau)$  (при круговой форме развития пожара – пунктирная линия); ломаная 3 – изменение фактического расхода во времени  $Q_{\phi} = f(\tau)$ ; Точки:  $\tau_{возн}$  – время возникновения пожара;  $\tau_{св.р}$  – время свободного развития пожара;  $\tau_{туш}$  – время тушения пожара;  $\tau_{вв1}$  – время ввода первых пожарных стоголов;  $\tau_{лик}$  – время ликвидации пожара

Из уравнения (1) следует, что если в любой момент времени начать наблюдение за распространением горения и продолжать его в течение короткого периода  $\Delta t$ , то часть площади, пройденной огнем в течение этого периода, будет равна  $k \Delta t$ , где  $k$  – постоянная. Уравнение (1) справедливо для ограниченного периода развития горения, так как в конечном счете пожар прекратит распространяться. Горение может иногда

стабилизироваться на некотором устойчивом значении, а также испытывать регулярные или нерегулярные колебания, или может уменьшаться, в зависимости от пожарной нагрузки, газообмена и других факторов. Изменение площади пожара, стабилизируемой на некотором устойчивом уровне (рис. 1,  $\tau_{\text{лок}}$ ), опишем с помощью логистического уравнения (П. Ферхюльста):

$$\dot{S} = k \cdot S_{\text{п}} - b \cdot S_{\text{п}}^2 \quad (2)$$

Таким образом, второй член уравнения ограничивает возможность горения и называется «демпфирующим».

Осуществив преобразования уравнения (2):

$$\dot{S} = S_{\text{п}} \cdot (k - b \cdot S_{\text{п}}); \quad \dot{S} = S_{\text{п}} \cdot k \cdot \left(1 - S_{\text{п}} \left(\frac{b}{k}\right)\right),$$

введём обозначения  $\frac{b}{k} = \frac{1}{S_r}$ , тогда:

$$\dot{S} = S_{\text{п}} \cdot k \cdot \left(1 - \left(\frac{S_{\text{п}}}{S_r}\right)\right) \quad (3)$$

где  $b$  – коэффициент, характеризующий темп уменьшения площади пожара;  $S_r$  – доступная для горения площадь,  $\text{м}^2$ .

Аналитическим решением этих уравнений являются функции:

$$S(t) = S_0 \cdot S_r \cdot e^{k \cdot t} \text{ или } S(t) = S_r - S_0 + S_0 \cdot e^{k \cdot t} \quad (4)$$

Продифференцировав, например, выражение (4) два раза по  $t$  и проанализировав полученный результат, делаем вывод о том, что кривая  $S(t)$  имеет

точку перегиба с координатами  $\left(\frac{1}{k} \ln \left(\frac{S_r - S_0}{S_0}\right); \frac{S_r}{2}\right)$  (рис. 2).

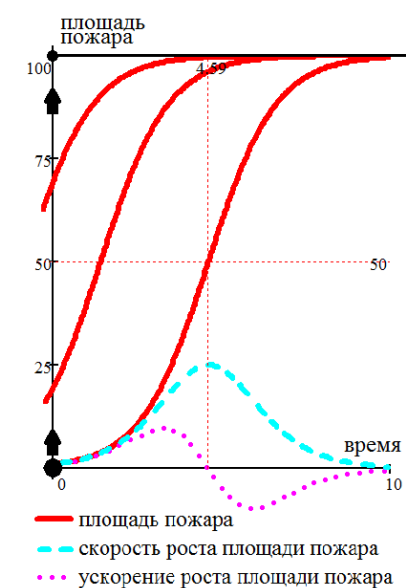


Рис. 2. Изменение площади пожара

На рис. 2 в плоскости площадь–время ( $S_{\text{п}}, t$ ) приведены графики интегральных кривых для различных начальных значений  $S_0$ . Положения равновесия отображены на оси  $S_{\text{п}}$  – точками и стрелками – направления движения фазового потока. Фазовое пространство в данном примере одномерно, а траектории системы управления отображены в виде отрезков прямой площади пожара, движение по которым осуществляется в направлении верхней точки (в данном примере – 100).

Определение 1. Динамической системой управления силами и средствами при пожаротушении мобильными средствами назовём элементы  $\{S_{\text{п}}, YR_t\}$ , где  $S_{\text{п}}$  – возможная площадь пожара (пространство состояний),  $YR_t$  – «однопараметрическое семейство» [3] трансформационных операторов, удовлетворяющее свойствам [4]:

$$YR_0 = id(YR). \quad (5)$$

$$YR_{t_1+t_2} = YR_{t_1} \circ YR_{t_2}, \quad (6)$$

где  $id$  – тождественное отображение решения управленческих задач РТП при пожаре пожарно-спасательными подразделениями,  $YR$ .

Эти свойства означают, что динамическая система не меняет своего состояния самопроизвольно и она автономна.

$$\dot{s}_T = f(s_T), s_T \in S_T \subseteq \mathbf{R}_n, \quad (7)$$

$f: S_T \rightarrow \mathbf{R}_n$  и является системой автономных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Если определено начальное состояние  $s_T(0) = s_0 \in S_T$ , то в случае выполнения требований «теоремы существования и единственности решения задачи Коши (если кроме дифференциального уравнения задано начальное условие)» [5], трансформационный оператор принимает вид:  $YR_t s_0 = s_T(s_0, t)$ .

Правая часть – это есть решение задачи (7) при начальном условии  $s_T(0) = s_0$ .

Определение динамической системы оперативного управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий при пожаре представляет математическую формализацию общей научной концепции детерминированного процесса и включает множество возможных состояний системы (фазовое пространство) и закон трансформации системы управления во времени.

Существенным признаком динамической системы оперативного управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий при пожаре является размерность пространства состояний, подразделяющаяся на конечномерные и бесконечномерные.

Вышеизложенное позволяет представить (1) для динамической системы с дискретным временем в следующем виде:

$$S_{n, t+1} = kp \cdot S_{n, t}, kp > 0,$$

где  $kp$  – коэффициент пропорциональности.

Определение 2. Множество возможных позиций  $s_T = (s_1, \dots, s_n)$ , назовём «пространством состояний или фазовым пространством системы (7)» [4].

Пространство состояний динамической системы (7) охватывается множеством  $\mathbf{R}_n = \{s_T : s_T > 0\}$ .

Определение 3. Кривую  $vt(s_0)$  назовём фазовой кривой (траекторией) системы управления (7). График функции  $s_i = s_i(t; s_0)$ , всех  $i = 1, 2, \dots, n$  на множестве  $s_T = (s_1, \dots, s_n, t)$  назовём интегральной кривой системы управления (7).

Определение 4. Положениями равновесия динамической системы (7) назовём те точки фазового

Формализуем закон изменения в виде дифференциальных уравнений. Для этого допустим, что пространство состояний динамической системы представлено подмножеством  $S = S_T \subseteq \mathbf{R}_n$ , с позициями  $s_T = (s_1, \dots, s_n)$  и закон изменения задается неявно:

пространства  $s_*$ , для которых  $f(s_*) = 0$ . То есть  $s_*$  – это решение, так как  $\dot{s}_* = 0$ .

Прямая параллельная оси  $t$  (рис. 2) с координатами  $(0, 100)$  (для данного примера) – это интегральная кривая (прямая в пространстве  $\mathbf{R} \times \mathbf{R}_n$ ), соответствующая положению равновесия.

Определение 5. Фазовым портретом назовём семейство фазовых траекторий, полученных в результате разбиения фазового пространства на траектории.

Отобразить семейство фазовых траекторий на рисунке не представляется возможным, поэтому отображаются только опорные траектории, в результате получается фазовый портрет.

Утверждение 1. Решения уравнения (7) представляют из себя монотонные функции во времени.

Доказательство. Зафиксируем некоторое начальное условие  $s_0$ , при этом  $f(s_0) \neq 0$ , а графическое отображение решения  $s(t; s_0)$  в некоторый момент времени  $t_*$  содержит локальный максимум/минимум, эквивалентный  $s_*$ .

Тогда,  $s_0(t_*) = f(s_*) = 0$ , а это означает, что  $s_*$  – положение равновесия, т.е. уравнение (7) обладает решением, тождественно равным  $s_*$ , а это не согласуется с утверждением теоремы существования и единственности решения.

Семантически утверждение свидетельствует о том, что в одномерных динамических системах с непрерывным временем невозможны периодические решения. Фазовый портрет этих систем сводится к совокупности отрезков (ориентированных) прямых, стремящихся к равновесному положению или в противном случае стремящихся в бесконечность. В том случае если траектория одномерной динамической системы ограничена, как, например, в случае тушения стандартного пожара, то ее асимптотические состояния находятся всегда в положении равновесия.

**Распространение пожара.** Абстрагируясь, разбиваем пожарную нагрузку, по которой развивается пожар, на три непересекающихся множества:  $S_n$  – огонь ещё не дошел,  $S_o$  – охвачена огнём,  $S_{но}$  – созданы условия для перехода на неё огня. В этом случае пространство состояний:  $S \in (S_n, S_o, S_{но})$ , тогда в любой момент времени (пока не вводятся огнетушащие вещества) должно

выполняться  $S_n + S_o + S_{но} = S$ , если наша система замкнута (взрыва не будет, ограждения не сгорят).

Наложение ограничения «равенства» на состояние рассматриваемой системы означает, что фазовое пространство двумерно.

Замена локальной модели (процессы пространственно однородны) на распределённую (процессы пространственно неоднородны) позволяет уточнить описание протекающих процессов в системе управления. Для этого необходимо учитывать  $S_n = S_n(x, t)$  и  $S_{но} = S_{но}(x, t)$  пространственное распределение параметров, т.е. двумерное фазовое пространство замещается бесконечномерным.

С учётом (1, 2) и SIR модели [6] математическая модель распространения пожара с учётом равномерности пожарной нагрузки и постоянной скоростью тушения,  $vt$ :

$$\begin{cases} \dot{S}_n = -vp \cdot S_n \cdot S_o \\ \dot{S}_o = vp \cdot S_n \cdot S_o - vt \cdot S_o, \\ \dot{S}_{но} = vp \cdot S_o \end{cases}$$

где  $vp$ ,  $vt$  – скорости распространения пламени и тушения, соответственно.

**Система пожаротушения.** Обстановка с пожаротушением в пределах определенной области (объекте, помещении, территории)  $O$  опишем вектором с неотрицательными компонентами  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n) \in \mathbf{R}_{+n}$ , где  $S_n$  – площадь тушения на  $n$ -й позиции. Тогда,  $\mathbf{R}_{+n} = \{S \in \mathbf{R}_n : S > 0\}$ , где:  $S > 0$  для вектора  $S$  означает, что  $S_n > 0$  для всех  $n$ .

**Система «тушение–пожар».** Состояние этой системы опишем двумя значениями:  $T$  – характеристика пожаротушения в рассматриваемой области (объекте, помещении, территории);  $\Pi$  – характеристика пожара (пожарная нагрузка, опасные факторы пожара, геометрические параметры). Тогда фазовое пространство:  $S = \mathbf{R}_{+}^2$ .

Пространственные характеристики пожаротушения и развития пожара обладают свойством неоднородности и, следовательно, пространства вектор–функций запишем:

$$T(x, t), P(x, t),$$

где  $x \in O \subset \mathbf{R}^2$ , в том случае если рассматривается процесс пожаротушения на плоскости;  $x \in O \subset \mathbf{R}^3$ , в объёме (фазовое пространство становится бесконечномерным, равно как и пространство функций).

Эволюция динамической системы пожаротушения определяет трансформацию состояния системы со временем  $t \in T$ , где  $T$  – упорядоченное множество. Теории управления пожарно–спасательными подразделениями оперируют двумя типами динамических систем (непрерывные, дискретные), когда:  $T = \mathbf{R}$ , с непрерывным временем;  $T = \mathbf{Z}$ , с дискретным временем.

Ключевой составляющей любой динамической системы является закон её изменения,

определяющий состояние системы в момент времени  $t$  –  $S_t$  при условии, что её начальное состояние известно  $S_0$ . В общем виде формализуем закон изменения:  $YR_t : S \rightarrow S$ .

Т.е. для любого времени  $t$  определено отображение  $S$  на  $S$ , которое транслирует «начальное состояние в другое»:  $S_t = YR_t \cdot S_0$ .

Трансформация динамической системы происходит в условиях воздействия на входящие в неё элементы. Пусть на пожар воздействуют огнетушащие вещества с фактическим расходом,  $Q_{фt}$  и фактической интенсивностью,  $I_{фt}$ , так что локализация не происходит. Т.е. окружающая среда (пожар) способна перерабатывать и поглощать до определенного предела внешнее воздействие (огнетушащие вещества):

$$\begin{cases} Q_{фt} < Q_{трт}, \\ I_{фt} < I_{трт}, \end{cases}$$

где  $Q_{фt}$  – фактический расход огнетушащих веществ, л/с;  $Q_{трт}$  – требуемый расход огнетушащих веществ, л/с;  $I_{фt}$  – фактическая интенсивность подачи огнетушащих веществ (линейная, поверхностная, объемная);  $I_{трт}$  – требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ (линейная, поверхностная, объемная).

В этом случае изменение системы «тушение–пожар» опишем системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{T} = \mu - trT - f(\Pi, T) \\ \dot{\Pi} = g(\Pi) - h(\Pi, T) \end{cases}$$

где  $\mu$  – мощность пожаротушения за единицу времени;  $tr$  – коэффициент, характеризующий темп роста (относительная скорость) площади пожара;  $f(\Pi, T) \geq 0$  – функциональная переменная, описывающая взаимодействие огнетушащих веществ и пожара;  $g(\Pi)$  – функциональная переменная, описывающая динамику пожара при отсутствии подачи огнетушащих веществ;  $h(\Pi, T) \geq 0$  – функциональная переменная, описывающая влияние пожаротушения на пожар [7].

Обобщённый алгоритм математического моделирования сложной социальной и экономической системы управления силами и средствами при пожаротушении:

1. Замена множества дискретных объектов системами уравнений.
2. Анализ решения систем уравнений (при всех возможных параметрах).
3. Интерпретация в терминах пожарной тактики.

**Заключение**

Любая модель – это идеализация реальности.

Реальное развитие пожара – это распространение пожара по множеству дискретных объектов (пожарной нагрузке), которые обладают своими индивидуальными чертами

(пространственные координаты, масса и низшая теплота сгорания и т.п.).

Детерминированные динамические системы управления пожаротушением мобильными средствами – это не единственно возможная идеализация систем управления при пожаре.

Описание управленческих систем также осуществляется с помощью вероятностных (стохастических) процессов, учитывающих дискретность и целочисленность реальных пожаров, с учётом случайных факторов.

#### Библиография

1. ГОСТ Р 54081-2010 (МЭК 60721-2-8:1994) Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Пожар.
2. Денисов А.Н., Усманов Р.А. Методы оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений для зданий повышенной этажности [Электронный ресурс] // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" (<http://ipb.mos.ru/ttb>). – № 4 (68) 2016 г. (дата обращения: 07.08.2017).
3. Крейн С.Г., Хазан М.И. Полугруппа нелинейных операторов // Математическая энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1985. — Т. 5. — С. 458–459. — 623 с.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. — 2-е изд., перераб. и испр. — М.: Наука, 1981. — 918 с.
5. Хартман Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — Мир, 1972. — 720 с.
6. Kermack W.O. and McKendrick A.G. Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, Proceedings of the Royal Statistical Society A. 1927. – Vol. 115. – P. 700–721.
7. Братусь А.С., Мецгерин А.С., Новозhilов А.С. Математические модели взаимодействия загрязнения с окружающей средой // Вестник МГУ, серия Вычислительная математика и кибернетика. - № 6. - 2001. - С. 140–148.

#### References

1. GOST R 54081-2010 (MEK 60721-2-8:1994) Vozdejstvie prirodnyh vnesnih uslovij na tekhnicheskie izdeliya. Obshchaya harakteristika. Pozhar.
2. Denisov A.N., Usmanov R.A. Metody operativnogo reagirovaniya pozharно-spatatel'nyh podrazdelenij dlya zdaniy povyshennoj ehtazhnosti [EHlektronnyj resurs] // Internet-zhurnal "Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti" (<http://ipb.mos.ru/ttb>). – № 4 (68) 2016 g. (data obrashcheniya: 07.08.2017).
3. Krejn S.G., Hazan M.I. Polugruppa nelinejnyh operatorov // Matematicheskaya ehnciklopediya. — M.: Sovetskaya ehnciklopediya, 1985. — T. 5. — S. 458–459. — 623 s.
4. Andronov A.A., Vitt A.A., Hajkin S.EH. Teoriya kolebanij. — 2-e izd., pererab. i ispr. — M.: Nauka, 1981. — 918 s.
5. Hartman F. Obyknovennye differencial'nye uravneniya. — Mir, 1972. — 720 c.
6. Kermack W.O. and McKendrick A.G. Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, Proceedings of the Royal Statistical Society A. 1927. – Vol. 115. – P. 700–721.
7. Bratus' A.S., Meshcherin A.S., Novozhilov A.S. Matematicheskie modeli vzaimodejstviya zagryazneniya s okruzhayushchej sredoj // Vestnik MGU, seriya Vychislitel'naya matematika i kibernetika. - № 6. - 2001. - S. 140–148.

### THE MATHEMATICAL FORMALIZATION OF GENERAL SCIENTIFIC CONCEPT OF A DETERMINISTIC PROCESS CELL FIRE-EXTINGUISHING MEANS.

*Formalized of modeling of dynamic system the operational management of fire and rescue departments in the conduct of tactical actions in case of fire. Key elements of models of the selected area of the fire and extinguish it. The generalized algorithm of mathematical modeling of complex social and economic system of forces and means for fire-fighting.*

**Keywords:** algorithm, dynamic system, model, fire-fighting, management.

**Денисов Алексей Николаевич,**

профессор, доктор философских наук, доцент,  
Академия ГПС МЧС России, Управление пожарной тактики и обслуживания,  
Россия, г. Москва,  
тел.: 84956172724,  
mail: dan\_aleks@mail.ru,

**Denisov A.N.,**

professor, Ph. D., associate Professor,  
Academy of State fire service of EMEPKOM of Russia, Department of fire tactics and service,  
Russia, Moscow.

## ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ БЕЗОПАСНОГО И УСТОЙЧИВОГО (АНТИКРИЗИСНОГО) РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Е.А. Жидко, П.М. Леонов*

*В статье рассматривается возможность применения комплекса принципов оптимизации для формирования научно-методического обеспечения (НМО) программы исследований информационной безопасности экономически важных и экологически опасных объектов, их систем информационной безопасности на основе единого алгоритма и единой шкалы оценки состояний устойчивости их развития в контексте противоборства договаривающихся сторон на политической арене и конкурентной борьбы между ними в социально-эколого-экономическом аспекте в условиях информационной войны.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность, принципы оптимизации, эколого-экономический аспект

Одной из актуальных проблем является обеспечение информационной безопасности (ИБ) экономически важных и экологически опасных (ЭВиЭО) объектов в контексте противоборства договаривающихся сторон на политической арене и конкурентной борьбы между ними в социально-эколого-экономическом аспекте в условиях информационной войны.

Под информационной безопасностью, согласно [1], понимается состояние защищенности национальных интересов в информационной сфере, определяющихся совокупностью сбалансированных интересов личности, общества, государства (ЛОГ).

*Экономически важными* производствами (объектами) целесообразно считать те из них, которые способны обеспечить: потребности ЛОГ в необходимом и достаточном уровне, качестве и безопасности жизни; их устойчивое антикризисное развитие в новых условиях XXI века. *Экологически опасными* являются те экономически важные производства, которые оказывают на окружающую среду антропогенное воздействие, уровень которого превышает нормы экологической безопасности, создаёт угрозы качеству и безопасности жизни человека и природы. К таким объектам относятся, например, ТЭЦ, АЭС, аэродромы, в т.ч. и военные и т.п. [2,3].

Согласно проведенным исследованиям [3-6], единая шкала оценки устойчивости развития объекта предназначена для количественно-качественной оценки состояний устойчивости роста, развития и защиты ЭВиЭО объектов в заданном контексте, аспектах и условиях. Фактически речь идёт об исследовании эффективности систем управления циклами информационной и интеллектуальной поддержки (ИИПЗ) защищенности таких объектов от угроз нарушения их ИБ с критическими и/или неприемлемыми последствиями для ЛОГ в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке XXI века.

Следуя принятой методологии таких исследований [3,4], формирование единой шкалы базируется на интегральном (глобальном) критерии оптимизации способов и средств достижения требуемого уровня защищённости в процессе реализации объектом формы хозяйствования 5С [3]. В интересах такой оптимизации на основе логико-вероятностно-информационного подхода шкала должна обеспечить диагностику состояний устойчивости, их экспертизу на соответствие требуемому (задачи анализа ситуации и результатов), адекватную реакцию (задачи синтеза способов и средств достижения целей объекта) на угрозы нарушения устойчивости с негативными последствиями.

Интегральная цель глобальной оптимизации – обеспечение требуемого уровня устойчивости в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного периодов XXI века. Интегральная цель достигается её ветвлением на частные цели, включая:

- формирование стратегического видения перспективных направлений роста, развития и защиты ЭВиЭО объекта, его системы информационной безопасности (СИБ);
- адекватное им концептуальное проектирование и перепроектирование облика ЭВиЭО объекта, его СИБ, программирование и перепрограммирование траектории их развития;
- оперативное управление антикризисным функционированием этих объектов в реальном и близком к нему масштабе времени (т.е. в краткосрочном периоде) по ситуации и результатам в статике условий XXI века;
- стратегическое управление проектами облика и траектории развития объектов по ситуации и результатам в статике и динамике среднесрочного и долгосрочного периодов XXI века;

- обеспечение управления циклами ИИПЗ ЭВиЭО объектов от угроз нарушения их ИБ с негативными последствиями для ЛОГ.

Достижение каждой такой цели базируется на адекватных им частных интегральных критериях оптимизации. Осуществляется дальнейшее ветвление частных целей на задачи, решением которых в определённой последовательности они достигаются. Как было показано [3-7], каждая задача является многофакторной, многомерной и многокритериальной, имеющей многоальтернативные решения.

В интересах их эффективного решения необходимо заранее предусмотреть возможность разрешения проблемы глобальной оптимизации на основе:

- обоснованного выбора схем компромисса для своевременного принятия правильных управленческих решений, базирующихся на адекватных схемам локальных критериях оптимизации способов и средств достижения частных интегральных целей;

- нормализации локальных критериев с учётом их приоритетов.

В результате применения сформированной таким образом системы критериев оптимизации окончательно формируется НМО программы исследований ИБ ЭВиЭО объекта, его СИБ на основе

единого алгоритма и единой шкалы оценки состояний устойчивости их развития в заданном контексте, аспектах и условиях [3,4].

Однако на современном этапе остаётся проблемным вопрос обеспечения глобальной оптимизации на основе математического моделирования изучаемых процессов и обеспечения автоматизации исследований ИБ ЭВиЭО объекта, его СИБ в интересах адекватной реакции на угрозы её нарушения. В то же время оценка состояния вопроса по проблеме и результаты проведенных исследований позволяют наметить путь разрешения такой проблемы.

В работе [8] впервые был предложен комплекс принципов оптимизации противоборства сторон А и В в информационной войне в мирное время. Каждый из них проиллюстрирован логико-математической моделью требуемого целевого и функционального назначения. В интересах разрешения информационного конфликта между сторонами А и В в комплекс вошли следующие принципы: разумной достаточности, последовательных уступок и равенства, максимального приближения к реальности, гарантированного уровня и гибкого приоритета. Рассматривались как наиболее сильные стратегии поведения сторон, отвечающие схеме «ИЛИ – И» (рис.1).

Внешняя среда ЭВиЭО объекта		Внутренняя среда ЭВиЭО объекта (SWOT – анализ)			Оптимальная стратегия ЭВиЭО объекта
		«И»	«ИЛИ – И»	«И – ИЛИ – И»	
S W O T	«И»	1.1	1.2	1.3	1.2
	«ИЛИ – И»	2.1	2.2	2.3	Стратегический паритет в статистике
	«И – ИЛИ – И»	3.1	3.2	3.3	Стратегический паритет в динамике
Максимальная угроза		Превосходство конкурентов в состязательности по ситуации и результатам в статике и динамике			Динамическое равновесие в конкурентоспособности ЭВиЭО объекта, наличие у него конкурентных преимуществ

Рис. 1. Возможные исходы состязательности сторон в социально-эколого-экономической сфере и обеспечения их безопасности (типовые ситуации)

В результате были получены следующие логико-математические модели названных принципов.

**1. Принцип разумной достаточности**

$$R_A(T_{0,N}) = R_{АВВТ}(T_{0,N}) \cdot R_{АС}(T_{0,N}) = 1 - R_B(T_{0,N}) == [1 - R_{БВВТ}(T_{0,N}) \cdot R_{БС}(T_{0,N})] \geq 0,5 \pm 0,3$$

$$R_A(T_{0,N}) \geq R_B(T_{0,N}) \quad (1)$$

**2. Принцип последовательных уступок**



$$R_{\Omega}(E, T) = Opt \prod_{i=1}^3 Opt \left[ 1 - \prod_{j=1}^J \left[ 1 - Opt R_{ij} \left( \frac{E_{ij}, \tau_j}{E_{i,j-1}, \tau_{j-1}} \right) \right] \right]$$

$$R_{\Omega} \in \Omega_{R_{\Omega}}^{(1,2)} \quad R_i \in \Omega_{R_i}^{(1,2)} \quad R_{ij} \in \Omega_{R_{ij}}^{(1,2)}$$

$$R_A(E_A^{(u)}, E_A^{(3)}, T_{0,N}) = [1 - R_B(E_B^{(u)}, E_B^{(3)}, T_{0,N})] \geq 0,5 \pm 0,3 \quad (2)$$

$$R_A(E_A^{(u)}, E_A^{(3)}, T_{0,N}) = R_A \left( \frac{E_A^{(u)}}{E_B^{(3)}}, T_{0,N} \right) \cdot R_A \left( \frac{E_A^{(3)}}{E_B^{(u)}}, T_{0,N} \right)$$

### 3. Принцип равенства

$$R_A \left( \frac{E_A^{(u)}}{E_B^{(3)}}, T_{0,N} \right) = R_A \left( \frac{E_A^{(3)}}{E_B^{(u)}}, T_{0,N} \right) \geq 0,7 \quad (3)$$

### 4. Принцип максимального приближения к реальности

$$R_A \left( \frac{E_A^{(u)}}{E_B^{(3)}} \right) = \frac{R_A(E_A^{(u)}) \cdot R_B \left( \frac{E_B^{(3)}}{E_A^{(u)}} \right)}{\sum_{i=1}^j R_A(E_{Ai}^{(u)}) \cdot R_B \left( \frac{E_B^{(3)}}{E_{Ai}^{(u)}} \right)} = \frac{R_A(E_A^{(u)}) \cdot \left[ 1 - R_A \left( \frac{E_A^{(u)}}{E_B^{(3)}} \right) \right]}{\sum_{i=1}^j R_A(E_{Ai}^{(u)}) \cdot \left[ 1 - R_A \left( \frac{E_{Ai}^{(u)}}{E_B^{(3)}} \right) \right]} \geq 0,7$$

$$R_A(E_A^{(u)}, T_{0,N}) = 1 - \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^N R_{mn}(E_{Am}^{(u)}, \tau_n \in T_{0,N})$$

$$E_B^{(3)} \rightsquigarrow \{H_B\} \rightarrow R_A(H_B) \rightarrow R_A \left( \frac{E_A^{(u)}}{E_B^{(3)}} \right) \rightarrow \overline{R}_A \left( H_A^*, \frac{H_B^*}{E_A^{(u)}} \right) \quad (4)$$

$$\overline{R}_A \left( H_A^*, \frac{H_B^*}{E_A^{(u)}} \right) = \frac{R_A(H_B) \cdot \overline{R}_A \left( \overline{E_A^{(u)}}, \frac{H_B^*}{H_A^*} \right)}{\sum_{l=1}^L R_{Al}(H_B) \cdot R_{Al} \left( E_{Al}, \frac{H_{Bl}^*}{E_{Al}^{(u)}} \right)}$$

$$R_A(H_B) = 1 - \frac{(a+b)^M}{Ml} e^{-(a+b)}$$

### 5. Принцип гарантированного уровня развития

$$R_A \left( \frac{E_A^{(3)}}{E_B^{(u)}} \right) = 1 - \frac{R_B(E_B^{(u)}) \cdot \left[ 1 - R_B \left( \frac{E_B^{(u)}}{E_A^{(3)}} \right) \right]}{\sum_{j=1}^j R_B(E_{Bj}^{(u)}) \cdot \left[ 1 - R_B \left( \frac{E_{Bj}^{(u)}}{E_A^{(3)}} \right) \right]} \geq 0,7$$

$$R_B(E_B^{(u)}, T_{0,N}) = 1 - \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^N R_{mn}(E_{Am}^{(u)}, \tau_n \in T_{0,N})$$

$$E_A^{(3)} \rightsquigarrow \{H_A\} \rightarrow R_B(H_A) \rightarrow R_B \left( \frac{E_B^{(u)}}{E_A^{(3)}} \right) \rightarrow \overline{R}_B \left( H_B^*, \frac{H_A^*}{E_B^{(u)}} \right) \quad (5)$$

$$\overline{R}_B \left( H_B^*, \frac{H_A^*}{E_B^{(u)}} \right) = \frac{R_B(H_A) \cdot \overline{R}_B \left( \overline{E_B^{(u)}}, \frac{H_A^*}{H_B^*} \right)}{\sum_{l=1}^L R_{Bl}(H_A) \cdot R_{Bl} \left( E_{Bl}^{(u)}, \frac{H_{Bl}^*}{H_{Bl}} \right)}$$

$$R_B(H_A) = 1 - \frac{(a+b)^M}{Ml} e^{-(a+b)}$$

В приведенных логико-аналитических выражениях рассматриваемых принципов приняты следующие обозначения:

R – вероятности достижения целей конкурирующими сторонами в условиях их состязательности и информационной войны между ними;

E – предпринимаемые ими стратегии действий в рассматриваемый период времени;

H – имеющаяся в их распоряжении мера информации в тот же период.

Более глубокое изучение накопленной базы знаний и ресурса по проблеме глобальной оптимизации [8-10] показало, что с целью разрешения проблемы управления циклами ИИПЗ ЭВиЭО объектов в рассматриваемом нами контексте, аспектах и условиях целесообразно усовершенствовать приведенный комплекс принципов и критериев оптимизации по следующим направлениям.

А). Принять за основу в качестве главного – принцип преэминентности накопленной базы знаний

и ресурса при условии их усовершенствований и дальнейшего развития в рамках структуры пространства стратегических направлений (по аналогии с [11,12]), необходимых и достаточных для разрешения проблемы устойчивости развития ЭВиЭО объекта, его СИБ в заданном контексте, аспектах и условиях. В интересах решения такой задачи целесообразно принять за основу поиск перспективных направлений развития на основе комплексирования следующих стратегий:

- в интересах обеспечения абсолютного превосходства – наступательные стратегии захвата не занятых пространств, нанесения упреждающего удара, дифференциации и интеграции (сетизации), оптимизации затрат и лидерства по издержкам – всё в комплексе с оборонительной стратегией «снятия урожая» (рис.2). Такие стратегии гарантируют достижение состояния: естественной монополии в экономической сфере, гармонизации отношений человека и природы в экологической сфере и аналогичные им в других сферах, согласно данным табл.1

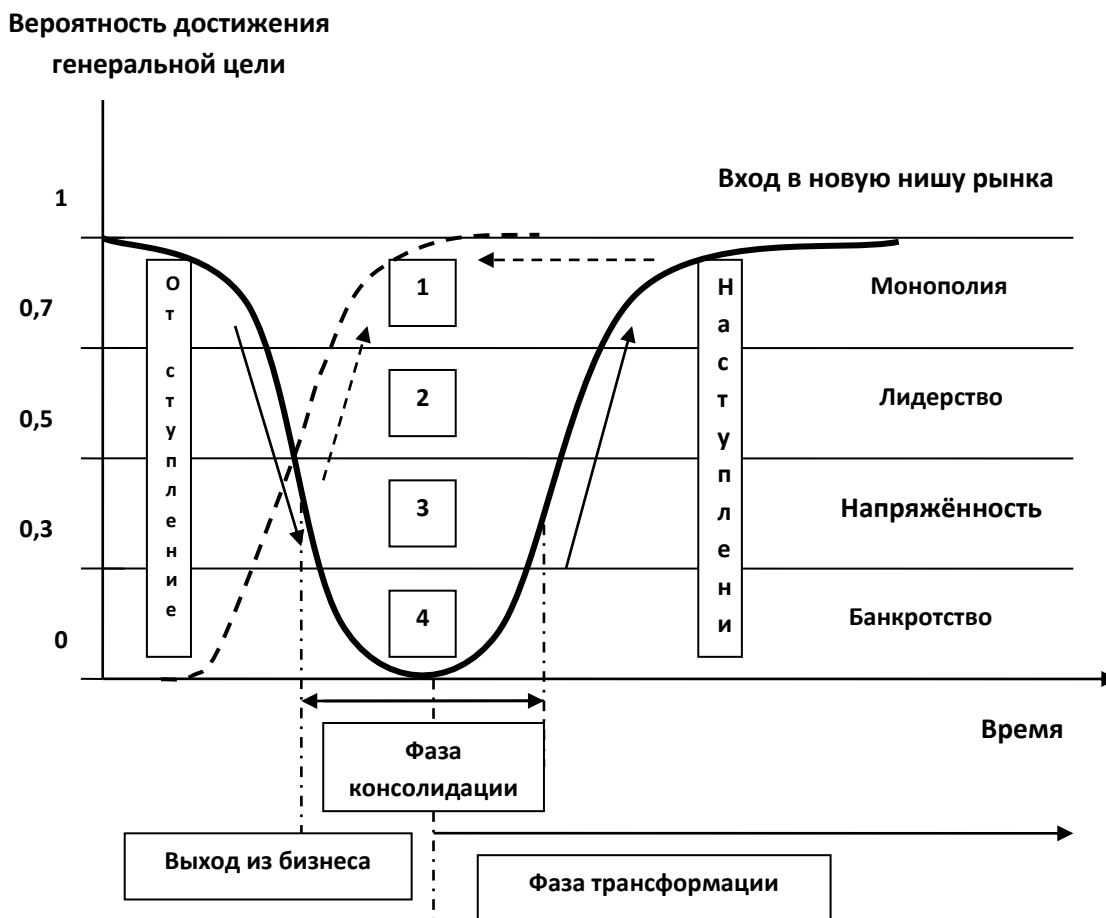


Рис. 2. Логико-семантическая модель управления комплексами стратегий конкурентной борьбы ЭВ и ЭО объекта, его СИБ по ситуации и результатам, где:

1 – Монополия: наступательные стратегии захвата не занятых пространств, нанесения

упреждающего удара, дифференциации и интеграции (сетизации), оптимизации затрат и лидерства по

издержкам – всё в комплексе с оборонительной стратегией «снятия урожая»;

2 – Лидерство: наступательные стратегии обороны и укрепления, ответного удара и демонстрации силы, дифференциации и интеграции (сетизации), оптимизации затрат и лидерства по издержкам – всё в комплексе с оборонительной стратегией «снятия урожая»;

3 – Напряжённость (предкризисное состояние): наступательные стратегии узкой специализации, экспорта и оптимизации затрат – всё в комплексе с оборонительными стратегиями сокращения невостребованных бизнес-единиц и

реинжиниринга бизнес-единиц, востребованных в рамках нового инновационно-инвестиционного проекта (фаза консолидации)

4 – Банкротство (кризис): стратегии антикризисного управления по ситуации и результатам на основе совмещения фаз консолидации и трансформации с целью формирования комплекса наступательно-оборонительных (или оборонительно-наступательных) стратегий, гарантирующих антикризисное развитие субъекта в режиме стратегического паритета с конкурентами (штрих)

Таблица 1

**Градации возможных состояний ЭВиЭО объекта с учётом возможных исходов взаимосвязанного развития его внешней и внутренней среды**

Сфера деятельности	Исходы	
	состязательности сторон (динамика)	Их конкурентной борьбы и информационной войны (статика)
1	2	3
Политика	однополярный мир; многополярный мир; угрозы гибели мирового сообщества и разрушения планеты	единомышленники, сочувствующие; нейтральные, сомневающиеся; агрессивно настроенные
Социум	процветание; стабильность гражданского общества: неопределенность его состояния; социальная напряженность; социальный взрыв	расслоение гражданского общества по уровню, качеству и безопасности жизни на слои: богатые; с разумно достаточным уровнем жизни; бедные, нищие и крайняя нищета не совместимая с жизнью
Экономика	высокоразвитые; развитые; переходного периода; развивающиеся; слабо развитые	монополия; лидерство; неопределенное состояние; напряженность; банкротство, кризис, крах (т.е. угроза выхода из бизнеса)
Экология	гармония во взаимодействии человека с обществом и природой; стабильность при соблюдении норм экологической безопасности; пренебрежение нормами и неопределенность ситуации; антропогенные катастрофы; природные катаклизмы	конкурентные преимущества; высокая конкурентоспособность; нормальная конкурентоспособность; низкая конкурентоспособность; отсутствие конкурентоспособности
Технологии	нанотехнологии; высокие технологии; морально устаревшие; физически устаревающие; отсутствие технологий	генная инженерия; робототехника; автоматика и телемеханика; машины, механизмы, их отсутствие

Примечания. 1. При составлении таблицы учтено целевое и функциональное назначение элементов социально-эколого-экономической системы (СЭЭС) страны, её системы национальной безопасности (СНБ) и их СИБ во взаимодействии, т.е.:

- в социальной сфере формируются требования к уровню, качеству и безопасности жизни ЛОГ, мирового сообщества в целом и его членов в частности;

- в экономической сфере внедряются *высокие технологии* производства востребованной продукции в необходимом и достаточном объёме требуемого качества;

- в экологической сфере устанавливаются предельные возможности планеты и её регионов по удовлетворению потребностей социума и экономической сферы;

- СНБ отвечает за создание благоприятных условий во внешней и внутренней среде ЭВиЭО объекта, его СИБ в интересах внедрения формы хозяйствования 5С;

- СИБ обеспечивает свою ИБ и ЭВиЭО объекта в рассматриваемом контексте, аспектах и условиях при наличии угроз хищения, разрушения и модификации информации с критическими и/или неприемлемыми последствиями.

2. К высоким относят наукоёмкие, экологически чистые, диверсифицированные

безотходные производства готовой продукции мирового уровня конкурентоспособности.

3. К высоким технологиям ИИПЗ ЭВиЭО объектов будем относить технологии, которые базируются на форме хозяйствования 5С и методологии управления циклами ИИПЗ на основе количественных и качественных оценок защищённости объектов, глобальной оптимизации её обеспечения.

- в интересах сохранения лидерства в условиях состязательности с конкурентами – наступательные стратегии обороны и укрепления, ответного удара и демонстрации силы, дифференциации и интеграции (сетизации), оптимизации затрат и лидерства по издержкам – всё в комплексе с оборонительной стратегией «снятия урожая» (рис.2 и его аналоги с учётом данных табл.;

- в интересах поддержания стратегического паритета с конкурентами в режиме динамического равновесия – сочетание вышеназванных комплексов стратегий с наступательными стратегиями узкой специализации, экспорта и оптимизации затрат в комплексе с оборонительными стратегиями сокращения невостребованных бизнес-единиц и реинжиниринга действующих бизнес-единиц, востребованных в рамках нового инновационно-инвестиционного проекта (фаза консолидации, рис. 2);

- в интересах предупреждения предкризисных ситуаций, банкротства и летального исхода ЭВиЭО объекта, его СИБ – стратегии антикризисного управления по ситуации и результатам на основе совмещения фаз консолидации и трансформации с целью формирования комплекса наступательно-оборонительных стратегий, гарантирующих устойчивость развития ЭВиЭО объекта в режиме стратегического паритета и динамического равновесия с конкурентами (штрих на рис.2), как минимум, в рассматриваемых аспектах (в контексте табл.). Создание себе конкурентных преимуществ в интересах последующего выхода на лидирующие позиции и/или абсолютного превосходства.

В). Ввести принцип технико-экономической целесообразности выбора антикризисных мер, методов и систем защиты информации, базирующихся на известных законах и закономерностях. Критерии их оптимизации в этом случае аналогичны известным в антикризисном управлении на основе инноваций [13].

С). Принцип последовательных уступок и равенства целесообразно усовершенствовать и привести в виде:

- последовательных справедливых относительных суммарных уступок, согласно [2] в интересах определения допустимой, критической и/или их неприемлемой цены в возможных значениях показателей защищённости ЭВиЭО объекта, его СИБ от угроз нарушения их ИБ;

- принципа квазиравенства в интересах обоснования допустимой, критической и/или неприемлемой нечёткости (т.е. неопределённости)

границ между двумя соседними значениями возможных состояний защищённости объекта. Фактически здесь речь идёт о допустимых, критических и/или неприемлемых уровнях информационных рисков, их последствий и порождающих их причинах, как следствия, адекватных им ошибок лицами, принимающими решения.

Д). Принцип максимального приближения к реальности целесообразно заменить принципом необходимого и достаточного приближения реально достижимого и потенциально возможного к необходимому. Его следует комплексировать с принципом гарантированного уровня развития образования, науки, техники и технологий по проблеме в интересах «прорыва» на перспективных направлениях стратегических позиций в инновационно-инвестиционном пространстве.

Е). Принцип гибкого приоритета целесообразно ассоциировать в контексте:

- прямой исторический ход в фазе эволюции – необходимое и достаточное приближение реально достижимого к потенциально возможному и необходимому (модернизации в рамках нового поколения продукции, реинжиниринг);

- обратный исторический ход в фазе скачка («прорыва») – необходимое и достаточное приближение реально достижимого «И» потенциально возможного к необходимому.

Согласно проведенным выше исследованиям принятый комплекс принципов оптимизации имеет следующие преимущества.

1. Выделение в качестве главного критерия вероятности достижения генеральной цели – безопасное и устойчивое (антикризисное) развитие ЭВиЭО объекта, его СИБ, позволяет рассматривать его как сложную функцию, аргументами которой являются:

- вероятность своевременного получения меры качественной информации, необходимой и достаточной для адекватной реакции на изменения ситуации в контексте «цель – ситуация – проблема – решение – побочные эффекты» и «действие – противодействие – ответные меры и т.д.»;

- вероятность разрешения информационного конфликта, возникающего в процессе состязательности ЭВиЭО объекта, его СИБ с конкурентами в условиях информационной войны между ними;

- вероятность обеспечения требуемого уровня защищённости ЭВиЭО объекта от угроз нарушения его ИБ с критическими и/или неприемлемыми последствиями, т.е. исходами противоборства сторон на политической арене и состязательности с конкурентами в условиях информационной войны с ними.

Вероятности, как известно, являются безразмерными величинами, которые меняются в пределах [0 – 1] и легко трансформируются в % отношения от 0% до 100%. В результате

автоматически осуществляется нормализация главного и локальных критериев.

2). В интересах применения стратегий по обеспечению заданных требований целесообразно исследование по проблеме ИБ ЭВиЭО объекта вести на логико-математических моделях (ЛММ) табл.2 по логическим схемам «ИЛИ – И», «И – ИЛИ – И». Они базируются на SWOT анализе ЭВиЭО объекта, его СИБ: первая в отсутствие адекватной реакции на угрозы нарушения их ИБ, вторая – в условиях такой реакции на основе инноваций. Ведя такие исследования на предложенной системе моделей

взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды объекта с помощью принятой системы координат и измерительных шкал, мы получаем главный критерий в безразмерной форме, как сложную функцию безразмерных аргументов.

Разрешая логико-аналитические выражения главного критерия относительно его аргументов, устанавливаем требования к области определения аргументов, исходя из требований к области определения вероятности достижения генеральной цели ЭВиЭО объекта.

Таблица 2

ЛММ противоборства конкурирующих сторон: статика

Модель состояний внешней среды ЭВиЭО объекта, его СИБ	Модель градации состояний ЭВиЭО объекта	Модель состояний внутренней среды ЭВиЭО объекта, его СИБ
$1 = \sum_{i=1}^I P_i$ , где $i = 1 \dots I$ – текущий номер конкурентов (их коалиции) $P_i = \begin{cases} \prod_{j=1}^J P_{ij} & \text{«И» - слабая коалиция} \\ 1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{ij}) & \text{«ИЛИ - И»} \\ [1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{ij})] \cdot \prod_{q=1}^Q P_{iq} & \text{сильная коалиция} \end{cases}$ «И – ИЛИ – И» – есть угрозы устойчивости коалиции, где $j = 1 \dots J$ – текущий номер участника коалиции;	$P_A + P_B = 1$ Абсолютное превосходство $0,7 \leq P_{гц} \leq 1$ Лидерство: $0,5 \leq P_{гц} \leq 0,7$ Напряжённость: $0,3 \leq P_{гц} \leq 0,5$ Стратегический паритет: $0,3 \leq P_{гц} \leq 0,7$ Банкротство: $0 \leq P_{гц} \leq 0,3$	$P_{гц} = \sum_{n=1}^N P_n$ , где $n = 1 \dots N$ – текущий номер партнера по деловой сети ЭВиЭО объекта $P_n = \begin{cases} \prod_{m=1}^M P_{nm} & \text{«И» - слабая сеть} \\ 1 - \prod_{m=1}^M (1 - P_{nm}) & \text{«ИЛИ - И»} \\ [1 - \prod_{m=1}^M (1 - P_{nm})] \cdot \prod_{l=1}^L P_l & \text{сильная сеть} \end{cases}$ «И – ИЛИ – И» – есть угрозы устойчивости деловой сети, где $m = 1 \dots M$ – текущий номер партнера $l = 1 \dots L$ – текущий номер вновь принимаемого партнера
$P_{гц}$ - вероятность достижения генеральной цели ЭВиЭО объекта, его СИБ Все вероятности – сложные функции меры получаемой информации		

В простейшем случае, воспользовавшись принципом квазиравенства в ЛММ табл.2, трансформируем произведения в степенные функции и, разрешая полученные формулы относительно аргументов, получаем требования к области их определения. Например, для схемы «ИЛИ – И» получим:

$$P_n = \sqrt[3]{1 - P_{гц}} \quad (6)$$

где  $P_{гц}$  - функция меры информации, необходимой и достаточной для принятия адекватных решений по ситуации и результатам в

интересах достижения и сохранения заданного состояния защищённости ЭВиЭО объекта от угроз нарушения его ИБ с критическими и/или неприемлемыми последствиями.

3. В интересах введения градаций таких состояний в контексте «уровень защиты – стандарты качества» воспользуемся следующими приёмами:

- введём нормальный закон распределения вероятностей с центральной симметрией, определим координаты особых точек в графиках плотности распределения вероятностей в статике и распределения вероятностей в динамике;

- установим эталонные значения градаций: предельные значения  $P_{ГЦ} = [0, 1]$ , начало отсчета  $P_{ГЦ} = 0,5$  и границы перехода ЭВиЭО объекта, его СИБ из одного состояния в другое в области «упущенная выгода», «причиненный ущерб»  $P_{ГЦ} = 0,75 \pm 0,05$  и  $P_{ГЦ} = 0,25 \pm 0,05$ , соответственно;  $P_{ГЦ} = 0,5 \pm 0,05$  – область перехода от одного вида ущерба к другому;

- сопоставляя их с международными и национальными стандартами качества продукции, устанавливаем границы перехода от одного её сорта к другому.

В реально складывающейся обстановке в условиях информационной войны вероятней всего придётся иметь дело с низкой насыщенностью полезной информации во входных и/или выходных информационных потоках. Это ассоциируется с искажениями закона распределения вероятностей достижения целей ЭВиЭО объекта, его СИБ. Эмпирически установленные закономерности таких искажений по ситуации и результатам позволяют установить отклонения от принятых эталонных значений количественных и качественных характеристик «имя состояния – область определения вероятности достижения цели». Такие отклонения рассматриваются как погрешности (допустимые, критические, неприемлемые), количественные и качественные значения которых ассоциируются по результатам их максимального асимптотического приближения к вполне

определённому виду закона распределения из числа известных.

Тогда диспропорции между эталонными значениями и значениями параметров закона установленного вида рассматриваются как погрешности, которые соответствуют вполне определённой пересортице, согласно принятым градациям [3]. Возникает проблема адекватности реакции на допустимые, критические, неприемлемые информационные риски, их последствия. Её решение носит концептуальный характер по ситуации и результатам в реально складывающейся и прогнозируемой геополитической, др. обстановке XXI века.

Фактически предложен процесс формирования общего (универсального) раздела научно-НМО программы исследований ИБ ЭВиЭО объекта, его СИБ на основе использования полученных выше результатов. Его дальнейшее усовершенствование и развитие неизбежно связано со спецификой природы объекта, его масштабами и сложностью структурных связей, детерминированностью и цикличностью процессов на различных этапах жизненного цикла, их информационной обеспеченностью. Решение такой задачи выходит за рамки данных исследований. Однако следует рассмотреть реальную возможность и целесообразность применения на практике предложенного НМО программы исследований ИБ ЭВиЭО объекта его СИБ в интересах адекватной реакции на угрозы нарушения устойчивости его развития в заданном контексте, аспектах и условиях.

## Библиография

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации: утв. Президентом РФ 9 сентября 2000 г., № Пр-1895 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html>.
2. Леонов П.М. Характеристика сложного военного объекта (аэродрома) как объекта мониторинга и диагностирования // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. - 2015. - № 6. - С. 35-40.
3. Жидко Е.А. Логико вероятностно-информационный подход к моделированию информационной безопасности объектов защиты: монография / Е.А. Жидко. - Воронеж. гос. арх-строит. ун-т. - Воронеж, 2016. - 123 с.
4. Жидко Е.А., Кирьянов В.К. Формирование системы координат и измерительных шкал для оценки состояний безопасного и устойчивого развития хозяйствующих субъектов / Е.А. Жидко, В.К. Кирьянов // Инженерные системы и сооружения. - 2014. - № 1 (14). - С. 60-68.
5. Жидко Е.А. Научно-обоснованный подход к классификации угроз информационной безопасности // Информационные системы и технологии. - 2015. - № 1 (87). - С. 132-139.
6. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Информационная и интеллектуальная поддержка управления развитием социально-экономических систем // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2014. - № 10 (93). - С. 12-19.

## References

1. Doktrina informacionnoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: utv. Prezidentom RF 9 sentyabrya 2000 g., № Pr-1895 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html>.
2. Leonov P.M. Karakteristika slozhnogo voennogo ob"ekta (aehrodroma) kak ob"ekta monitoringa i diagnostirovaniya // FEHS: Finansy. EHkonomika. Strategiya. - 2015. - № 6. - S. 35-40.
3. ZHidko E.A. Logiko veroyatnostno-informacionnyj podhod k modelirovaniyu informacionnoj bezopasnosti ob"ektov zashchity: monografiya / E.A. ZHidko. - Voronezh. gos. arh -stroit. un-t. Voronezh, 2016. 123 s.
4. ZHidko E.A., Kir'yanov V.K. Formirovanie sistemy koordinat i izmeritel'nyh shkal dlya ocenki sostoyanij bezopasnogo i ustojchivogo razvitiya hoz'yajstvuyushchih sub"ektov / E.A. ZHidko, V.K. Kir'yanov // Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. - 2014. - № 1 (14). - S. 60-68.
5. ZHidko E.A. Nauchno-obosnovannyj podhod k klassifikacii ugroz informacionnoj bezopasnosti // Informacionnye sistemy i tekhnologii. - 2015. - № 1 (87). - S. 132-139.
6. ZHidko E.A., Popova L.G. Informacionnaya i intellektual'naya podderzhka upravleniya razvitiem social'no-ehkonomicheskikh sistem // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2014. - № 10 (93). - S. 12-19.

7. Сазонова, С.А. Управление гидравлическими системами при резервировании и обеспечении требуемого уровня надежности / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2016. - №1(16). - С. 43-45.
8. Саркисян С.А., Лисичкин В.А., Минаев Э.С. и др. Теория прогнозирования и принятия решений / С.А. Саркисян, В.А. Лисичкин, Э.С. Минаев. - М.: Высшая школа, 1977.
9. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента. - М.: ГУ-ВШЕ, 2000. - 688 с.
10. Грабауров В.А. Информационные технологии для менеджеров. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 368 с.
11. Ефремов В.С. Стратегическое планирование в бизнес-системах. - М.: Издательство «Финпресс» 2001. - 240 с.
12. Сазонова, С.А. Оценка надежности работы гидравлических систем по показателям эффективности / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2016. - №1(16). - С. 37-39.
13. Валдайцев С.В. Антикризисное управление на основе инноваций: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. - 232 с.
7. Sazonova, S.A. Upravlenie gidravlicheskim sistemami pri rezervirovanii i obespechenii trebuemogo urovnya nadezhnosti / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij. - 2016. - №1(16). - S. 43-45.
8. Sarkisyan S.A., Lisichkin V.A., Minaev E.H.S. i dr. Teoriya prognozirovaniya i prinyatiya reshenij / S.A. Sarkisyan, V.A. Lisichkin, E.H.S. Minaev. - M.: Vysshaya shkola, 1977.
9. Bazhin I.I. Informacionnye sistemy menedzhmenta. - M.: GU-VSHE, 2000. - 688 s.
10. Grabaurov V.A. Informacionnye tekhnologii dlya menedzherov. - M.: Finansy i statistika, 2001. - 368 s.
11. Efremov V.S. Strategicheskoe planirovanie v biznes-sistemah. - M.: Izdatel'stvo «Finpress» 2001. - 240 s.
12. Sazonova, S.A. Ocenka nadezhnosti raboty gidravlicheskih sistem po pokazatelyam ehffektivnosti / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij. - 2016. - №1(16). - S. 37-39.
13. Valdajcev S.V. Antikrizisnoe upravlenie na osnove innovacij: Uchebnoe posobie. - SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2001. - 232 s.

## PRINCIPLES OF OPTIMIZATION FOR ESTIMATING THE STATES OF THE SAFE AND SUSTAINABLE (CRISIS) DEVELOPMENT OF ECONOMICALLY IMPORTANT AND ECOLOGICALLY DANGEROUS OBJECTS

*The article discusses the possibility of using optimization principles for the formation of scientific and methodological support of the research program of information security of economically important and ecologically dangerous objects, their information security systems based on a common algorithm and a common scale for assessment of state of sustainability of their development in the context of the confrontation between the Contracting parties in the political arena, and competition between them in the socio-ecologo-economic aspect in the information war.*

**Keywords:** Information security, principles of optimization, ecological and economic aspects.

**Жидко Е.А.,**  
к.т.н., доцент,  
Воронежский государственный технический университет,  
Россия, г. Воронеж  
т. 89103454613, e-mail: [lenag66@mail.ru](mailto:lenag66@mail.ru)

**Zhidko E.A.,**  
candidate of technical sciences, associate professor,  
Voronezh State Technical University,  
Russia, Voronezh.

**Леонов П.М.,**  
доцент,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
Россия, г. Воронеж,  
т. 89518541767,  
e-mail: [rodichi\\_ru@mail.ru](mailto:rodichi_ru@mail.ru)

**Leonov P.M.,**  
assistant professor,  
VUNTS VVS "The Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin "  
Russia, Voronezh.

## О РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНО-УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РУКОВОДСТВА ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

*О.С. Малютин*

*В статье рассматриваются проблемы создания системы автоматизации административно-управленческих функций руководства пожарно-спасательных подразделений. Показан текущий уровень развития системы управления пожарно-спасательными подразделениями и информационных технологий, предназначенных для ее автоматизации. Описаны предпосылки к созданию комплексных систем автоматизации. Раскрываются сдерживающие создание и внедрение подобных систем в деятельность ГПС МЧС России силы и предлагаются способы их преодоления. В заключении приводится оценка положительного эффекта от внедрения в деятельность подразделений современных методов управления, основанных на комплексном применении специального программного обеспечения для автоматизации административно-управленческой деятельности руководства.*

**Ключевые слова:** пожарная охрана, информационные технологии, программное обеспечение, ЭВМ, управление, автоматизация, информационная среда.

### **Введение**

В настоящее время происходят серьезные преобразования человеческого общества, связанные с электронной революцией. Среди прочего это приводит к появлению новых методов управления. Такие методы могут реализовываться как в виде конкретных программно-аппаратных комплексов, так и в виде новых подходов в управлении, связанных с использованием информационных технологий.

Система борьбы с пожарами в Российской Федерации традиционно считается консервативной. Несмотря на предпринимаемые после перехода государственной противопожарной службы в систему МЧС попытки ее реформирования, в целом методы управления ей мало изменились с 60-70-х гг. XX столетия. Однако в условиях, когда электронная революция кардинально меняет сами устои общества и государства, даже ГПС не может быть не затронута.

Появляющиеся принципиально новые методы управления уже изменили бизнес, активно меняют органы государственной власти. Вполне естественно, что меняется и пожарная охрана. Пока что этот процесс носит скорее частный характер – внедрение новых методов управления, построенных на информационных технологиях, осуществляется в основном на уровне крупных узлов управления, таких как ЦУКС. Однако и в обычных пожарно-спасательных подразделениях все активнее используются компьютерная техника, сети и всевозможные гаджеты. Но, в отличие от органов управления ГПС, централизованный системный подход в данной деятельности на данный момент отсутствует.

С другой стороны, в последнее время

наблюдается устойчивый рост объемов обрабатываемой в процессе деятельности пожарно-спасательных подразделений информации и расширение круга стоящих перед ними задач. Фактически подразделения сейчас находятся в состоянии так называемого второго информационного барьера, когда дальнейшее увеличение управленческого аппарата уже не дает повышения эффективности деятельности.

Между тем опыт создания и внедрения крупных корпоративных систем автоматизации управления показывает, что использование систем автоматизации в управлении позволяет радикально повысить эффективность системы управления и предприятия в целом. В случае с подразделениями ГПС внедрение подобных систем могло бы способствовать повышению эффективности системы управления, снижению материальных затрат и повышению качества выполнения стоящих перед ними задач по спасению человеческих жизней и защите имущества.

**Предпосылки к созданию системы автоматизации административно-управленческой деятельности ГПС.**

*Второй информационный барьер.*

Круг задач, стоящих перед пожарно-спасательными подразделениями (далее - ПСЧ), значительно расширился в последние десять лет. Если раньше он ограничивался тушением пожаров, то сейчас пожарные подразделения оказывают помощь населению в различных чрезвычайных ситуациях – реагируют на дорожно-транспортные происшествия, взрывы и обрушения, тушение лесных пожаров, привлекаются к формированию аэромобильных групп, занимаются пропагандой и т.д. Одновременно с этим усложнилась



организационная структура и нормативная база. При этом требования, предъявляемые обществом к качеству услуг по тушению пожаров, все время возрастают.

Рост требований и ответственности влечет за собой рост объемов обрабатываемой в деятельности подразделений информации, выраженной во всевозможных документах. Все большая нагрузка ложится на руководство ПСЧ. В то же время существующие тенденции говорят о том, что в ближайшей перспективе рост объемов информации, обрабатываемой в деятельности ПСЧ, продолжится.

Очевидно, что существующая система управления пожарно-спасательными подразделениями, сформировавшаяся еще в конце прошлого века, не в полной мере соответствует тем задачам, которые перед ней стоят в настоящее время. Дальнейшее ее реформирование в рамках существующих подходов к деятельности уже не принесет существенного результата, о чем говорит опыт последних пятнадцати лет, когда неоднократно предпринимались попытки по ее модификации (объединение пожарных и спасателей, введение в действие технического регулирования в области пожарной безопасности[1], формирование ЦУКС, изменения организационно-штатной структуры и т.д.), однако существенного эффекта так и не было достигнуто.

Такая ситуация характерна не только для пожарной охраны. С аналогичными проблемами уже давно столкнулись другие отрасли и отдельные предприятия, например, Министерство обороны РФ [2, с.16-26]. В теории автоматизированного управления ситуация, когда резервы традиционных приемов совершенствования системы управления — организация и социально-экономические механизмы — оказываются исчерпанными, называется *вторым информационным барьером* [3, с.24][4, с.9].

Причина такого явления — ограниченность интеллектуальных возможностей человеческого мозга. Поскольку все традиционные методы управления реализуются посредством человеческого ресурса, то очевидно, что верхний предел эффективности всей системы управления зависит от возможностей мыслительного аппарата человека[5, с.23].

*Бурное развитие информационных технологий.*

В настоящее время происходит бурное развитие информационных технологий. Одна из интерпретаций Закона Мура гласит, что производительность персональных компьютеров удваивается каждые 18 месяцев[6, с.2][7, с.18]. Но растут не только абсолютные показатели, развивается также и широта применения информационных технологий — на их основе создаются новые устройства, системы, методы работы. Сейчас, пожалуй, уже не осталось сфер деятельности человека, в которых так или иначе не были бы задействованы информационные технологии. Почти у каждого современного человека в личном пользовании имеется смартфон, планшет,

персональный компьютер, MP3-проигрыватель. Компьютерные сети объединили людей по всему миру. Благодаря возможностям Интернет мы получили доступ к огромному хранилищу данных, накопленных человечеством. Без использования возможностей информационных технологий немыслима современная экономка, промышленность, здравоохранение.

Система защиты общества от пожаров, являясь неотъемлемой частью современной цивилизации, просто не может остаться в стороне. Так или иначе информационные технологии будут внедряться в деятельности пожарно-спасательных подразделений. Вопрос в том, как будет организовываться это внедрение: будет оно носить стихийный или упорядоченный характер.

Уровень современного развития информационных технологий предоставляет возможности совершенствованию деятельности пожарно-спасательных подразделений, основанные на принципиально новых методах автоматизации работы.

*Наличие технической инфраструктуры.*

Еще одной очевидной предпосылкой к активному развитию информационных технологий в системе управления пожарно-спасательными подразделениями является степень их оснащения современными средствами ЭВМ и компьютерными сетями.

Наличие возможности создания информационных систем автоматизации само по себе не является достаточным условием для их успешной реализации. Вторым обязательным условием является наличие технической платформы для внедрения тех или иных информационных систем. Разработка программного обеспечения ЭВМ предполагает, что на предприятии, для которого оно разрабатывается, имеются ЭВМ, удовлетворяющие минимальным системным требованиям данного программного обеспечения.

В последние годы в МЧС России была создана всероссийская компьютерная сеть, охватившая почти все пожарно-спасательные подразделения.

В настоящее время осуществляющееся посредством этой сети взаимодействие заключается в основном в обмене почтовыми сообщениями.

Основными направлениями использования данной сети в настоящее время в основном являются:

- обмен почтовыми сообщениями;
- доступ к общим файловым ресурсам.

Реже осуществляется доступ к базам данных и веб-приложениям.

Даная компьютерная сеть идеально подходит для решения задачи автоматизации административно-управленческой деятельности пожарно-спасательных подразделений МЧС России.

Таким образом, можно выделить основные предпосылки к разработке КИС:

1 — проблема второго информационного барьера

2 – бурное развитие информационных технологий

3 – наличие технической инфраструктуры

### Сдерживающие силы

Внедрение новых методов работы – это всегда необходимость перестройки сложившегося уклада, слом работающей системы ради перспективы повышения эффективности, однозначно оценить которую можно только по результатам внедрения. Подобная работа неминуемо сталкивается с рядом проблем как объективного, происходящего извне, так и субъективного характера, касающегося внутренних обстоятельств деятельности организации.

1) Консерватизм системы управления ГПС.

Складывавшаяся годами система управления ГПС МЧС России во многом традиционна. Несмотря на появление в последнее время в пожарно-спасательных частях новых образцов пожарной техники, а также проводимые организационно-штатные мероприятия по оптимизации структуры МЧС России, в целом методы работы мало чем отличаются от сложившихся во второй половине XX века.

Продиктовано это двумя обстоятельствами: уникальностью специфики выполняемых функций и отсутствием естественной конкуренции.

ГПС – единственная структура государства, решающая задачи тушения пожаров. Она территориально охватывает всю страну и при этом управляется централизованно. Такая громоздкая и распределенная система очень неповоротлива в

отношении структурных изменений.

С другой стороны, задача обеспечения пожарной безопасности является одной из задач государства. Ее реализацией занимается исполнительная власть в лице МЧС России и больше никто. Таким образом, в системе обеспечения пожарной безопасности отсутствует конкуренция, которая могла бы стимулировать процессы совершенствования.

2) Низкий уровень компьютерной грамотности руководящего состава подразделений МЧС.

Опыт показывает, что уровень компьютерной грамотности руководящего состава подразделений в целом можно охарактеризовать как «низкий». Из проведенного в 2016 году анализа видно, что программные продукты, предназначенные для решения специфических задач, например САПР, графические редакторы, файловые менеджеры освоены слабо – большая часть опрошенных либо не знакомы с их функционалом вообще, либо навык работы с такими программами оценен как «Плохо». Приложения наиболее общего применения (MS Word, MS Excel) сотрудникам знакомы, однако в личном общении было установлено, что эффективно их использовать почти никто из опрошенных не умеет, – практически не используются никакие механизмы автоматизации. В результате даже те сотрудники, кто регулярно работает с ПЭВМ, в большинстве своем тратят на выполнение наиболее общих задач заметно больше времени, чем могли бы.

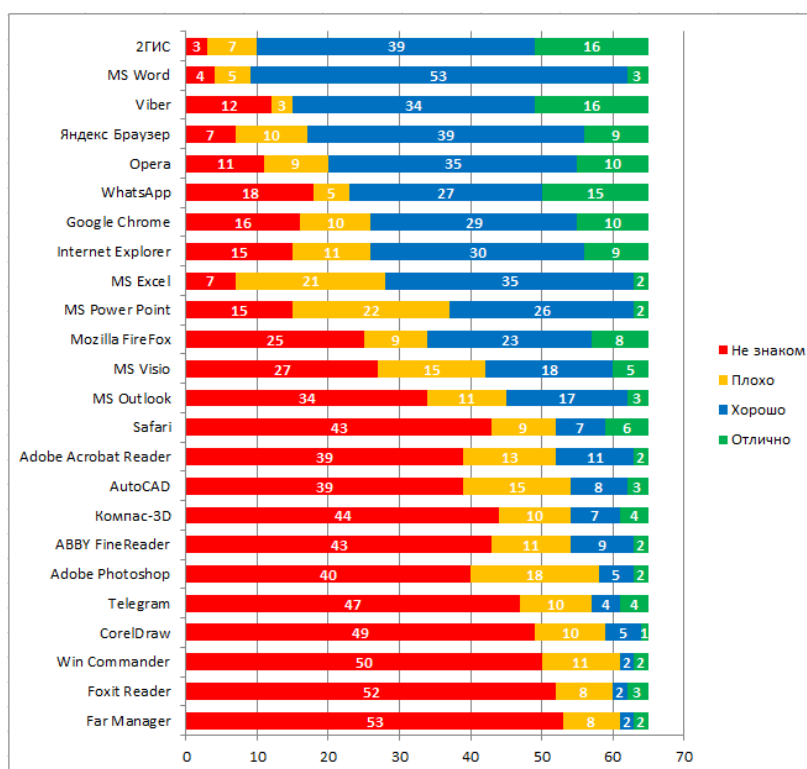


Рис. 1. Степень освоения некоторых видов программного обеспечения руководящим составом пожарно-спасательных подразделений (согласно результатам анкетирования)

Это же приводит и к слабому пониманию перспектив внедрения систем автоматизации административно-управленческой деятельности. Не имея четкого понимания возможностей современных информационных технологий, сотрудники не могут объективно оценить их потенциал в части автоматизации собственной деятельности. Причем имеет место как недооценка таких возможностей, так и переоценка – желание увидеть в СПО сверхмощный универсальный инструмент, способный одним нажатием кнопки радикально повысить эффективность деятельности пожарно-спасательных подразделений.

3) Руководство подразделений не стремится к внедрению систем автоматизации.

Низкий уровень компьютерной грамотности влечет за собой неприятие идей автоматизации со стороны руководящего состава подразделений – в первую очередь потенциальных пользователей. Преимущественно людей «пугает» необходимость обучаться новым методам работы.

Также многие руководители опасаются, что система будет не слишком гибкой при решении «спорных» ситуаций. Например, очень часто возникает необходимость внесения изменений в данные, внесенные ранее, – не понятно, кто будет иметь права изменения, – тот же пользователь, который вносил эти данные изначально, или пользователь, выполняющий функции контроля.

4) Высокая стоимость системы.

Анализ системы управления показал, что для построения системы автоматизации административно-управленческой деятельности ГПС потребуется разработка не менее 15 модулей программного средства, отвечающих каждый за одно из направлений деятельности подразделений, использующих в общей сложности порядка 150 информационных объектов. Разработка информационной системы подобного размера представляется весьма трудоемкой задачей, требующей привлечения значительного количества специалистов различных специальностей.

Очевидно, что трудозатраты, а следовательно, и стоимость разработки подобной системы будут значительными.

Но не достаточно просто разработать систему – необходимо ее затем еще и поддерживать, что также влечет за собой материальные траты.

5) Необходимость перестройки организационных основ деятельности ГПС.

В начале 2000-х годов силами сотрудников отдела информационных технологий ЦУС ГУ МЧС по Новосибирской области был разработан ряд программных решений для автоматизации оперативной деятельности гарнизона. Однако дальнейший опыт их внедрения в деятельность подразделений ГПС показал, что в условиях, когда программное обеспечение внедрялось, но функции подразделения, которые оно автоматизировало, параллельно продолжали выполняться с использованием старых методов, внедрение СПО не

только не приносило положительного эффекта в виде повышения производительности труда сотрудников, но наоборот, увеличивало объемы работы. Сотрудники были вынуждены помимо своей непосредственной работы, которую они и так выполняли, еще и выполнять действия, связанные с использованием СПО.

Приведенный пример наглядно показывает, что каким бы совершенным ни было программное обеспечение, его эффективное внедрение возможно только при условии изменения подходов к работе в самих подразделениях ГПС.

Отказ предприятия от проведения соответствующей реорганизации своих бизнес-процессов является одной из причин неудач при внедрении информационных систем. Однако автоматизация деятельности, которая до этого была заведомо не оптимальна, даст известный результат: «автоматизированный хаос» [10].

Учитывая тот факт, что деятельность подразделений регламентируется в первую очередь руководящими документами федерального уровня, очевидно, что быстро, легко и безболезненно для самих предприятий осуществить перестройку методов работы не возможно.

6) Необратимость внедрения.

Следствием необходимости перестройки организационных основ предприятия является необратимость данного процесса. Специальное программное обеспечение для автоматизации административно-управленческой деятельности подразделений после внедрения станет ключевым инструментом системы управления подразделением, на которую она будет опираться полностью. Во многом даже сам характер изменений определяется особенностями внедряемой системы. В случае возникновения проблем финансового или технического характера безболезненно для подразделений отказаться от системы будет невозможно.

Поэтому при разработке самой системы и мероприятий по ее внедрению необходимо учитывать, что поддержка и развитие системы должны осуществляться в любых условиях функционирования ГПС.

7) Необходимость постоянной поддержки.

Также крайне важно понимать, что система автоматизации административно-управленческих функций подразделений должна устойчиво поддерживаться и развиваться. В случае если система будет разрабатываться сторонними разработчиками, возможна ситуация, когда организация-разработчик по тем или иным причинам прекратит выполнять свои функции – например, прекратит свое существование, либо истечет срок контракта. Тогда осуществлять техническую поддержку станет просто некому. Даже если сразу же будет найдена новая организация, ей может потребоваться время на то, чтобы разобраться в новой для них системе.

8) Наличие информации, требующей защиты.

Одной из особенностей системы автоматизации административно-управленческой деятельности является повсеместное использование персональных данных личного состава, которые согласно Федеральному закону «О персональных данных» от 27.07.2010 №152ФЗ являются закрытыми для публичного доступа [8].

Помимо этого часть используемой информации может касаться вопросов, отнесенных к категории государственной тайны. Например, данные о источниках наружного противопожарного водоснабжения [9, п.42.1.].

Таким образом, еще одним важным аспектом, который необходимо учитывать при разработке системы автоматизации

административно-управленческих действий, является наличие информации, требующей защиты от несанкционированного доступа.

#### Способы преодоления сдерживающих факторов.

Исходя из перечисленных проблем внедрения системы автоматизации административно-управленческой деятельности подразделений ГПС, можно определить ряд мероприятий, предназначенных для их преодоления.

Наиболее оптимальным способом решения проблем, связанных с необратимостью внедрения и необходимостью постоянной поддержки, представляется создание собственного органа, осуществляющего поддержку системы автоматизации административно-управленческой деятельности.

Таблица 1

*Пути преодоления сдерживающих факторов*

Сдерживающие силы	Пути преодоления
Консерватизм системы управления ГПС	Внедрение передовых методов управления, обновление кадрового состава, распространение передового опыта, привлечение сторонних специалистов, командировки сотрудников в другие регионы/страны
Низкий уровень компьютерной грамотности	Повышение качества обучения в области ИТ, демонстрация преимуществ автоматизации, распространение передового опыта в области ИТ
Руководство подразделений не стремится к внедрению систем автоматизации	Демонстрация пользы от внедрения в первую очередь для пользователей, стимуляция к развитию сотрудников в сфере ИТ
Высокая стоимость системы	Разработка компенсирующих мероприятий, снижение стоимости за счет оптимизации процесса разработки и внедрения, постепенное внедрение модулей системы
Необходимость перестройки организационных основ деятельности ГПС	Разработка организационных мероприятий по оценке необходимости реорганизации, подготовка соответствующих руководящих документов с учетом существующей системы управления и оптимальных направлений по ее совершенствованию, оценка необходимых мероприятий по изменению системы управления с точки зрения их необходимости
Необратимость внедрения	Создание органа, осуществляющего контроль за внедрением и функционированием системы
Необходимость постоянной поддержки	
Наличие информации требующей защиты	Разработка системы ограничения прав доступа к информации, разработка системы защиты от несанкционированного доступа

Внедрение передовых методов управления заключается в поиске новых, более оптимальных подходов к реализации подразделениями ГПС своих функций. Использование таких инструментов управления, как автоматизированные системы управления (АСУ), автоматизированные рабочие места (АРМ), корпоративные информационные системы (КИС) предоставит руководству пожарно-спасательных подразделений новые, более гибкие и современные методы управления, что неизбежно приведет к необходимости развития и совершенствования всей

системы управления в целом.

*Обновление (омоложение) кадрового состава.*

Одной из ключевых проблем, приводящих к консерватизму системы управления, является устоявшийся коллектив руководителей. Как правило, руководители подразделений надолго задерживаются в своих должностях, что приводит к стабильности. Их кругозор постепенно ограничивается, а перечень инструментов руководителя фиксируется. Начальникам подразделений гораздо проще

использовать уже имеющиеся в их распоряжении, проверенные методы управления, нежели пытаться освоить новые, эффективность которых может вызывать сомнения. Чем дольше руководитель находится на одном и том же месте, тем более «стационарны» его навыки в области управления. С одной стороны, это хорошо, поскольку делает систему управления подразделениями понятной и предсказуемой, с другой, не позволяет эффективно осваивать новые методы управления.

Кроме того, коллектив руководителей, объединенный в рамках одного отряда, гарнизона, главного управления и т.д., также способствует формированию менталитета руководителя. Каждый отдельно взятый руководитель оказывает влияние на коллектив в целом и при этом подвергается влиянию коллектива.

Обновление кадрового состава, заключающееся как в повышении молодых сотрудников, так и в привлечении сотрудников, до этого занимавшихся другими видами деятельности, позволит привнести в систему управления новые методы управления. «Свежий взгляд» позволяет выявить слабые стороны системы управления и способы их преодоления, в том числе и с использованием принципиально новых подходов к деятельности системы управления.

#### *Распространение передового опыта.*

Поскольку система управления – это всегда коллектив, то для преодоления в ней консервативных тенденций обязательным условием является распространение передового положительного опыта деятельности. Необходимо показывать членам коллектива руководителей, что новые методы управления могут дать существенный положительный эффект в результате их внедрения.

Для распространения может служить как работа на общих собраниях коллектива (ШПОМ, совещания, коллегии и т.д.), так и распространение различных материалов, касающихся результатов внедрения передового опыта, – отчеты о внедрении, видеоматериалы, статьи в средствах массовой информации.

#### *Привлечение сторонних специалистов.*

Одним из действенных методов преодоления консерватизма в системе управления можно назвать внесение новых методов управления извне. Зачастую руководство подразделений может просто не знать об опыте применения современных методов управления. Для ознакомления с такими методами может применяться приглашение сторонних по отношению к системе управления специалистов в качестве консультантов. Это могут быть как люди, вообще не относящиеся к системе МЧС России, так и сотрудники других подразделений, не входящих в систему управления, в которую они приглашены.

К первым можно отнести различных бизнес-тренеров, работников других ведомств, ученых и специалистов организаций, не относящихся к системе МЧС России.

Ко второй группе приглашаемых

специалистов можно отнести представителей пожарно-спасательных подразделений из других регионов, сотрудников вузов и научных организаций системы МЧС России и так далее.

В качестве положительного примера внесения сторонних новых знаний в систему управления пожарно-спасательными подразделениями можно привести вышедшую в 2016 году книгу «Пожарная разведка: тактика, стратегия, культура». Автор – Н.А. Кабелев, инструктор 246-го пожарного подразделения 14-го батальона округа Уэстчестер, Нью-Йорк. В книге он предлагает принципиально новые для отечественной системы управления тушением пожара методы работы газодымозащитников при проведении разведки. Книга вызвала высокий интерес как среди руководства, так и среди рядовых сотрудников пожарной охраны России. В настоящее время ряд подразделений Москвы и Санкт-Петербурга проводят апробацию изложенных методик в практической деятельности пожарной охраны Российской Федерации [11].

#### *Командировки сотрудников в другие организации, регионы или страны.*

Аналогичным предыдущему мероприятием является направление сотрудников в сторонние организации для ознакомления с передовым опытом работы.

#### *Повышение качества обучения в области ИТ.*

Очевидно, что в процессе подготовки специалистов для экстренных служб вопросы образования в сфере ИТ стоят далеко не на первом месте, так как не имеют прямого отношения к выполнению сотрудниками своих основных функций. В программе подготовки таких категорий сотрудников, как пожарные, водители, командиры отделений и помощники начальников караулов, изучение информационных технологий вообще отсутствует. В программе подготовки диспетчеров и радиотелефонистов информационные технологии изучаются только в рамках изучения дисциплины «Связь в пожарной охране». Только при подготовке специалистов по программам специального образования начинают изучаться информационные технологии.

Между тем повышение качества подготовки в области ИТ крайне важно для эффективного внедрения систем автоматизации в деятельность пожарно-спасательных подразделений. Это не означает, что необходимо готовить программистов. Но существенно повысить уровень знаний сотрудников в области ИТ принципиально важно, так как без этого сложно добиться понимания принципов эффективного использования систем автоматизации административно-управленческой деятельности.

Достичь этого можно как совершенствованием процесса подготовки в учебных заведениях, так и подготовкой сотрудников на рабочих местах, в рамках учебного процесса.

#### *Демонстрация преимуществ*

*автоматизации.*

Поскольку для успешного внедрения любой новой технологии важно видеть результаты работы, то крайне необходимым направлением повышения уровня компьютерной грамотности сотрудников ГПС является доведение до руководителей и личного состава подразделений результатов и преимуществ использования систем автоматизации административно-управленческих функций.

*Демонстрация пользы от внедрения в первую очередь для пользователей.*

Важно не просто донести до личного состава важность внедрения информационных технологий, важно показать, чем именно внедрение системы автоматизации может помочь в работе каждому отдельно взятому пользователю. Сотрудник должен видеть, что внедрение ИТ – это не просто прихоть руководства, это насущная необходимость. Сотрудник должен знать, что внедрение ИТ облегчит в первую очередь его работу. Если внедрение ИТ будет осуществляться не «из под палки», а по желанию сотрудников, то этот процесс будет протекать существенно быстрее и эффективнее.

*Стимуляция к развитию сотрудников в сфере ИТ.*

Помимо демонстрации выгод от внедрения в деятельность ИТ, эффективным методом повышения заинтересованности личного состава подразделений является стимулирование в виде поощрений в материальной или иной форме. Например, степень овладения ИТ может учитываться при подведении итогов конкурса «Лучший по профессии».

*Разработка компенсирующих мероприятий, снижение стоимости за счет оптимизации процесса разработки и внедрения.*

С целью снижения себестоимости разрабатываемой системы необходимо провести комплекс мероприятий, направленных на снижение материальных издержек, связанных с разработкой. В этой связи необходимо:

- оценить объем работ с целью исключить разработку элементов системы, не являющихся жизненно-необходимыми для функционирования системы;

- снизить объем работ, связанный с внешней привлекательностью решения, ограничившись требованиями эргономики;

- по возможности использовать бесплатные сторонние платформы разработки и библиотеки;

- провести расчет экономического эффекта от внедрения системы и на основе этого определить допустимую её себестоимость.

*Поэтапное внедрение модулей системы.*

Для снижения разовых затрат имеет смысл внедрять систему поэтапно, в соответствии со специально разработанным графиком внедрения.

*Разработка организационных мероприятий по оценке необходимости и возможности реорганизации.*

Поскольку внедряемая система принципиально изменяет существующие методы

административно-управленческой деятельности, встает вопрос о реорганизации самой системы управления. Но система защиты от пожаров в Российской Федерации имеет централизованную организацию на федеральном уровне, поэтому внедрение подобной системы неизбежно потребует изменения в руководящих документах.

Для этого необходимо тщательно оценить перечень требуемых изменений. Оценку необходимо проводить на основе глубокого всестороннего системного анализа рабочих процессов, протекающих в системе управления пожарно-спасательными подразделениями.

В рамках данного направления необходимо провести следующие мероприятия:

- обобщить информацию об особенностях функционирования системы управления пожарно-спасательными подразделениями и их реализации в рамках информационной системы;

- определить области системы управления на предмет необходимости внесения изменений для корректного применения системы автоматизации;

- оценить возможность внесения изменений в организацию системы управления пожарно-спасательных подразделений;

- определить возможность внесения изменений в руководящие документы ГПС.

*Подготовка соответствующих руководящих документов с учетом существующей системы управления и оптимальных направлений по ее совершенствованию.*

С учетом проведенного анализа необходимо разработать проект изменений в руководящие документы, позволяющих корректно внедрить систему автоматизации, не вызывая конфликтов между ней и системой управления подразделениями.

*Оценка необходимых мероприятий по изменению системы управления с точки зрения их необходимости.*

Поскольку перестройка организационных основ деятельности ГПС – крайне деликатная задача, требующая скрупулезного изучения и осторожного подхода, важно трезво оценить объем изменений, чтобы минимизировать затраты и связанные с внедрением риски. Излишние изменения, не касающиеся принципиальных вопросов разработки и внедрения системы автоматизации, необходимо либо исключить, либо заменить их другими, менее требовательными в части изменений мероприятиями.

*Создание органа, осуществляющего контроль за внедрением и функционированием системы.*

Поскольку очевидно, что система автоматизации административно-управленческих функций подразделений ГПС требует как довольно длительной разработки, так и последующей технической поддержки системы, представляется необходимым создание в системе ГПС соответствующего органа, ответственного за обеспечение функционирования системы.

В коммерческих организациях для решения

данной проблемы широко используется практика создания специальных ИТ-отделов, занимающихся технической поддержкой. В случае с ГПС такой отдел должен подчиняться непосредственно руководству Министерства – центральному аппарату МЧС России.

В функции такого подразделения должно входить не только разработка и поддержка системы автоматизации, но и поддержка всего комплекса ИТ-решений для подразделений пожарной охраны, разработанных как в нем самом, так и сторонними разработчиками. Кроме того, это подразделение должно решать вопросы интеграции различных ИТ-систем в единую систему ГПС МЧС России.

*Разработка системы ограничения прав доступа к информации.*

Поскольку часть информации, обращающейся в рамках системы, носит конфиденциальный или даже секретный характер, принципиально важным представляется необходимость разработки системы (модуля) администрирования прав доступа. В задачи данной системы входит обеспечение корректного доступа

пользователей системы автоматизации к информации в соответствии со своими уровнями доступа.

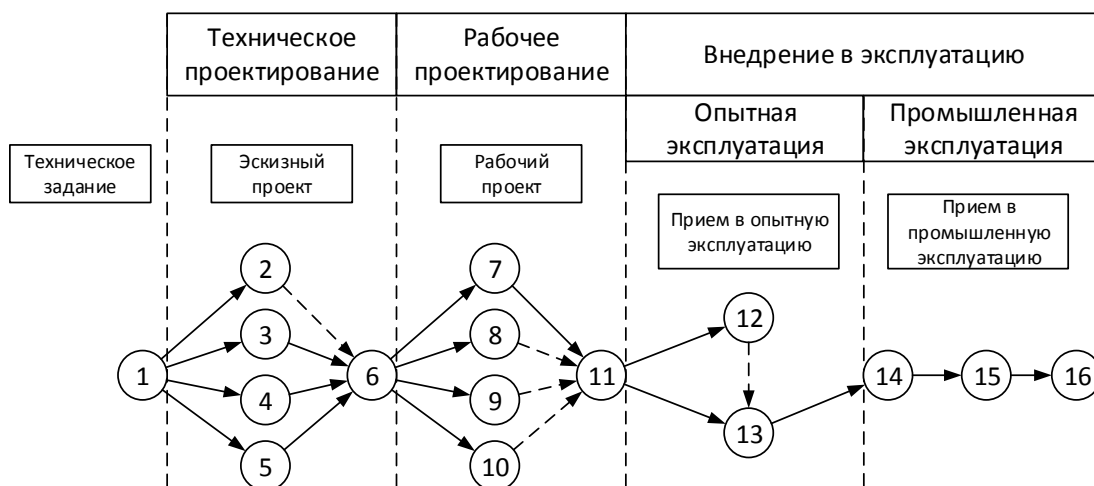
*Разработка системы защиты от несанкционированного доступа.*

Также крайне важно при разработке системы автоматизации административно-управленческих функций обеспечить безопасность самой системы от несанкционированного доступа к информации извне (взлома). Данная проблема должна решаться:

- программно, при разработке самой системы;
- с использованием специальных программных и технических средств защиты;
- организационными методами.

**Предполагаемый порядок внедрения системы автоматизации административно-управленческой деятельности.**

Этапы разработки удобно иллюстрировать в виде сетевых графиков, в которых кружки отражают события, а стрелки — действия (процессы, операции). Подробный сетевой график может содержать до тысячи операций, поэтому рассмотрим укрупненный сетевой график (рис. 2.)



**Рис. 2.** Укрупненный сетевой график внедрения системы автоматизации административно-управленческой деятельности

Операция (1)>(2) — эскизное проектирование системы. Этот этап имеет место только при проектировании систем, не имеющих аналогов. Основные цели эскизного проектирования: проинформировать руководство о возможных проектных решениях, подготовить сотрудников организации заказчика к переобучению, уточнить требования к структуре системы и ее обеспечивающим подсистемам. Наличие альтернативных вариантов при эскизном проектировании обязательно.

Операция (1)>(3). Специализированные группы ведут разработку одной или нескольких функциональных подсистем (перечень задач, их постановка, алгоритмизация, информационный базис и т. п.).

Операция (1)>(4) - обоснование и выбор комплекса технических средств.

Операция (1)>(5) - предварительный расчет

экономической эффективности.

Событие (6) - работа всех групп сводится к выпуску технического проекта, его корректировке, согласованию, утверждению.

Операция (6)>(7) - разработка и отладка рабочих программ.

Операция (7)>(11) - связная отладка комплексов программ по задачам.

Операция (6)>(8) - разработка и выпуск инструкций по эксплуатации технических средств.

Операция (6)>(9) - разработка и выпуск рабочих инструкций персоналу автоматизированной системы.

Операция (6)>(10) - уточненный расчет экономической эффективности.

Событие (11) - выпуск рабочего проекта.

Операция (11)>(12) - Если технические средства были подготовлены заранее, то проводится опытная эксплуатация системы, если нет, то

операция (11)>(13) - монтаж и отладка технических средств.

Операция (13)>(14) - опытная эксплуатация системы на подготовленных средствах.

Операция (14)>(15) - передача в промышленную эксплуатацию.

Операция (15)>(16) - возможна частичная модернизация и доработка системы [3. с.55-57].

Все вышеперечисленные мероприятия могут повторяться несколько раз для «доводки» системы.

#### Оценка результатов

Немаловажным аспектом проекта внедрения является оценка результатов проведённых работ, подробный анализ которых может дать ответ на природу возникших затруднений, а полученный опыт может быть применён как на этом же предприятии в случае новых изменений, так и на похожих предприятиях.

На наш взгляд, возникновение подобных проблем обусловлено тремя группами причин, а именно:

1. Причины, связанные возможностями и конфигурацией КИС.
2. Причины, связанные с компетентностью внедренческой команды.
3. Причины, связанные с предприятием, на котором происходит внедрение [12, с. 68].

#### Заключение

В заключение можно привести ключевые факторы, определяющие успех внедрения системы автоматизации административно-управленческих функций:

- Четкое понимание руководством ГПС МЧС России целей и задач, для осуществления которых внедряется система. Необходима, в том числе, четкая политика руководства в области информационных технологий.

- К созданию и внедрению системы автоматизации должны привлекаться специалисты не только организации, занимающейся разработкой, но и со стороны ГПС (руководство структурных подразделений, отделов главных управлений,

руководство среднего звена, личный состав, который будет и т. д.), то есть потенциальных пользователей, а не только специалистов по автоматизации.

- Руководство должно быть готово к проведению реорганизации своих управленческих функций. Более того, оно должно понимать важность этого процесса и быть в нем заинтересовано.

- Все участники проекта автоматизации подразделений ГПС МЧС России должны правильно понимать свою роль и место в данном процессе. Кроме того, необходима единая политика разработки, которая описывала бы однозначное понимание целей и задач системы всеми участниками.

- В процессе создания системы автоматизации необходимо избегать реализации неприципиальных требований по доработке.

- Процесс внедрения обязательно должен включать этап опытной эксплуатации. При этом опытная эксплуатация должна проводиться с поэтапным расширением перечня вовлеченных элементов системы. Для начала необходима апробация одного-двух модулей системы в одном подразделении. По мере развития добавляются следующие модули. При этом оценивается в первую очередь взаимодействие модулей системы между собой. Когда система будет достаточно развита и «обкатана» в одном подразделении, необходимо переходить к распространению процесса опытной эксплуатации на несколько других подразделений. На этом этапе оценивается также и взаимодействие системы не только на уровне модулей, но и на уровне сочленения разных сегментов системы, функционирующих в различных подразделениях. Такой подход позволит относительно эффективно произвести процесс опытной эксплуатации и упростит переход к промышленной эксплуатации. Кроме того, в процессе опытной эксплуатации потенциальные пользователи смогут получить опыт работы с будущей системой и в дальнейшем распространить его на другие подразделения или регионы.

#### Библиография

1. Вичугова А., Единое информационное пространство предприятия: миф или реальность [электронный ресурс] // URL: <https://gridder.ru/technologies/computers/edinoe-informacionnoe-prostranstvo-predpriyatija-mif-ili-realnost/>, (дата обращения: 01.03.2017).
2. Копытко В.К., Шентура В.Н., Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации и возможные пути их решения // Военная мысль. - 2011. № 10. - С. 16-26.
3. Меньков А.В., Острейковский В.А. АСУ. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков – М.: ОНИКС, 2005.
4. Глушков В.М. Основы безбумажной

#### References

1. Vichugova A., *Edinoe informacionnoe prostranstvo predpriyatija: mif ili real'nost' [ehlektronnyj resurs]* // URL: <https://gridder.ru/technologies/computers/edinoe-informacionnoe-prostranstvo-predpriyatija-mif-ili-realnost/>, (data obrashcheniya: 01.03.2017).
2. Kopytko V.K., Shen тура V.N., *Problemy postroeniya edinogo informacionnogo prostranstva Vooruzhennykh Sil Rossijskoj Federacii i vozmozhnye puti ih resheniya* // *Voennaya mysl'*. - 2011. № 10. - S. 16-26.
3. Men'kov A.V., Ostrejkovskij V.A. *ASU. Teoreticheskie osnovy avtomatizirovannogo upravleniya* / A.V. Men'kov – М.: ONIKS, 2005.
4. Glushkov V.M. *Osnovy bezbumazhnoj informatiki*. - М., «Nauka», 1987.
5. Malyutin O.S. *Informacionnaya sreda požarno-*



информатики. - М., «Наука», 1987.

5. Мalyutin O.C. Информационная среда пожарно-спасательного подразделения / O.C. Мalyutin // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2017. - №1. - С.22-28. [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2017/v1/N4\\_9-12.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2017/v1/N4_9-12.pdf), свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

6. Moore Gordon E. No Exponential is Forever: But “Forever” Can Be Delayed!. International SolidState Circuits Conference (ISSCC) 2003[текст] / SESSION 1 / PLENARY / 1.1 (2003)

7. Мalyutin O.C. Современные информационные технологии в деятельности РСЧС / O.C. Мalyutin // Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2016. - №3. - С.18-23. Режим доступа: [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3\\_9-12.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf), свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

8. О персональных данных: Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 29.07.2017)

9. Об утверждении перечня сведений, отнесенных к государственной тайне: Указ Президента РФ от 30 ноября 1995 г. N 1203 (с изменениями и дополнениями)

10. Проблемы внедрения информационных технологий на предприятия различных форм бизнеса // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам XVIII студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. — М.: «МЦНО». — 2014 —№ 11(18) / [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/11\(18\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/11(18).pdf)

11. Кабелев Н.А. Пожарная разведка: тактика, стратегия, культура // Екатеринбург, «Издательство «Калан», 2016. - 348 с.

12. Фомин В.И. Экономика информационного бизнеса и информационных систем: учебное пособие. — СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета управления и экономики, 2014. — 248 с.

13. Проблемы внедрения информационных технологий на предприятия различных форм бизнеса // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам XVIII студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. — М.: «МЦНО». — 2014 —№ 11(18) / [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/11\(18\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/11(18).pdf)

spasatel'nogo podrazdeleniya / O.S. Malyutin // Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik. – 2017. - №1. - С.22-28. [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2017/v1/N4\\_9-12.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2017/v1/N4_9-12.pdf), свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

6. Moore Gordon E. No Exponential is Forever: But “Forever” Can Be Delayed!. International SolidState Circuits Conference (ISSCC) 2003[текст] / SESSION 1 / PLENARY / 1.1 (2003)

7. Malyutin O.S. Sovremennye informacionnye tekhnologii v deyatel'nosti RSCHS / O.S. Malyutin // Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik». – 2016. - №3. - С.18-23. Режим доступа: [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3\\_9-12.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf), свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

8. О personal'nyh dannyh: Federal'nyj zakon ot 27.07.2006 N 152-FZ (red. ot 29.07.2017)

9. Ob utverzhdenii perechnya svedenij, otnesennyh k gosudarstvennoj tajne: Ukaz Prezidenta RF ot 30 noyabrya 1995 g. N 1203 (s izmeneniyami i dopolneniyami)

10. Problemy vnedreniya informacionnyh tekhnologij na predpriyatiya razlichnyh form biznesa // Molodezhnyj nauchnyj forum: Tekhnicheskie i matematicheskie nauki: ehlekt. sb. st. po materialam XVIII stud. mezhdunar. zaochnoj nauch.-prakt. konf. — М.: «MCNO». — 2014 —№ 11(18) / [EHlektronnyj resurs] — Режим доступа. — URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/11\(18\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/11(18).pdf)

11. Kabelev N.A. Požarnaya razvedka: taktika, strategiya, kul'tura // Ekaterinburg, «Izdatel'stvo «Kalan», 2016. - 348 s.

12. Fomin V.I. EHkonomika informacionnogo biznesa i informacionnyh sistem: uchebnoe posobie. — SPb.: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta upravleniya i ehkonomiki, 2014. — 248 s.

13. Problemy vnedreniya informacionnyh tekhnologij na predpriyatiya razlichnyh form biznesa // Molodezhnyj nauchnyj forum: Tekhnicheskie i matematicheskie nauki: ehlekt. sb. st. po materialam XVIII stud. mezhdunar. zaochnoj nauch.-prakt. konf. — М.: «MCNO». — 2014 —№ 11(18) / [EHlektronnyj resurs] — Режим доступа. — URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/11\(18\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/11(18).pdf)

## ABOUT DEVELOPMENT OF SPECIAL SOFTWARE FOR FIRE-RESCUE UNITS OFFICERS MANAGEMENT FUNCTIONS AUTOMATION

*In paper considered problems of fire-rescue units management systems development. Showed modern progress rate of fire-rescue units management system and informational technologies aimed for one automation. Describes preconditions for automation systems development. Uncover deterrent forces of development and implementation such systems in fire-rescue units activities and showed kinds of it overcoming. In the conclusion showed positive mark of implementation in fire-rescue units modern management methods based on complex usage of special software for management activities automation.*

**Key words:** *Fire service, informational technologies, software, computers, management, automation, informational environment.*

**Малютин Олег Сергеевич,**

*научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности Научно-технического центра,*

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Железногорск,*

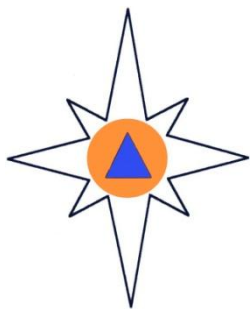
*e-mail: obsidian-pb@mail.ru,*

**Malyutin O.S.,**

*the scientific employee of the department of information support of the population and information support technologies of the ESES and fire safety of the Scientific and Technical Center,*

*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia,*

*Russia, Zheleznogorsk.*



## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОСТА РХБ НАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМЕ МЧС РОССИИ

*Н.В. Каменецкая, О.М. Медведева, С.Б. Хитов*

*Рассмотрена возможность применения методов теории массового обслуживания для оценки эффективности функционирования поста РХБ наблюдения при решении ряда задач радиационного, химического и биологического контроля. Определены показатели эффективности, сделаны расчеты, даны рекомендации на повышение эффективности работы поста в заданных условиях.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, система массового обслуживания, радиационная, химическая и биологическая защита, радиационное, химическое и биологическое наблюдение, радиационный, химический и биологический контроль, эффективность, оценка.

Эффективное применение сил и средств системы радиационной, химической и биологической (РХБ) защиты в системе МЧС России в существенной степени зависит от деятельности системы управления, связанной с разработкой оптимальных решений и планов [1]. Для решения возникающих при этом частных задач, связанных с обоснованием применительно к ожидаемым условиям обстановки, той или иной структуры и способов действий подчиненных сил и средств широко применяются методы теории принятия решений и исследования операций, включающие в том числе методы математического моделирования [2].

Одними из таких методов являются методы теории массового обслуживания [1, 3, 4, 5].

Основой применения методов теории массового обслуживания при моделировании является рассмотрение процесса функционирования исследуемых объектов в виде системы массового

обслуживания (СМО) – системы, характеризующейся наличием каналов обслуживания, потока заявок, а также очереди на обслуживание заявок со своей дисциплиной ожидания [6].

На практике зачастую возникают задачи, в которых исследуемая СМО представляет собой систему с последовательно расположенными средствами обслуживания разной производительности. Среди подобных СМО наиболее характерной является система, состоящая из двух последовательно расположенных средств.

Предположим, что рассматриваемые средства расположены на двух рубежах. Время обслуживания каждого средства будет являться случайной величиной, подчиняющейся показательному закону распределения. Производительность средств будет характеризоваться соответствующими параметрами  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , определяемыми по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{обс}}}; \quad (1)$$

где  $\bar{t}_{\text{обс}}$  – математическое ожидание времени обслуживания.

Допустим, что на первое средство поступает простейший поток объектов с интенсивностью  $\lambda$ . Объекты, не обслуженные первым средством ввиду его занятости, поступают для обслуживания на второе средство. Если оно свободно, то объект

обслуживается данным средством, в противном случае объекты остаются необслуженными.

Вероятности нахождения средств обслуживания в различных состояниях обозначим как:

$P_{00}$  – оба средства свободны от обслуживания;

$P_{10}$  – первое средство занято обслуживанием, второе свободно;

$P_{01}$  – первое средство свободно, второе занято обслуживанием;

$P_{11}$  – оба средства заняты обслуживанием.

Данные вероятности можно рассчитать [7]:

$$P_{00} = \frac{\mu_1 \mu_2 (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda^2 (\lambda + \mu_2)} P_{11}; \quad (2)$$

$$P_{10} = \frac{\mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda (\lambda + \mu_2)} P_{11}; \quad (3)$$

$$P_{01} = \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_2} P_{11}; \quad (4)$$

$$P_{11} = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 + \lambda(\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (5)$$

При этом вероятность  $P_{11}$  можно рассматривать как вероятность отказа в обслуживании:  $P_{11} = P_{отк}$ .

Кроме того, можно рассчитать коэффициенты:

– загрузки первого средства  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{\mu_1 [\lambda (\lambda + \mu_2) + \mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}{(\lambda + \mu_2) [\lambda (\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}; \quad (6)$$

– загрузки второго средства  $K_2$ :

$$K_2 = \frac{\mu_2 \lambda (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{(\lambda + \mu_2) [\lambda (\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}; \quad (7)$$

– коэффициент  $K$ :

$$K = \frac{K_1}{K_2} = \frac{\mu_1 (\lambda + \mu_2)}{\mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (8)$$

показывающий, во сколько раз сильнее загружено первое средство, чем второе.

Для достижения наивысшей эффективности функционирования такой СМО, состоящей из двух средств обслуживания разной производительности, первое средство должно иметь наиболее высокую производительность.

Рассмотрим задачу определения эффективности функционирования поста РХБ наблюдения (поста), разворачиваемого при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, как правило, на подвижном пункте управления главного управления МЧС России по субъекту РФ и решающего задачу РХБ контроля.

Предположим, что на посту находятся два дозиметриста с двумя приборами: один – для определения типа отравляющих веществ (ОВ), другой – для контроля степени радиоактивной зараженности вооружения и специальной техники (В и СТ).

Пусть на пост поступает поток зараженного В и СТ с плотностью  $\lambda = 0,5$  ед/мин. С учетом того что поступающая техника различна по виду и степени зараженности, каждый дозиметрист тратит на ее контроль в каждом случае разное время.

Допустим, что среднее время, затрачиваемое на определение типа ОВ, которым заражен поступающий объект,  $\bar{t}_{обс1} = 5$  мин, а среднее время контроля степени радиоактивной зараженности  $\bar{t}_{обс} = 2,5$  мин.

Если при поступлении очередного объекта В и СТ дозиметрист оказывается занят, то объект направляется на одну из специализированных площадок обработки. На посту же он получает отказ в обслуживании.

В отдельных случаях объекты не могут ждать начала обработки из-за недостатка времени и также получают отказ в обслуживании. В подобной ситуации подразделение может провести частичную специальную обработку В и СТ.

В указанных условиях требуется оценить эффективность функционирования двух последовательно работающих дозиметристов поста, а также определить производительность дозиметриста, необходимую для контроля не менее 80% объектов В и СТ.

Рассматривая пост как СМО, состоящую из двух средств обслуживания разной производительности – дозиметристов, применяя указанные выше формулы, можно рассчитать вероятность отказа в обслуживании для поступающих на пост В и СТ. Подставив значения:  $\lambda = 0,5$ ,  $\bar{t}_{обс1} = 5$ ,  $\bar{t}_{обс} = 2,5$  в формулу (5), получим:

$$P_{отк} = \frac{0,5^2}{0,5^2 + 0,5(0,2 + 0,4) + \frac{0,2 \cdot 0,4}{0,5 + 0,4} (2 \cdot 0,5 + 0,2 + 0,4)} = 0,36$$

Вероятность обслуживания найдем как:

$$P_{обс} = 1 - P_{отк} = 1 - 0,36 = 0,64.$$

Таким образом, в заданных условиях постом будет проконтролировано 64% зараженных объектов В и СТ.

При замене дозиметристов местами, т.е. в случае если первым поставить дозиметриста с большей производительностью ( $\bar{t}_{обс} = 2,5$  мин), получим вероятность проверки любого зараженного объекта  $P_{обс} = 0,66$ .

Сравнивая результаты расчетов, делаем вывод о том, что в случае указанной выше замены

будет проверено на 2% больше зараженных объектов В и СТ (66% против 64%).

Допустим, что в условиях производительности первого дозиметриста  $\bar{t}_{обс1} = 2,5$  мин, второго  $\bar{t}_{обс2} = 5$  мин, а также неизменном потоке зараженных объектов  $\lambda = 0,5$  ед/мин начальник поста решил заменить первого дозиметриста, имеющего низкую производительность, более опытным специалистом. Одновременно с его заменой принято решение повысить процент проверенных объектов В и СТ, доведя его до не менее чем 80% от общего числа.

В этих условиях возникает задача определения соответствующей производительности, которой должен обладать более опытный дозиметрист для обеспечения контроля не менее 80% поступающих на пост объектов В и СТ.

Для ее решения необходимо определить эффективность функционирования поста при различных значениях  $\bar{t}_{обс}$ .

Зададим ряд значений величины  $\bar{t}_{обс}$ : 2,5; 2,0; 1,67; 1,43; 1,25; 1,11, 1,0 и определим соответствующие вероятности  $P_{обс}$ . Результаты представим в таблице.

Таблица 1

Соотношение среднего времени и вероятности обслуживания объекта В и СТ

$\bar{t}_{обс}$	2,5	2,0	1,67	1,43	1,25	1,11	1,0
$P_{обс}$	0,66	0,7	0,74	0,77	0,79	0,81	0,84

На основании данных таблицы можно построить график зависимости  $P_{обс}$  от параметра  $\bar{t}_{обс}$ ,

по которому для значения  $P_{обс} = 0,8$  определить  $\bar{t}_{обс} = 1,177$  (рис.1). При этом  $\mu_1 = 0,85$ .

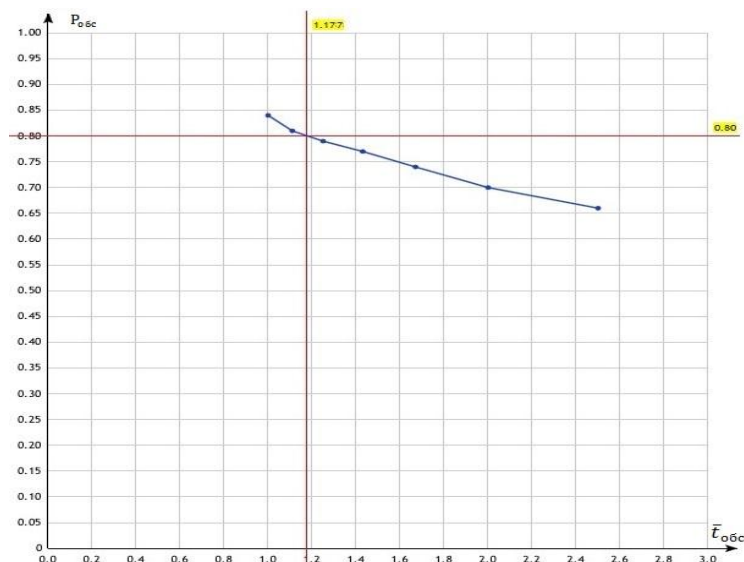


Рис.1. График зависимости  $P_{обс}$  от  $\bar{t}_{обс}$

Полученные расчеты показывают, что для обеспечения контроля не менее чем 80% зараженных объектов В и СТ дозиметриста с меньшей производительностью целесообразно заменить специалистом с производительностью  $\bar{t}_{обс1} = 1,177$

мин. При этом производительность второго дозиметриста должна быть  $\bar{t}_{обс2} = 5$  мин.

Определяя по формулам (6), (7) коэффициенты загрузки:

- для первого дозиметриста:

$$K_1 = \frac{0,85[0,5(0,5 + 0,2) + 0,2(0,5 + 0,85 + 0,2)]}{(0,5 + 0,2) \left[ 0,5(0,85 + 0,2) + \frac{0,85 \cdot 0,2}{0,5 + 0,2} (2 \cdot 0,5 + 0,85 + 0,2) \right]} = 0,79;$$

- для второго дозиметриста:

$$K_2 = 1 - K_1 = 1 - 0,79 = 0,21,$$

делаем вывод о том, что на долю первого дозиметриста приходится 79% проверенных объектов, на долю второго – 21%.

Таким образом, загрузка первого дозиметриста по отношению ко второму будет в 3,8 раза больше, из чего следует, что для проведения РХБ контроля объектов В и СТ на посту РХБ наблюдения первым необходимо ставить наиболее подготовленного специалиста.

**Библиография**

1. Каменецакая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Применение методов математического моделирования при решении задачи выявления и оценки радиационной, химической и биологической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации // Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2016. – № 2 (38). – С. 64-69.
2. Каменецакая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Комплексное использование методов исследования операций при обосновании управленческих решений в системе управления МЧС России // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 30. – С. 92-99.
3. Каменецакая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Математическое моделирование при решении задач обоснования структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2016. – № 1. – С. 62-67.
4. Малышев Д.А., Таранцев А.А. Моделирование работы диспетчерского пункта как системы массового обслуживания с «нетерпеливыми» заявками // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2014. – № 4. – С. 73-77.
5. Каменецакая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Модель расчета некоторых показателей эффективности функционирования производственно-технического центра МЧС России // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – № 2-2. – С. 39-44.
6. Волгин Н.С., Махров Н.В., Юровский Н.А. Исследование операций. - Л.: ВМА, 1981. - 605 с.
7. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. - М., Советское радио, 1969.

**References**

1. Kameneckaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B. *Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri reshenii zadachi vyyavleniya i ocenki radiacionnoj, himicheskoj i biologicheskoy obstanovki v zone chrezvychajnoj situacii* // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere»*. – 2016. – № 2 (38). – S. 64-69.
2. Kameneckaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B. *Kompleksnoe ispol'zovanie metodov issledovaniya operacij pri obosnovanii upravlencheskih reshenij v sisteme upravleniya MCHS Rossii* // *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike*. – 2016. – № 30. – S. 92-99.
3. Kameneckaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B. *Matematicheskoe modelirovanie pri reshenii zadach obosnovaniya struktury i organizacii funkcionirovaniya mobil'nogo gospihtalya MCHS Rossii* // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii»*. – 2016. – № 1. – S. 62-67.
4. Malyshev D.A., Tarancev A.A. *Modelirovanie raboty dispetcherskogo punkta kak sistemy massovogo obsluzhivaniya s «neterpelivymi» zayavkami* // *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii»*. – 2014. – № 4. – S. 73-77.
5. Kameneckaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B. *Model' rascheta nekotoryh pokazatelej ehffektivnosti funkcionirovaniya proizvodstvenno-tekhnicheskogo centra MCHS Rossii* // *Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologij*. – 2017. – № 2-2. – S. 39-44.
6. Volgin N.S., Mahrov N.V., YUrovskij N.A. *Issledovanie operacij*. - L.: VMA, 1981. - 605 s.
7. Novikov O.A., Petuhov S.I. *Prikladnye voprosy teorii massovogo obsluzhivaniya*. - M., Sovetskoe radio, 1969.

## **APPLICATION OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELING FOR ESTIMATION OF FUNCTION'S EFFICIENCY OF RADIATION, CHEMICAL AND BIOLOGICAL MONITORING POST IN SYSTEM OF EMERCOM OF RUSSIA**

*The possibility of using methods of the queueing system theory to evaluate the effectiveness of the radiation, chemical and biological monitoring post in solving a number of problems of radiation, chemical and biological control is considered in the issue. Performance indicators were determined, calculations were made, recommendations were given, and the efficiency of the post was improved in the given conditions.*

**Keywords:** *mathematics modeling, queueing system, radiation, chemical and biological protection, radiation, chemical and biological monitoring, radiation, chemical and biological control, efficiency, estimation*

**Каменецкая Наталия Владимировна,**

*к.т.н., доцент,  
профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов,  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
[natkam53@mail.ru](mailto:natkam53@mail.ru).*

**Kamenetskaya N.V.,**

*candidate of technical sciences, associate professor,  
Professor of the Department of Higher Mathematics and System Modeling of Complex Processes,  
St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, St. Petersburg.*

**Медведева Ольга Марленовна,**

*к.т.н.,  
доцент кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
[mom65@mail.ru](mailto:mom65@mail.ru).*

**Medvedeva O.M.,**

*Ph.D.,  
Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and System Modeling of Complex Processes  
St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, St. Petersburg.*

**Хитов Сергей Борисович,**

*преподаватель кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов,  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
[khitoff\\_s@mail.ru](mailto:khitoff_s@mail.ru).*

**Hitov S.B.,**

*Teacher of the Department of Higher Mathematics and System Modeling of Complex Processes,  
St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, St. Petersburg.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*О.Ф. Швецова, А.В. Кочегаров, М.А. Воронин*

*Приведен анализ территорий Тамбовской области, на которых могут возникнуть зоны подтопления. С учетом статистических данных проанализированы основные причины по населенным пунктам, которые подвергались затоплению (подтоплению) за последние 50 лет. Выявлено, что необходимо знать для адекватной оценки паводковой ситуации на территории Тамбовской области: запас воды в снежном покрове и его распространение по площади водосбора рек, интенсивность снеготаяния, степень влажности почв водосбора до выпадения первого снега осенью и глубина промерзания почв, количество осадков, выпадающих в период таяния снега, образование ледяной корки на снеге, толщина льда, образование заторов и зажоров.*

**Ключевые слова:** зоны подтопления, паводковая ситуация, расчет максимальных расходов дождевых паводков.

Защита населения и территории от ЧС природного, техногенного и иного характера является одной из важнейших функций государства. Она направлена на сохранение жизни и здоровья людей, окружающей среды и на сбережение материальных и культурных ценностей [1]. Чрезвычайные ситуации могут квалифицироваться по трем направлениями [2].

По территории Тамбовской области протекают 6 наиболее крупных рек, от которых могут возникнуть зоны подтопления, из них р. Цна (длина – 446 км), Лесной Воронеж (длина – 164 км), Польной Воронеж (длина – 178 км), Ворона (длина по Тамбовской области – 216 км), Лесной Тамбов (длина – 91 км), Битюг (длина по Тамбовской области – 99 км), Савала (длина по Тамбовской области – 119 км).

Основными водохранилищами, от которых может возникнуть зона подтопления, являются Шушпанское (полный объем – 7,39 млн куб. м), Ярославское (полный объем – 9,1 млн куб. м), Челнавское (полный объем – 8,0 млн куб. м), Кершинское (полный объем – 7,3 млн куб. м) водохранилища.

Паводкоопасный период на территории Тамбовской области приходится на третью декаду марта – первую, вторую декаду апреля.

С учетом итогов прохождения весеннего половодья прошлых лет и рисков нарушения жизнедеятельности населения области выявлено 11 наиболее опасных и сложных зон подтопления, из них:

7 зон подтопления от подъема воды и разлива рек области: г. Моршанск и Моршанский район (р. Цна); г. Уварово и Уваровский район (р. Ворона); г. Рассказово (р. Лесной Воронеж);

Мичуринский район (р. Польной Воронеж), Гавриловский район (р. Ворона); Кирсановский район (р. Ворона); Ржаксинский район (р. Ворона).

4 зоны подтопления от возможного прорыва водохранилищ: Никифоровский район (Ярославское водохранилище); Староюрьевский район (Шушпанское водохранилище); Бондарский район (Кершинское водохранилище); Тамбовский район (Челнавское водохранилище).

При наихудшем развитии паводковой обстановки, вызванной резким повышением уровня на водохранилищах и подъемом воды в реках области, в зону воздействия паводка при прохождении максимума может попасть 24 населенных пункта в 13 муниципальных образованиях, 746 жилых домов с населением 1576 человек (376 детей), 11 участков автодорог протяженностью 4,95 км, один мост местного значения, в том числе:

в зоне подтопления от прорыва водохранилищ (Шушпанское, Ярославское, Кершинское и Челнавское) - 12 населенных пунктов (с. Староюрьево, с. Редькино, с. Рахманино, с. Рогожкино, с. Подгорное, с. Ярославка, с. Дмитриевка, с. Пудовкин, с. Каверино, с. Роща, с. Керша, пос. «Госпитомник»), 278 жилых домов, 803 человека;

в зоне подтопления от подъема воды в реках области - 12 населенных пунктов (г. Моршанск – 3 улицы, г. Уварово – 2 улицы, г. Рассказово – частные дома на территории 2 улиц, с. Сокольники, с. Мутасьево, с. 1-ое Пересыпкино, с. Молоканщина, с. Ветровка, с. Коровинка, с. Перевоз, пос. Лесохимучасток, с. Редкий Куст), 468 жилых домов, 773 человека.



Статистические данные по населенным пунктам, подвергшимся затоплению (подтоплению) на территории субъекта федерального округа за последние 50 лет

№ п/п	Муниципальный район	год (период)	Водный объект	Показатели обстановки					
				Площадь затопления, км <sup>2</sup>	Подтоплено населенных пунктов, ед.	Нарушены условия жизнедеятельности населения, чел. (детей)	Подтоплено жилых домов, ед.	Подтоплено социально значимых объектов, ед.	Материальный ущерб, млн руб.
1	Тамбовская область		Данные о подтоплении на территории области до 2000 г. отсутствуют						
2.	Тамбовская область	2000-2002	Подтоплений не зарегистрировано						
3	Моршанский район	2003 1-5 апреля	р. Цна	0,6	2	52(13)	29	-	-
4	Тамбовская область	2004	Подтоплений не зарегистрировано						
5	Тамбовский район	2005	р. Цна	0,45	2	34 (11)	16	-	-
6	Гавриловский район	2005	р. Ворона	0,12	1	23 (7)	11	-	-
7	Мичуринский район	2005	р. Лесной Воронеж	0,3	1	41(11)	13	-	-
8	г. Моршанск	2006	р. Цна	0,78	1	142 (28)	12	-	-
9	Тамбовская область	2007-2011	Подтоплений не зарегистрировано						
10	г. Моршанск	2012	р. Цна	0,2	1	31 (8)	14	-	-
11	г. Уварово	2012	р. Ворона	0,7	1	78(25)	41	-	-
12	Моршанский район	2012	р. Цна	0,26	1	101 (-)	2	-	-
13	Кирсановский район	2012	р. Ворона	0,55	2	113 (25)	42	-	-
14	Уваровский район	2012	р. Ворона	0,7	1	82 (14)	46	-	-
15	г. Кирсанов	2013	р. Пурсовка	0,78	1	240/18	117	-	-
16	г. Уварово	2013	ручей Подгорный	0,86	1	328/31	42	-	-
17	Мичуринский район	2013	р. Лесной Воронеж	0,88	1	144/12	54	-	-
18	Тамбовский район	2013	Талые воды	0,32	1	52/11	5	-	-
19	Тамбовская область	2014	Подтоплений не зарегистрировано						
20	Тамбовская область	2015	Подтоплений не зарегистрировано						
21	Тамбовская область	2016	Подтоплений не зарегистрировано						
<b>Итого за Тамбовскую область:</b>				7,50	17	1753 (214)	446	-	-

Для адекватной оценки паводковой ситуации на территории Тамбовской области необходимо знать:

- запас воды в снежном покрове и его распространение по площади водосбора рек;
- интенсивность снеготаяния;
- степень влажности почв водосбора до выпадения первого снега осенью и глубина промерзания почв;
- количество осадков, выпадающих в период таяния снега;
- образование ледяной корки на снеге;
- толщина льда, образование заторов и зажоров.

По результатам мониторинга предпаводковой обстановки Тамбовской области после проведения последней снегомерной съемки, составляются следующие гидрологические прогнозы:

- уровня и расхода воды на реках;
- притока воды в водохранилища;
- даты наступления ледовых явлений;
- максимального уровня воды в половодье по гидрологическим постам;
- водности рек;
- даты вскрытия рек и освобождения льда на реках и водохранилищах.

Далее контролируются параметры: соблюдения собственниками гидротехнических сооружений и эксплуатирующими организациями норм и правил безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений, а также гидротехнических сооружений, полномочия по осуществлению надзора за которыми переданы органам местного самоуправления).

Вводятся и устанавливаются режимы эксплуатации ГТС в предпаводковый период:

- Отметку аномального подпорного уровня (НПУ) водохранилищ;
- отметка форсированного подпорного уровня (ФПУ) водохранилищ;
- отметка уровня минимального объема (УМО) водохранилищ;
- отметка предполагаемой сработки водохранилищ в предпаводковый период;
- фактический объем водохранилищ перед паводком, млн м<sup>3</sup>;
- объем сработки (резервный объем) водохранилищ перед паводком, млн м<sup>3</sup>;
- отметка уровня верхнего бьефа (ВБ) водохранилищ перед паводком.

Управление по охране окружающей среды и природопользованию Тамбовской области совместно с отделом водных ресурсов по Тамбовской области Донского бассейнового водного управления контролирует:

- фактический объем водохранилищ, млн м<sup>3</sup>;
- фактические отметки уровней верхнего и нижнего бьефа водохранилищ.

Администрации муниципальных образований с привлечением хозяйствующих субъектов ведут наблюдение и фиксируют следующие данные мониторинговых наблюдений:

- затопленные населенные пункты до улицы и отдельного дома включительно и количество проживающего в них населения, в том числе детей (также учитываются число жертв, количество раненых, количество оставшихся без крова);

затопленные участки местности и посевные площади (га);

подтопленные и затопленные объекты экономики и инфраструктуры муниципального образования (низководные мосты, участки железных и автомобильных дорог, объектов ЖКХ, линий электропередач и связи и пр.);

подтопленные территории населенных пунктов без выхода воды на земную поверхность, в которых были затоплены подвалы и другие заглубленные сооружения за счет подъема грунтовых вод;

разрушенные паводковыми водами мосты, плотины и запруды, в том числе факты каскадного разрушения плотин.

Основными задачами системы мониторинга и прогнозирования наводнений являются:

- оперативный сбор, обработка и представление в органы государственной власти всех уровней и органы местного самоуправления информации о потенциальных источниках гидрологических явлений;

- создание и поддержание банка данных по чрезвычайным ситуациям; прогнозирование возникновения, характера развития чрезвычайных ситуаций и их последствий;

- заблаговременная разработка состава и содержания мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций и смягчению их социально-экономических последствий [3].

Основной задачей при прогнозировании паводка является расчет прибывающей воды рек, а в частности, расход воды в реке до наступления наводнения (паводка) и высота подъема воды в реке при прохождении паводка.

Формула для расчета максимальных расходов дождевых паводков средних рек при наличии реки-аналога:

$$W_p = w_{p,a} \frac{\delta \delta_a}{\delta_a \delta_{2,a}} \left( \frac{S_a}{S} \right)^n S \quad (1)$$

где:

$W_p$  – максимальный паводочный расход воды Р%-ной обеспеченности (м<sup>3</sup>/с)

$w_p, w_{p,a}$  – максимальный модуль дождевого стока Р%-ной обеспеченности (м<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>) расчетной реки и реки аналога.

$S, S_a$  – площадь водосбора (км<sup>2</sup>) расчетной реки и реки аналога  $n$  – районный показатель редукации.

$\delta, \delta_a$  – коэффициент, учитывающий

снижение максимального расхода под влияние озер расчетной реки и реки-аналога.

$\delta_2, \delta_{2,a}$  – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода под влиянием болот расчетной реки и реки-аналога.

Таким образом, зная расход воды в реке до наступления наводнения (паводка) и высоту подъема воды в реке при прохождении паводка,

можно имитационно определить уровень подъема. При этом моделируя дальнейшие действия по согласованию с административным корпусом региона, субъекта или муниципалитета, наблюдение совместно с ГУ МЧС по Тамбовской области, выполнять контроль и реагирование сил по предупреждению и ликвидации ЧС.

#### **Библиография**

1. Законодательство Российской Федерации в области гражданской обороны, защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и обеспечения пожарной безопасности [Электронный ресурс] / Copyright, 2009-2016. Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/315/38553.php>.
2. Источники ЧС мирного времени. Основные понятия и классификация ЧС [Электронный ресурс] / Copyright, 2009-2016. Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/305/25159.php>.
3. Крупнейшие наводнения в России за последние 20 лет [Электронный ресурс] / МЧС России, 2011-2014. Режим доступа: <http://www.mchsmedia.ru/focus/item/5050678/5570154>.

#### **References**

1. *Zakonodatel'stvo Rossijskoj Federacii v oblasti grazhdanskoj oborony, zashchity ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera i obespecheniya pozharnoj bezopasnosti* [EHlektronnyj resurs] / Copyright, 2009-2016. *Rezhim dostupa:* <http://pandia.ru/text/77/315/38553.php>.
2. *Istochniki CHS mirnogo vremeni. Osnovnye ponyatiya i klassifikaciya CHS* [EHlektronnyj resurs] / Copyright, 2009-2016. *Rezhim dostupa:* <http://pandia.ru/text/77/305/25159.php>.
3. *Krupnejshie navodneniya v Rossii za poslednie 20 let* [EHlektronnyj resurs] / *MCHS Rossii, 2011-2014. Rezhim dostupa:* <http://www.mchsmedia.ru/focus/item/5050678/5570154>.

## **MODELING OF THE FREQUENCY SITUATION IN THE TERRITORY OF THE TAMBOV REGION**

*An analysis is given of the territories of the Tambov region, on which zones of flooding may occur. The main reasons for human settlements are analyzed, taking into account the statistics that have been flooded (flooded) over the past 50 years. It was revealed that in order to adequately assess the flood situation on the territory of the Tambov region, it is necessary to know: the water reserve in the snow cover and its distribution along the catchment area of the rivers, the intensity of snow melting, the moisture content of the catchment soils before the fall of the first snow in autumn and the depth of freezing of the soil, the amount of precipitation falling in the period of melting snow, the formation of an ice crust on the snow, the thickness of ice, the formation of congestion and gluttons.*

**Key words:** *flood zones, flood situation, calculation of maximum flood floods.*

**Швецова Ольга Федоровна,**

*Воронежский институт ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Воронеж,*

*телефон: 8-906-559-89-59*

*e-mail: olove1984@*

**Shvetsova O.F.,**

*Voronezh Institute of the State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Voronezh.*

**Кочегаров Алексей Викторович,**

*доктор технических наук, доцент*

*Воронежский институт ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Воронеж,*

*телефон: 8-903-850-55-59*

*e-mail: kochegarov77@*

**Kochegarov A.V.,**

*doctor of technical sciences, docent,*

*Voronezh Institute of the State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Voronezh.*

**Воронин Михаил Александрович,**

*Воронежский институт ГПС МЧС России,*

*Россия, Воронеж,*

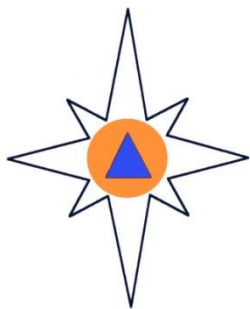
*телефон: 8-952-555-62-66*

*e-mail: michlene@*

**Voronin M.A.,**

*Voronezh Institute of the State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Voronezh.*



## ТРАНСПОРТ

УДК 004.94

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЦИСТЕРН ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*С.Г. Короткевич, В.А. Ковтун*

*Проведён анализ причин нахождения в ремонте пожарных автоцистерн. В результате было установлено, что одной из наиболее часто встречающихся проблем является нарушение герметичности ёмкости для жидкости. Были проанализированы существующие методики для проведения оценки напряжённно-деформированного состояния элементов и узлов конструкций оболочечного типа. В результате было установлено, что применение современных компьютерных программных комплексов позволяет наиболее эффективно проводить исследовательские расчёты. Путём использования программного комплекса ANSYS разработана конечно-элементная модель цистерны пожарного автомобиля. Проведены расчёты при различных эксплуатационных режимах движения. Проведение подробного анализа полученных результатов позволило разработать ряд конструкционных дополнений и изменений для повышения эксплуатационных характеристик и увеличения межремонтного периода, а также проводить проектные расчёты новых конструкций цистерн.*

**Ключевые слова:** автоцистерны, динамика, деформация, компьютерное моделирование, оптимизация конструкций.

**Введение.** Несмотря на постоянное совершенствование технологий изготовления ёмкостей для транспортировки жидкостей, применяемых на автотранспорте, существует ряд конструкционных недостатков, которые оказывают существенное влияние на напряжённно-деформированное состояние и являются концентраторами напряжений. При проектировании и производстве пожарных автоцистерн сложившаяся в настоящее время тенденция повышения полезного объема при одновременном снижении материалоемкости за счет использования тонкостенных конструкций приводит к существенному повышению уровня напряженного состояния конструкции. Наряду со сложностью форм и воздействий тонкостенные конструкции, как правило, отличаются еще и тем, что к ним предъявляются жесткие требования в отношении сочетания надежности и легкости. Вот почему расчет таких конструкций исключительно ответственен; вместе с тем он достаточно сложен. Этими обстоятельствами и объясняется то большое внимание, которое уделяется теории тонкостенных систем, методам их расчета и численной их

реализации. Необходимо также отметить, что вблизи мест соединения частей оболочек, а также других мест резкого изменения их формы имеет место значительная концентрация напряжений. Поэтому выбор мест установки рёбер жесткости, основанный на научно-исследовательских подходах, позволит значительно увеличить срок эксплуатации конструкции [1-2].

Обеспечение повышенных требований к прочности конструкции пожарной автоцистерны также обусловлено необходимостью следовать к месту вызова на пожар не только по асфальтированным, но и по просёлочным дорогам. Часто пожары возникают в лесах, кустарниках, торфяниках, подъезд к которым затруднён отсутствием ровного дорожного покрытия для такой крупногабаритной техники. В таких условиях при движении корпус испытывает осевые воздействия в различных направлениях, что передаёт значительные, не редко критические нагрузки на угловые места сварки конструкции цистерны. Устранение возникающих повреждений требует большого объёма подготовительных и ремонтных работ, которые ведут к простою

техники в течение продолжительного времени. Целостность резервуара, как основной составляющей конструкции по назначению при использовании пожарной автоцистерны, определяет постоянную готовность ее к боевому выезду.

Практически все пожарные автоцистерны Гомельского областного гарнизона, имеющие срок эксплуатации до 10 лет, смонтированы на базе шасси отечественного производства Минского автозавода. Был проведен анализ записей по количеству пожарных автоцистерн, находящихся в ремонте, в журнале по «Учёту технического обслуживания и ремонта техники» по Гомельской области в Производственно-техническом центре МЧС г. Гомеля за 2013-2016 гг. В результате было установлено, что порядка 22 % от всех эксплуатируемых в Гомельской области АЦ 5.0 на базе шасси 5337 2009-2014 года выпуска каждый год ремонтируются по причине нарушения герметичности ёмкости для жидкости. В данных моделях при эксплуатации начинают появляться трещины в местах соединения перегородок (волноломов) с оболочкой резервуара, а также угловых местах сварки.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что в существующих конструкциях не обеспечивается должным образом эксплуатационная надёжность автоцистерн, что приводит к значительному увеличению нагрузки на оболочку при различных эксплуатационных режимах. Таким образом, изучение и установление причин нарушения целостности оболочки цистерны, разработка новых конструкций или усиливающих конструктивных элементов является для пожарной аварийно-спасательной техники актуальным направлением.

#### **Методы проведения исследования.**

Актуальность задачи обеспечения прочности при проектировании конструкций оболочечного типа обуславливает широкое разнообразие методов оценки их напряженно-деформированного состояния. На данный момент выделяют следующие методы исследования напряженно-деформированного состояния:

- экспериментальные;
- аналитические;
- численный (метод конечных элементов).

Особенностью экспериментальных методов является необходимость проведения исследований непосредственно на образце конструкции; при поиске оптимальной конструкции зачастую требуется провести несколько экспериментов и измерений, что влечет за собой значительные затраты материальных ресурсов и времени; внесение любого изменения в объект требует изготовления нового образца изделия. Таким образом, данный метод длителен, трудоёмок и экономически не оправдан, что обуславливает необходимость рассмотрения альтернативных путей для исследования напряженно-деформированного

состояния конструкций ёмкостей для жидкости оболочечного типа.

Применение аналитических методов состоит в расчёте нагрузок, действующих на отдельные элементы, методами строительной механики и последующем решении основной задачи статики упругого тела. Прямая задача теории упругости состоит в определении девяти функций  $\sigma_{ij}(x_k)$  и  $U_i(x_k)$ , определяющих напряженно-деформированное состояние тела в зависимости от внешнего воздействия на него. Её принято решать, если за основные неизвестные функции, определяемые в первую очередь, принимаются либо перемещения  $U_i(x_k)$ , либо напряжения  $\sigma_{ij}(x_k)$  [3]. При решении прямой задачи в перемещениях все три компонента  $u_i$  вектора перемещения определяются из уравнений Ламе и системы уравнений граничных условий. Далее из дифференциальных зависимостей Коши определяются компоненты  $\varepsilon_{ij}$  тензора деформаций, а по уравнениям закона Гука находятся компоненты  $\sigma_{ij}$  тензора напряжений. При этом аналитическое определение напряжений наиболее эффективно для достаточно простых конструкций, таких как балки, фермы, пластины и т.д. Наличие препятствий, которыми и являются устройства гашения колебаний жидкости в емкости для жидкости, ведёт к образованию вертикальной неоднородности течения. Для решения задачи требуется применять численные методы с учётом наличия разрывных решений, обусловленных нелинейностью и гиперболичностью уравнений, или аналитические методы со специальными условиями, которые описаны в исследованиях различных учёных и, в основном, в линейной постановке с различными упрощениями в формулах [4-5].

Современные компьютеры дают возможность широкого использования численных методов определения напряжений и деформаций в элементах конструкций сложной формы. При построении количественной математической модели системы практически любого рода обычно начинают с установления поведения бесконечно малого (дифференциального) ее элемента на основании предполагаемых соотношений между главными переменными, характеризующими систему. Это приводит к описанию системы при помощи дифференциальных уравнений. Как только построена основная модель и выяснены свойства конкретного дифференциального уравнения, дальнейшие усилия направляются на получение решения уравнений в конкретной области, которая часто имеет очень сложную форму и состоит из различных сред, имеющих сложные свойства. На границах области задаются различные условия; они могут быть постоянными или меняться со временем и т.д. Поэтому не удивительно, что решение таких дифференциальных уравнений было основным делом аналитиков в течение более двух столетий. Наличие нерегулярных границ в

большинстве практических задач не позволяет построить аналитическое решение дифференциальных уравнений, и численные методы стали единственным возможным средством получения достаточно точных и подробных результатов.

Главное преимущество численных методов заключается в том, что они являются универсальными по отношению к вариациям исходной силовой и геометрической информации и позволяют быстро выполнять анализ воздействия разнообразных определяющих переменных (геометрических, нагружения, особенностей структуры и свойств) на состояние механической системы. Метод конечных элементов обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами анализа напряженно-деформированного состояния:

- широкий диапазон применимости (в отличие от аналитических методов, разработанных для прочностного анализа достаточно простых конструкций, метод конечных элементов позволяет осуществлять расчет деталей любых форм с учетом всех особенностей геометрии, наличия концентраторов напряжений и т.д.);
- легкость учета граничных условий и условий нагружения;
- экономия временных и материальных ресурсов, воспроизводимость эксперимента (по сравнению с экспериментальными методами исследования).

Таким образом, из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что проектные расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций емкостей для жидкости оболочечного типа целесообразно выполнять с использованием вычислительных конечно-элементных программных продуктов. Это обусловлено сложностью геометрии цистерны и

необходимостью учета нелинейных эффектов, связанных с пластическим деформированием материала, которые могут возникнуть при нагружении модели при задании различных эксплуатационных режимов.

**Создание расчётной компьютерной модели.** Цистерна (рис. 1) состоит из передней, задней, боковых, нижней и верхней стенок. К нижней стенке цистерны приварены два лонжерона и шесть кронштейнов с установленными резиновыми сайлентблоками. Внутри цистерны расположены рёбра жёсткости и волноломы. Цветными линиями отмечены места, подверженные появлению течи, в результате проведенного анализа ремонтируемых автоцистерн.

Для решения задачи применялся программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS. Построение расчетной схемы включает в себя следующие этапы:

- создание оболочечной модели цистерны;
- разбиение оболочечной модели на конечные элементы;
- задание свойств материала;
- определение условий нагружения и граничных условий для модели исследуемого объекта.

Для решения задач в области исследования напряженно-деформированного состояния конструкций оболочечного типа оптимальным решением формы элемента дискретизации был принят гексаэдр, это позволило ускорить процесс расчета, повысить его сходимость (точность) и устойчивость [6,7]. Выбор данного типа элементов обусловлен тем, что в нем предусмотрены возможности учета больших деформаций и напряжений. Построенная конечно-элементная модель (рис. 2) содержит 374849 узлов и 317603 элементов

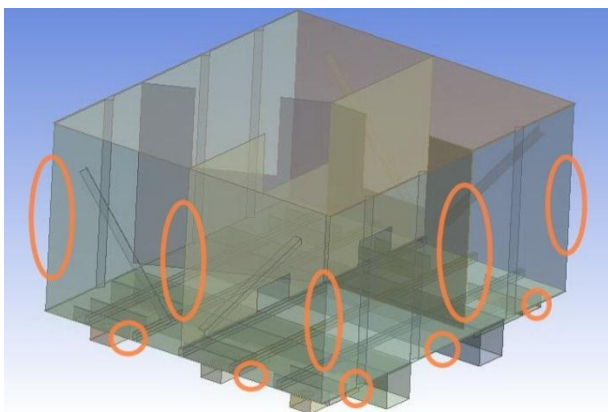


Рис. 1. Трехмерная геометрическая модель цистерны АЦ-5.0(5337)А2

Задание свойств материала осуществлялось на базе механических характеристик нержавеющей стали [8] толщиной 3 мм, из которой выполнена конструкция цистерны:

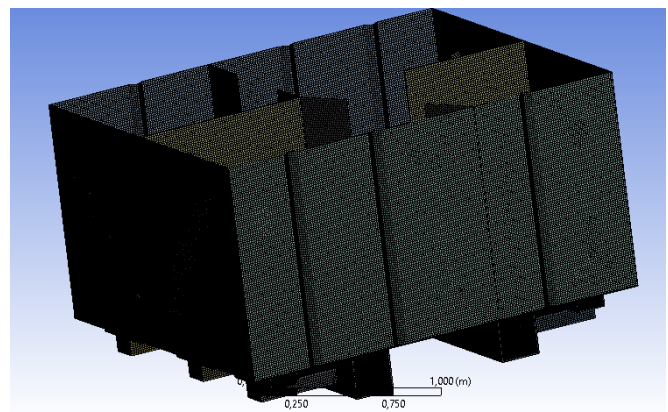


Рис. 2. Наложение сетки для проведения расчётов

- модуль упругости  $E = 206 \cdot 10^9$  Па;
- коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ;
- плотность  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>;
- предел текучести  $\sigma_T = 200$  МПа;



- предел прочности  $\sigma_g=530$  МПа.

В качестве нагрузок были рассмотрены 4 режима нагружения [9-11]:

- 1 режим движения (вертикальная сила =  $9.81 \cdot m$ , продольная сила =  $0.4 \cdot 9.81 \cdot m$ , действующая по ходу движения);

- 2 режим движения по дороге с неровностями (вертикальная сила =  $9.81 \cdot m$ , продольная сила =  $0.7 \cdot 9.81 \cdot m$ , действующая по ходу движения);

- 3 режим торможения (вертикальная сила =  $9.81 \cdot m$ , продольная сила =  $0.4 \cdot 9.81 \cdot m$ , действующая по ходу движения);

- 4 режим поворота налево с торможением (вертикальная сила =  $9.81 \cdot m$ , поперечная сила =  $0.4 \cdot 9.81 \cdot m$ , действующая направо, продольная сила =  $0.4 \cdot 9.81 \cdot m$ , действующая по ходу движения).

В таблице объединены результаты проведённых измерений при различных режимах моделирования движения.

Таблица

Сводные данные проведённых измерений

Режим		Значение, $\sigma_{\max}$ , МПа	Коэффициент запаса прочности, n
		Исходной конструкции	
1 режим	Угловые места сварки	72	2,36
	Место крепления волнолома	82	2,1
	Крепление уголка к стенке цистерны	70	2,42
	Крепления дна цистерны к боковой стенке	90	1,88
2 режим	Угловые места сварки	<b>138</b>	1,23
	Место крепления волнолома	<b>145</b>	1,17
	Крепление уголка к стенке цистерны	115	1,47
	Крепления дна цистерны к боковой стенке	<b>156</b>	1,08
3 режим	Угловые места сварки	118	1,44
	Место крепления волнолома	112	1,51
	Крепление уголка к стенке цистерны	104	1,63
	Крепления дна цистерны к боковой стенке	135	1,25
4 режим	Угловые места сварки	125	1,36
	Место крепления волнолома	128	1,32
	Крепление уголка к стенке цистерны	<b>131</b>	1,29
	Крепления дна цистерны к боковой стенке	146	1,16

После проведения расчёта максимальные эквивалентные напряжения на корпусе цистерны были зафиксированы при движении по дороге с неровностями (рис. 3, 4).

- в зонах А (угловые места сварки)  $\sigma_{\max} = 138$  МПа, коэффициент запаса прочности с учётом снижения механических характеристик от сварных швов  $n=1,23$ ;

- в зоне Б (волнолом к стенке цистерны)  $\sigma_{\max} = 145$  МПа, коэффициент запаса прочности с

учётом снижения механических характеристик от сварных швов  $n=1,17$ ;

- в зоне В (крепление уголка к стенке цистерны)  $\sigma_{\max} = 115$  МПа, коэффициент запаса прочности с учётом снижения механических характеристик от сварных швов  $n=1,47$ ;

- в зоне Г (крепления дна цистерны к боковой стенке)  $\sigma_{\max} = 156$  МПа, коэффициент запаса прочности с учётом снижения механических характеристик от сварных швов  $n=1,08$ .

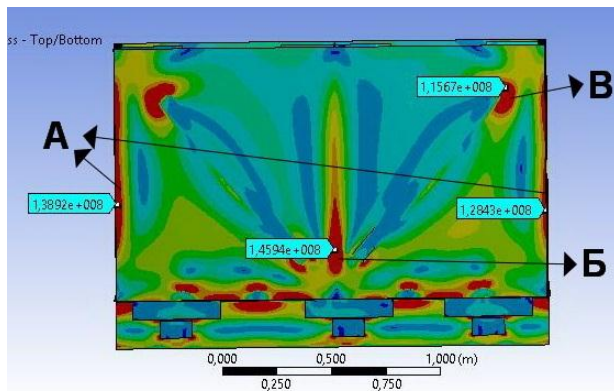


Рис. 3. Поля эквивалентных напряжений в конструкции (боковая сторона)

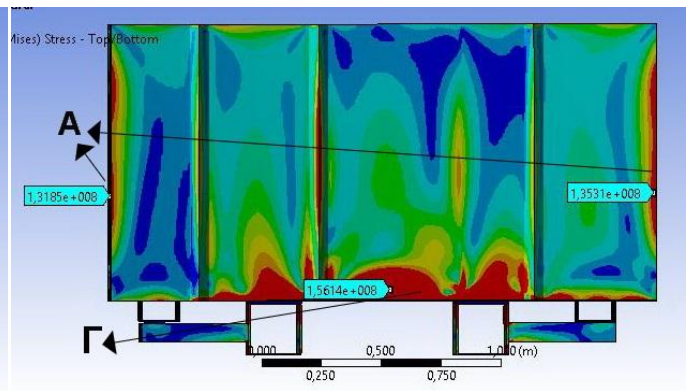


Рис. 4. Поля эквивалентных напряжений в конструкции (передняя сторона)



Согласно технической документации и производственным стандартам качества проектировщик в своих расчётах должен учитывать коэффициент запаса прочности, с учётом снижения механических характеристик от сварных швов, который для конструкций цистерн должен быть минимально равен 1,5 по отношению к гарантированному пределу прочности выбранного типа стали. В результате было установлено, что коэффициент надёжности в существующей конструкции при различных режимах эксплуатации оказался значительно ниже. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что при движении данной модели автоцистерны от воздействия возникающих нагрузок при попадании колесом на неровность, движении по пересечённой местности с большой скоростью или большими перепадами высот относительно корпуса автомобиля, будет происходить его значительная деформация с возможным повреждением целостности и герметичности.

Данная методика, основанная на научно-обоснованных подходах к прогнозированию состояния конструкций в пожарных автоцистернах, может быть использована для решения задач по повышению эксплуатационной надёжности для различных ёмкостей оболочечного типа. На основе подробного анализа результатов, проводимых с помощью компьютерного моделирования расчетов, возможно прогнозирование дефектов, возникающих при производстве и проектировании, проведение оценки срока эксплуатации конструкции. Кроме того, численное

моделирование позволяет разработать мероприятия по модернизации опор крепления и корпусов существующих и проектируемых конструкций.

**Заключение.** По результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведён анализ современных методов исследования напряженно-деформированного состояния конструкций ёмкостей для жидкости оболочечного типа, в результате которого было установлено, что численные подходы компьютерного моделирования методом конечных элементов обладают большей эффективностью в решении задач данного типа.

2. Разработана конечно-элементная модель для определения напряжённо-деформированного состояния ёмкости для жидкости пожарной автоцистерны. Анализ полей эквивалентных напряжений в конструкции показал области с максимальными значениями нагрузок. Полученные результаты отлично коррелируют с информацией о часто ремонтируемых местах, предоставленной производственно-техническим центром МЧС г. Гомеля, осуществляющим ремонт пожарных автоцистерн.

3. Представленные результаты исследований получены в области прочностных свойств оболочек и могут быть использованы при ремонте с целью оптимизации отдельных элементов конструкции ёмкостей для жидкости, а также при проектировании новых образцов спецтехники, в частности, цистерн пожарных автомобилей.

### Библиография

1. Головченко В.И. Основные положения расчета крепления цистерны к шасси автомобиля автотопливозаправщика / В.И. Головченко, Н.Л. Иванина // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. – №22. – С. 40-47.
2. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – Минск: Высшая школа, 1993. – 512 с.
3. Демидов С.П. Теория упругости / С.П. Демидов. – Москва: Высшая школа, 1979. – 432 с.
4. Биргер И.А. Сопротивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – Москва: Наука, 1986. – 560 с.
5. Богомаз Г.И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн / Г.И. Богомаз. – К.: Наукова думка, 2004. – 224 с.
6. Елисеев К.В. Вычислительный практикум в современных САЕ-системах / К.В. Елисеев, Т.В. Зиновьева // Компьютерное моделирование. – Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет, 2008. – С. 36–54.
7. ANSYS 10.0 Theory reference. ANSYS Inc., 2005.
8. Марочник стали и сплавов (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://splav-kharkov.com> – Дата доступа: 20.07.2017.
9. Бенерджи П.В. Методы граничных элементов в прикладных науках / П.В. Бенерджи, Р.И. Баттерфилд. – Москва: Мир, 1984. – 494 с.
10. Мяченков В.И. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / В.И. Мяченков [и др.] – Москва: Машиностроение, 1989. – 520 с.
11. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

### References

1. Golovchenko V.I. Osnovnye polozheniya rascheta krepneniya cisterny k shassi avtomobilya avtotoplivozappravshchika / V.I. Golovchenko, N.L. Ivanina // Vestnik NTU «HPI». – 2012. – №22. – S. 40-47.
2. Bezuhov N.I. Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti / N.I. Bezuhov. – Minsk: Vysshaya shkola, 1993. – 512 s.
3. Demidov S.P. Teoriya uprugosti / S.P. Demidov. – Moskva: Vysshaya shkola, 1979. – 432 s.
4. Birger I.A. Soprotivlenie materialov / I.A. Birger, R.R. Mavlyutov. – Moskva: Nauka, 1986. – 560 s.
5. Bogomaz G.I. Dinamika zheleznodorozhnyh vagonov-cistern / G.I. Bogomaz. – K.: Navukova dumka, 2004. – 224 s.
6. Eliseev K.V. Vychislitel'nyj praktikum v sovremennyh CAE-sistemah / K.V. Eliseev, T.V. Zinov'eva // Komp'yuternoe modelirovanie. – Sankt-Peterburgskij Gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet, 2008. – S. 36–54.
7. ANSYS 10.0 Theory reference. ANSYS Inc., 2005.
8. Marochnik stali i splavov (EHlektronnyj resurs) – Rezhim dostupa: <http://splav-kharkov.com> – Data dostupa: 20.07.2017.
9. Benerdzhii P.V. Metody granichnyh ehlementov v prikladnyh naukah / P.V. Benerdzhii, R.I. Batterfild. – Moskva: Mir, 1984. – 494 s.
10. Myachenkov V.I. Raschety mashinostroitel'nyh konstrukcij metodom ko-nechnyh ehlementov: Spravochnik / V.I. Myachenkov [i dr.] – Moskva: Mashino-stroenie, 1989. – 520 s.
11. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. ANSYS v rukah inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo. – M.: Editorial URSS, 2003. – 272 s.

## THE RESEARCH OF STRAIN-STRESS STATE OF FIRE APPARATUS TANKS CONSTRUCTION

*The analysis of reasons for the repair of fire apparatus was held. As a result, it turned out that one of the most common problems is the depressurization of the liquid container. The existing methods for assessing the stress-strain state of the shell-type elements and assemblies were analyzed. As a result, it was found out that the use of modern computer program systems allows conducting the most efficient research calculations. A finite element model of the fire apparatus was developed with a help of the ANSYS software complex. The calculations are carried out under various operating motion modes. The procedure of detailed analysis of the final results makes it possible to develop a number of structural additions and changes for improving merits and increase the interrepair time, and also allows conducting design calculations of new tank designs.*

**Keywords:** tank truck's, dynamics, deformation, computer modeling, research, engineering design, structural optimization.

**Короткевич Сергей Геннадьевич,**  
*преподаватель кафедры «Промышленная безопасность»,  
Университет гражданской защиты МЧС Беларуси,  
Республика Беларусь, г. Минск,  
e-mail: [korotkevichsergei@mail.ru](mailto:korotkevichsergei@mail.ru),*

**Korotkevich S.G.,**  
*Lecturer, Department of Industrial Safety,  
University of Civil Protection of EMERCOM of the Republic of Belarus,  
Republic of Belarus, Minsk.*

**Ковтун Вадим Анатольевич,**  
*д.т.н., профессор,  
профессор кафедры «Оперативно-тактической деятельности и техники»  
Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси,  
Республика Беларусь, г. Гомель  
e-mail: [yadimkov@yandex.ru](mailto:yadimkov@yandex.ru)*

**Kovtun V.A.,**  
*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor, Department of Operations and Tactics,  
Gomel affiliated Branch of the Civil Protection University of EMERCOM of Belarus,  
Republic of Belarus, Gomel.*

## ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

*А.А. Печурин, Д.В. Брусянин, А.И. Ситников, П.С. Куприенко*

*Приведен анализ применения электрогидравлического подъемно-транспортного оборудования для производства работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобильной техники. Приведены расчеты основных элементов конструкций электрогидравлических автомобильных подъемников.*

**Ключевые слова:** *подъемно-транспортное оборудование, электрогидравлические подъемники, конструкция.*

Конструкции современных базовых шасси пожарных автомобилей и существенные изменения в технологии технического обслуживания и ремонта автомобильной техники определяют необходимость проводимых мероприятий в обслуживающих технику организациях по совершенствованию производства, повышению эффективности работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Производственная база производственно-технологических центров (ПТЦ), автообслуживающих предприятий значительно улучшается с внедрением новых форм и методов технического обслуживания и ремонта, механизацией и автоматизацией производственных процессов с применением современного высокопроизводительного технологического оборудования и инструмента.

Одним из определяющих и эффективных средств, непосредственно влияющих на организацию и качественное выполнение работ по ТО и ремонту, повышение производительности труда на СТО, является широкое применение подъемно-транспортного оборудования. Необходимость совершенствования и разработки эффективных конструкций данного оборудования обусловлена возможностью значительного повышения производительности труда работ ТО и ремонта, по данным НИИАТа, до 25%.

Все более широкое применение в ПТЦ, в автообслуживающих организациях получают автомобильные подъемники, в сравнении с другими видами подъемно-осмотрового оборудования автомобильные подъемники характеризуются:

- достаточным доступом ко всем агрегатам, узлам и деталям автомобиля;
- повышением производительности труда в результате отсутствия подъемов-спусков (как у осмотровых канав);
- возможностью поднятия на любую высоту и установки автомобиля на любом высотном уровне;
- возможностью изменять технологический маршрут ТО и ремонта;
- обеспечением эргономических требований современного производства;

- обеспечением высокого уровня санитарно-гигиенических условий труда и мер безопасности производства работ.

Широкое применение в автообслуживающих предприятиях получают стационарные как 2-х стоечные, так и 4-х стоечные подъемники.

Сравнительный анализ применения конструкций подъемников показывает существенные преимущества электрогидравлического привода подъемников:

- бесшумность и плавность хода;
- экономия электроэнергии;
- высокая скорость работы на подъем и опускание;
- простота конструкции и технического обслуживания;
- возможность установки на 4-х стоечные подъемники дополнительных осевых подъемных устройств (траверс);
- имеют «чистый пол» и обеспечивают высокий уровень санитарно-гигиенических условий;
- высокая степень безопасности.

Решение при выборе подъемников предусматривает определение:

- грузоподъемности подъемника и устойчивости поднимаемого автомобиля;
- скорости и высоты подъема;
- габаритов обслуживаемых автомобилей;
- технологии применения подъемного оборудования в технологических процессах работ на посту ТО и ремонта.

Исходя из параметров технических характеристик (масса, габариты, доступность к агрегатам и узлам) автомобильной техники, наибольшее применение находят 4-х стоечные электрогидравлические подъемники грузоподъемностью от 4 до 6 тонн как отечественного, так и зарубежного (POWERREX SL-6000 и другие модели) производства. Конструкции данных подъемников показывают хорошие эксплуатационные характеристики, ресурс работы их узлов и систем в основном соответствует заявленному организацией-производителем.

Относительно новыми являются конструкции подъемников повышенной грузоподъемности от 12 до 20 тонн как

отечественного, так и зарубежного (BendPak и другие модели) производства. Вместе с тем опыт эксплуатации подъемников данного класса показывает, что ресурс работы высоконагруженных узлов отдельных моделей недостаточен и не намного превышает гарантийный срок.

К основным элементам конструкции подъемников данного класса можно отнести:

- силовой узел (электродвигатель, гидравлический насос, емкость для масла и пульт управления);
- четыре стойки, две подъемные перекладины, две подъемные платформы;
- основной силовой гидроцилиндр, расположенный под одной из подъездных платформ;
- система тросов, блоков и шкивов;
- замки безопасности, пневматическая или другая система, управляющая ими.

Решение фирмами-изготовителями задач повышения ресурса работы механизмов-подъемников данного класса, устойчивое появление на рынке широкого диапазона размеров прецизионных труб, фирм-производителей гидронасосов, гидроцилиндров, уплотнений (манжет) для гидравлических систем позволяет поддерживать работоспособность, а при необходимости и проведение модернизации конструкций электрогидравлических подъемников.

Подбор конструкций подъемников по расчету основных элементов гидравлических подъемников [1] можно принять в следующей последовательности:

1. По диаметру гидроцилиндра  $D_{ц}$ , толщине стенок гидроцилиндра  $S$ , определяемым по следующим зависимостям:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{Fn \cdot 4 \cdot 2}{p \cdot \eta_{мех} \cdot \pi}}$$

где:  $Fn$  – эффективное движущее усилие  
 $p$  – номинальное рабочее давление гидроцилиндра МПа,  $p = 15 \dots 21$  МПа

$\eta_{мех}$  – механический КПД гидроцилиндра,

$$\eta_{мех} = 0,90 \dots 0,95$$

$$F_n = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot p \cdot n_{мех}$$

$D$  – внутренний диаметр гидроцилиндра;  $d$  – диаметр штока;  $d=0,3 \dots 0,7D$

$$S = \frac{p \cdot D}{\left(\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_s}{n} - p\right) \cdot \varphi} + C$$

где:  $\sigma_s$  – предел текучести материала,

кг/мм<sup>2</sup>, для стали 30ХГС  $\sigma_s = 60$  кг/мм<sup>2</sup>;

$n$  – коэффициент запаса прочности,  $n = 3$ ;

$\varphi$  – коэффициент прочности изготовления цельнотянутой трубы,  $\varphi = 1$ ;

$C$  – прибавка к расчетной толщине стенки, включающая минусовым допуск на толщину стенки, мм  $C = 0,05$ .

2. По характеристике гидронасоса. Подбор гидронасоса целесообразно проводить по расходу рабочей жидкости  $Q$  и рабочему давлению  $p$  в гидроцилиндре:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot n_{об}} \cdot V, \quad м^3/с$$

где:  $\eta_{об}$  – объемный КПД

гидроцилиндра,  $\eta_{об} = 0,98$

$$V = \frac{S}{t};$$

скорость штока при подъеме платформы;

$S$  – ход штока;  $t$  – время подъема;

3. По характеристике применяемых тросов. Расчет тросов механизма подъема платформы целесообразно производить по минимальному диаметру тросов  $d_{мин}$ :

$$d_{мин} = k \cdot \sqrt{F_s}$$

где:  $F_s$  – статическое натяжение троса,  $F_s = F/n \cdot i \cdot \eta$ ;  $k = 0,52$

$F$  – общий вес поднимаемого груза;  $n$  – количество стоек подъемника;

$i$  – передаточное число блоков;  $\eta$  – КПД блоков, составляет при применении подшипников скольжения  $0,85 \dots 0,90$ ; подшипников качения –  $0,99$ .

При анализе характеристики тросов необходимо также учитывать динамическое натяжение троса:

$$F_{s_{dyn}} = \theta_n \cdot F_s$$

$$\text{где: } \theta_n = 1 + \frac{V}{6 \cdot \sqrt{g \cdot f_{cm}}}$$

$$f_{CT} = F \cdot h \cdot 100/n \cdot i \cdot E_s \cdot A_s,$$

$V$  – скорость подъема платформ;  $E_s$  – модуль упругости троса;

$h$  – высота подъема платформ;  $A_s$  – площадь поперечного сечения каната.

4. По применяемым подшипникам скольжения [2]. Расчет подшипников скольжения целесообразно проводить по параметрам: износостойкости, сопротивления изнашиваемости и заедания при перегреве. Оценку износостойкости проводят по среднему давлению  $P$ , которое гарантирует невыдавливаемость смазки и удельной работе  $P \cdot V$ , определяющей тепловой режим (нагрев) и отсутствие заедания подшипника по следующим зависимостям:

Расчет среднего давления определяется по условию:

$$P = \frac{Rr}{A} \leq [P], \text{ МПа}$$

где:  $Rr$  – радиальная нагрузка на подшипник

$A=d \cdot l$  – площадь проекции опоры вала на диаметрально плоскость

$d$  и  $l$  - диаметр и длина опорного вала, как правило,  $l = (0,5 \dots 1,3)d$

Расчет нагрева целесообразно выполнить по условию:

$$P \cdot V \leq [PV],$$

где:  $V = \frac{\omega \cdot d}{2}$  – окружная скорость вращения вала

В конструкциях триботехнических узлов из материалов в основном применяется сталь и бронза. От свойств (твердость, шероховатость поверхности, др.) данных материалов, присутствия смазочного материала в зоне контакта поверхностей прямо зависит ресурс работы трибосопряжения. Допускаемые значения среднего давления  $[P]$ , и

удельной работы  $[PV]$  в этих сопряжениях, находятся в пределах:

сталь по бронзе  $[P] = 4 \dots 6$ , МПа;  $[PV] = 4 \dots 6$ , МН·м/м<sup>2</sup>·с

сталь закаленная  $[P] = 15 \dots 20$ , МПа;  $[PV] = 8 \dots 12$ , МН·м/м<sup>2</sup>·с

сталь по чугуну  $[P] = 2 \dots 4$ , МПа;  $[PV] = 1 \dots 3$ , МН·м/м<sup>2</sup>·с

По проведенным расчетам работа данных трибосопряжений в 4-х стоечных подъемниках повышенной грузоподъемности (от 12 до 20 т) характеризуется высокими удельными давлениями, превышающими 20 МПа, что обусловлено увеличенной нагрузкой и возникающей циркуляцией мощности по стойкам подъемника, решение которой является одной из основных задач для электрогидравлических конструкций подъемного оборудования данного класса.

### Библиография

1. Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемнотранспортных машин. Справочник. - Минск. Высш. школа, 1983. - 350 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977.

### References

1. Kuz'min A.V. Spravochnik po raschetam mekhanizmov pod"emnotransportnyh mashin. Spravochnik. - Minsk. Vyssh. shkola, 1983. - 350 s.
2. Kragel'skij I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na trenie i iznos. - M.: Mashinostroenie, 1977.

## LIFTING AND HANDLING EQUIPMENT REPAIR AND MAINTENANCE OF FIRE EQUIPMENT

*The analysis applications electrohydraulic lifting-transport equipment for production work by technical and repair car equipment. Results settlements major elements designs electrohydraulic car lifts.*

**Keywords:** *lifting-transport equipment, electrohydraulic lifts, design.*

**Печурин Александр Алексеевич,**

*к.т.н.,*

*доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства,*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

*8(921) 921-01-40,*

*e-mail: [pechurinas@mail.ru](mailto:pechurinas@mail.ru)*

**Pechurin A.A.,**

*candidate of technical Sciences,*

*docent Department of fire, emergency- rescue equipment and car economy*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Брусянин Дмитрий Владимирович,**

*к.т.н.,*

*доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства,*

*8(911) 173-54-74,*

*e-mail: [brus-spbg@yandex.ru](mailto:brus-spbg@yandex.ru),*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

**Brusyanyn D.V.,**

*candidate of technical Sciences, docent Department of fire, emergency- rescue equipment and car economy,*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Ситников Александр Иванович,**

*к.т.н., доцент,*

*Воронежский институт МВД России,*

*Россия, г. Воронеж,*

**Sitnikov A.I.,**

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,*

*Russia, Voronezh.*

**Куприенко Павел Сергеевич,**

*д.т.н., профессор,*

*заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности,*

*Воронежский государственный технический университет,*

*Россия, г. Воронеж,*

**Kuprienko P.S.,**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,*

*Head of the Department of Technospheric and Fire Safety,*

*Voronezh State Technical University,*

*Russia, Voronezh.*

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ПО СООТНОШЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРОДУКТОВ ИЗНАШИВАНИЯ В МОТОРНОМ МАСЛЕ

*А.В. Скрипка, Д.В. Брусянин, А.И. Ситников, П.С. Куприенко*

*Методика диагностирования дизелей КамАЗ по соотношению продуктов изнашивания в работавшем масле. В основу методики лег новый подход к оценке полученных результатов с применением эмиссионного спектрального анализа масла.*

**Ключевые слова:** методика диагностирования, контроль технического состояния двигателя, диагностический параметр.

Эксплуатация автомобильной техники в МЧС России организуется в соответствии с Приказом МЧС № 555 от 18.09.2012г. «Инструкция по организации материально-технического обеспечения системы МЧС» в целях выполнения территориальным органом, учреждением задач по предназначению, обеспечения плана подготовки, хозяйственной деятельности и жизнедеятельности территориального органа, учреждений.

Под организацией эксплуатации понимается деятельность должностных лиц территориального органа, учреждения по планированию, контролю, учету, анализу и прогнозированию работы техники, поддержанию готовности техники к применению по назначению, профилактике и предупреждению ДТП. Основным качественным показателем является готовность техники подразделений к применению по назначению.

Готовность техники к применению по назначению определяется ее исправностью, надежностью (ресурсом до очередного среднего или капитального ремонта, качеством технического обслуживания и ремонта) и другими факторами [1]. Техническая готовность пожарной техники находится в прямой зависимости от технического состояния двигателей, их готовности надежно, качественно, экономно и безопасно осуществлять свои функции энергетической установки.

Однако долговечность двигателя зависит от его индивидуальных особенностей, квалификации водителя, качества применяемых топлива и смазочных материалов, климатических и дорожных условий, нагрузки и других факторов. Поэтому одними данными о нормах наработки двигателя нельзя ограничиваться при определении его фактического технического состояния.

В ходе эксплуатации пожарного автомобиля изнашивание всех трущихся деталей двигателя является естественным и неизбежным процессом. При этом основной интерес представляют износы деталей, лимитирующих моторесурс двигателей. К ним относятся детали, износы которых особенно влияют на эксплуатационные показатели двигателя, а их замена связана со значительными трудозатратами: вкладыши коленчатого вала, гильзы цилиндров, поршни и поршневые кольца.

Известно, что все продукты изнашивания (ПИ) равномерно поступают в моторное масло, вследствие этого диагностирование по параметрам

работавшего картерного масла является одним из наиболее эффективных методов технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания (ДВС). К основным его преимуществам относится возможность раннего обнаружения неисправностей двигателя без его разборки, установление необходимости своевременной замены масла, предотвращение отказов в двигателе из-за повышенного загрязнения масла и износа деталей [2]. Наиболее приемлемым для диагностирования дизелей КамАЗ является метод эмиссионного спектрального анализа масла (ЭСАМ) с использованием многоканальных спектрометров. Метод позволяет определять техническое состояние основных узлов и агрегатов дизеля без его разборки, специальной подготовки и отрыва от выполнения основных задач подразделения.

Анализ методик диагностирования дизелей с применением ЭСАМ позволил выявить ряд причин, по которым определение технического состояния, *по предельным концентрациям* продуктов изнашивания в работавшем масле, не эффективно и, как следствие, имеют низкую достоверность результатов, которые в свою очередь влияют на принятие решения по техническому обслуживанию дизеля. Очевидно, что вследствие этих причин рассмотренные методики диагностирования *по предельным концентрациям* продуктов изнашивания в работавших маслах, не нашли широкого применения [2].

Разработана методика диагностирования дизелей КамАЗ по соотношению продуктов изнашивания в работавшем масле. В основу методики лег новый подход к оценке полученных результатов с применением ЭСАМ. Методика основана на сравнении относительных концентраций химических элементов, составляющих основу конструкционных материалов одной детали, а также закономерностях, которые существуют между химическими элементами, циркулирующими в масле.

В качестве диагностического параметра, характеризующего техническое состояние коренных и шатунных вкладышей подшипников коленчатого вала дизеля КамАЗ-740, выбран коэффициент соотношения концентраций свинца к меди ( $K_1$ ):

$$K_1 = \frac{K_{Pb}}{K_{Cu}}, \quad (1)$$



где  $K_{Pb}$  – концентрация свинца в работавшем масле, г/т;

$K_{Cu}$  – концентрация меди в работавшем масле, г/т.

Анализ условий эксплуатации, структуры, химического состава, а также размеров коренных и шатунных вкладышей подшипников коленчатого вала дизеля КамАЗ–740 позволил сделать заключение о том, что рабочим антифрикционным слоем вкладышей подшипников дизеля является диффузионный слой, в котором концентрация свинца больше, чем концентрация меди, а следовательно, коэффициент соотношения концентраций свинца к меди больше 1 ( $K_1 > 1$ ). Значения  $K_1 < 1$  свидетельствуют об интенсивном изнашивании подшипников и шеек коленчатого вала и необходимости применения технического воздействия. Значение  $K_1 = 1$  указывает на пограничное состояние вкладышей.

В качестве диагностического параметра, характеризующего техническое состояние цилиндропоршневой группы дизеля КамАЗ–740, используется коэффициент соотношения концентраций кремния к алюминию ( $K_2$ ):

$$K_2 = \frac{K_{Si}}{K_{Al}}, \quad (2)$$

где  $K_{Si}$  – концентрация кремния в работавшем масле, г/т;

$K_{Al}$  – концентрация алюминия в работавшем масле, г/т.

Анализ процесса изнашивания деталей цилиндропоршневой группы дизеля позволил выявить, что при работе исправного дизеля коэффициент соотношения концентраций кремния к алюминию больше 1 ( $K_2 > 1$ ), а в случае интенсивного изнашивания канавок и юбки поршня в работающее масло поступает алюминий в больших концентрациях, чем кремний, т.е. коэффициент соотношения концентраций кремния к алюминию будет меньше или равен 1 ( $K_2 \leq 1$ ).

Значительное процентное содержание хрома (Cr) во впускных и выпускных клапанах указывает на возможность его применения в качестве элемента-индикатора износа деталей клапанной группы газораспределительного механизма (ГРМ) дизеля КамАЗ–740.

Большое процентное содержание железа (Fe) почти во всех деталях дизеля КамАЗ–740 затрудняет его применение в качестве элемента-индикатора износа. Повышение концентрации железа в работавшем масле может отражать суммарный износ деталей механизмов и узлов дизеля КамАЗ–740, т.е. является фоновым показателем износа.

Для оценки состояния топливной системы и степени разжижения масла топливом в качестве диагностического параметра использовалась «температура вспышки», характеризующая наличие в масле более лёгких топливных фракций.

Выделение области факторного пространства и выбор интервалов варьирования факторов был произведён на основе анализа опыта эксплуатации, технического обслуживания и ремонта дизелей КамАЗ–740, в соответствии с таблицей.

Таблица

**Факторы, используемые при однофакторных исследованиях**

Этапы проведения однофакторных исследований	Факторы	Уровни варьирования			
		-1	0	+1	Интервал варьирования
1	Количество форсунок со сниженным давлением начала подъёма иглы ( $P_{ф0} = 13$ Мпа), шт	2	4	6	2
2	Угол опережения впрыскивания топлива, ( $\Delta\theta$ ), град ПКВ	8	18	28	10
3	Количество клапанов ГРМ с разрегулированными тепловыми зазорами ( $\Delta\delta_3 = +1$ мм), шт	4	8	12	4
4	Концентрация кварцевой пыли в $1\text{ м}^3$ воздуха, подаваемой во впускной тракт дизеля ( $A$ ), $\text{г}/\text{м}^3$	0,5	1	1,5	0,5

Определение значений соотношений концентраций ПИ ( $k_{1,2}$ ) при работе исправного дизеля

По результатам исследования характера изменения концентраций ПИ и температуры вспышки работавшего масла (М6з/10В) в процессе работы исправного дизеля получены графические зависимости изменения соотношений концентраций ПИ ( $k_{1,2}$ ) от времени работы исправного дизеля,

описываемые эмпирическими уравнениями (при достоверности  $R^2$ ):

$$\begin{aligned} k_1 &= 5,3 - 6,1x + 2,9x^2 - 0,4x^3, (R^2 = 1); \\ k_2 &= 0,3 + 1,2333x - 0,5x^2 + 0,0667x^3, (R^2 = 1); \\ \text{а также } K_{Cr} &= -0,6 + 2,6x - 1,15x^2 + 0,15x^3, (R^2 = 1); \\ K_{Fe} &= 10 - 2,5x + 0,5x^2, (R^2 = 1); \\ t_{всп} &= 211 - 4,3333x + 1,5x^2 - 0,1667x^3, (R^2 = 1), \quad (3) \end{aligned}$$

где  $K$  – концентрация элемента в масле, г/т.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 1, показывает, что при работе исправного дизеля значения диагностических параметров практически стабилизированы на протяжении всего периода испытания и за нормативные значения диагностических параметров исправного дизеля следует принять:

- $k_1 > 1$ ;
- $k_2 > 1$ ;
- $K_{Si} < 4$  г/г;
- $K_{Cr} < 2$  г/г;
- $t_{всп} > 175$  °С,

Таким образом, результатами экспериментального исследования установлено, что при работе исправного дизеля коэффициент соотношения концентраций свинца к меди больше 1 ( $k_1 > 1$ ), а коэффициент соотношения концентраций кремния к алюминию также больше 1 ( $k_2 > 1$ ).

*Исследование влияния снижения давления начала подъема иглы форсунки на изменение соотношений концентраций ПИ ( $k_{1,2}$ )*

Выполнены исследования по установлению зависимости выбранных диагностических параметров от количества форсунок со сниженным давлением начала подъема иглы  $k_{1,2} = f(P_{\phi 0})$ . По результатам исследования получены графические зависимости, описываемые эмпирическими уравнениями (при достоверности  $R^2$ ):

$$\begin{aligned} k_1 &= 5,4 - 6,3667x + 3,1x^2 - 0,4333x^3, (R^2 = 1); \\ k_2 &= 0,7 + 1,6167x - 0,95x^2 + 0,1333x^3, (R^2 = 1), \\ \text{а также } K_{Cr} &= 2,3 - 2,1667x + x^2 - 0,1333x^3, (R^2 = 1); \\ K_{Fe} &= -5 + 18,5x - 6,5x^2 + x^3, (R^2 = 1); \\ t_{всп} &= 193 + 33,667x - 22,5x^2 + 2,8333x^3, (R^2 = 1). \end{aligned} \quad (4)$$

Анализ зависимостей показывает, что с увеличением количества неисправных форсунок происходит интенсивное разжижение работающего масла фракциями несгоревшего дизельного топлива, что приводит к понижению температуры вспышки масла.

Повышенное изнашивание вкладышей КШМ подтверждается некоторым увеличением концентрации свинца и меди, но при этом коэффициент соотношения концентраций больше 1 ( $k_1 > 1$ ), что подтверждает наличие во вкладышах рабочего диффузионного слоя.

Значение коэффициента соотношения концентраций меньше 1 ( $k_2 < 1$ ) свидетельствует о повышенном изнашивании поршней ЦПГ вследствие возрастания на них ударных нагрузок.

Концентрация хрома практически не изменяется, что указывает на незначительное изнашивание клапанов ГРМ. Также отмечается повышение концентрации железа, что отражает суммарный износ деталей механизмов и узлов дизеля КамАЗ–740.

Таким образом, полученные зависимости показывают, что наличие такой распространенной неисправности системы питания, как снижение давления начала подъема иглы форсунок, *увеличивает*

рост концентраций практически всех ПИ, а также значительно *снижает* температуру вспышки работающего масла и значения коэффициентов соотношений концентраций ПИ  $k_1$  и  $k_2$ .

*Исследование влияния изменения угла опережения впрыскивания топлива на изменение соотношений концентраций ПИ ( $k_{1,2}$ )*

Выполнено исследование по установлению зависимости выбранных диагностических параметров от технического состояния муфты опережения впрыскивания топлива  $k_{1,2} = f(\varphi_{оп})$ . По результатам исследования построены аппроксимированные графические зависимости, описываемые эмпирическими уравнениями (при достоверности  $R^2$ ):

$$\begin{aligned} k_1 &= 6,5 - 6,0833x + 3x^2 - 0,4167x^3, (R^2 = 1); \\ k_2 &= -0,6 + 2,9833x - 1,35x^2 + 0,1667x^3, (R^2 = 1); \\ \text{а также } K_{Cr} &= 1,3 - 1,0333x + 0,5x^2 - 0,0667x^3, (R^2 = 1); \\ K_{Fe} &= 16 - 24,167x + 11,5x^2 - 1,3333x^3, (R^2 = 1); \\ T_{всп} &= 196 + 19x - 7,5x^2 + 0,5x^3, (R^2 = 1). \end{aligned} \quad (5)$$

Анализ зависимостей показывает, что увеличение угла опережения впрыскивания топлива, равно как и его уменьшение, одинаково влияют на изменение соотношений концентраций ПИ  $k_1$  и  $k_2$ , а также других диагностических параметров. Причём прослеживается корреляционная связь между изменением диагностических параметров в зависимости от эксплуатационных факторов, характеризующих техническое состояние системы питания топливом (СПТ). Таким образом, снижение давления начала подъема иглы форсунок и изменения угла опережения впрыскивания топлива практически в равной степени оказывают влияние на изменение рассматриваемых диагностических параметров.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что неисправности СПТ приводят к увеличению роста концентраций практически всех ПИ, а также к значительному снижению температуры вспышки работающего масла и значений коэффициентов соотношений концентраций ПИ  $k_1$  и  $k_2$ . Отсюда следует, что контроль технического состояния СПТ дизеля КамАЗ–740 возможно осуществлять, руководствуясь только значением температуры вспышки работающего масла:

- $t_{всп} > 175$  °С – СПТ исправна;
- $t_{всп} < 175$  °С – СПТ не исправна.

Коэффициенты соотношений концентраций ПИ  $k_1$  и  $k_2$  при этом свидетельствуют о фактическом техническом состоянии деталей дизеля, лимитирующих его моторесурс.

Таким образом, применение методики, где в качестве диагностических параметров используются соотношения концентраций продуктов изнашивания в работающем масле, позволяет повысить точность определения технического состояния дизеля, а следовательно, повысить готовность пожарной техники к использованию по назначению.

**Библиография**

1. Преснов А.И., Марченко М.А., Мироньев А.В., Скрипка А.В., Данилевич А.В. Пожарная техника: учебник. Том 2. - СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. - 538 с.
2. Кюрегян С.К. Оценка износа двигателей внутреннего сгорания методом спектрального анализа. – М., Машиностроение, 1996.
3. Зубков С.Ю., Романов Р.А., тезисы доклада <http://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=288> (дата обращения 14.08.2017).

**References**

1. Presnov A.I., Marchenko M.A., Miron'chev A.V., Skripka A.V., Danilevich A.V. *Pozharnaya tekhnika: uchebnik. Tom 2.* - SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MCHS Rossii, 2016. - 538 s.
2. Kyuregyan S.K. *Ocenka iznosa dvigatelej vnutrennego sgoraniya metodom spektral'nogo analiza.* – M., Mashinostroenie, 1996.
3. Zubkov S.YU., Romanov R.A., *tezisy doklada* <http://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=288> (data obrashcheniya 14.08.2017).

**DIAGNOSTICS OF DIESEL ENGINES OF FIRE FIGHTING EQUIPMENT THE RATIO OF THE CONCENTRATIONS OF THE PRODUCTS OF WEAR IN THE MOTOR OIL**

*Methods of diagnosis of diesel engines KAMAZ ratio of the products of wear in the working oil. The methodology laid down a new approach to the evaluation of the results obtained with the application of emission spectral oil analysis.*

**Key words:** *methods of diagnosing, monitoring the technical condition of the engine, the diagnostic parameter.*

**Скрипка Александр Владимирович,**

*к.т.н.,*

*доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

**Violin A.V.,**

*Ph.D.,*

*Associate Professor of Fire, Emergency Rescue and Automotive Department,*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Брусянин Дмитрий Владимирович,**

*к.т.н.,*

*доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства техники и автомобильного хозяйства*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

**Brusyanin D.V.,**

*Ph.D.,*

*Associate Professor of the Department of Fire, Rescue and Automotive Technology*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Ситников Александр Иванович,**

*к.т.н., доцент,*

*Воронежский институт МВД России,*

*Россия, г. Воронеж,*

**Sitnikov A.I.,**

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,*

*Russia, Voronezh.*

**Куприенко Павел Сергеевич,**

*д.т.н., профессор,*

*заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности,*

*Воронежский государственный технический университет,*

*Россия, г. Воронеж,*

**Kuprienko P.S.,**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,*

*Head of the Department of Technospheric and Fire Safety,*

*Voronezh State Technical University,*

*Russia, Voronezh.*

## СТВОЛ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ

**С.В. Ширококов, Р.И. Скоробогатова, Р.И. Садриев, С.Ю. Загуменов**

*В данной статье получила развитие идея снижения гидродинамической нагрузки на торфяные стволы при тушении торфяных пожаров. Ранее предлагалось последовательно подключить до 10 торфяных стволов и посредством клапанов-регуляторов давления, установленных на каждом стволе, равномерно распределить поток тушащего вещества в почву. Здесь же предлагается доработать конструкцию пожарного ствола с учётом крайней неоднородности торфяных пластов, которые могут быть рыхлыми, либо содержать древесные включения, глину и прочее. Для чего торфяной ствол оснащён шнековыми лопастями, которые выполняют целый ряд функций: разрезают твёрдые включения при заглублении ствола, удерживают ствол в торфяных пластах, открывают свободные каналы для вывода излишков воды на поверхность без размывания почвы. Тем самым существенно снизилась вероятность выталкивания ствола из грунта под напором тушащего вещества. В результате появилась возможность освободить пожарных от круглосуточного дежурства у стволов и автоматизировать процесс тушения торфяных пожаров.*

**Ключевые слова:** тушение пожара, торфяной ствол, тактико-технические характеристики, огнетушащее вещество, размывание торфяных пластов, выдавливание напором жидкости.

На сегодняшний день существуют различные виды торфяных стволов с сопоставимыми ТТХ. Как правило, ствол устанавливается на конце рукавной линии и может использоваться совместно со смесителем растворов «СР-70». Ствол пожарный торфяной является пожарно-технической единицей и предназначен для тушения торфяных пожаров посредством оптимального и равномерного распределения потока огнетушащих составов по толщине торфяного пласта. Эффект тушения подземных торфяных пожаров с глубиной прогара более 20 см достигается тем, что вода (смачиватель) через отверстия в корпусе ствола подается не на поверхность, а в глубь источника горения [1]. Ствол устанавливается вглубь торфяного пласта на максимально возможную или допустимую глубину, поворотом ручки запорного устройства подается рабочее давление порядка 0,4 МПа (4 атм) от мотопомпы или насоса АЦ, ПНС, далее выдерживается подача жидкости порядка 30÷60 сек до появления признаков достаточной проливки (пены в районе прокола стволом пласта), после чего подача жидкости прекращается и ствол переносится на другое место [2].

Как показывает практика, при подаче огнетушащих веществ под напором ствол начинает выдавливать вверх. В результате возникает необходимость вести работу с данным устройством бригадами по два пожарных, которые сменяют друг друга согласно установленному графику выполнения работ. Авторы [3] предлагают последовательно соединить от 10 до 20 торфяных стволов между собой в гирлянду, каждый ствол снабдить регулятором давления. Данная

конструкция позволяет обеспечить контроль подачи жидкости на пути поступления в торф, распределять её поток равномерно на множество стволов и снизить её давление в каждом стволе без уменьшения общей подачи огнетушащей жидкости. Напор на стволы при этом снижается и появляется возможность освободить пожарных от круглосуточного дежурства у стволов и автоматизировать процесс тушения торфяных пожаров. В основу конструкции перфорированных стволов положено изобретение [4].

Однако при стандартном исполнении торфяных стволов пожарные сталкиваются с проблемой прохождения неоднородностей почвы в виде древесных включений, глины и прочего. Предлагается торфяной ствол оснастить шнековыми лопастями, которые выполняют целый ряд функций: разрезают твёрдые включения при заглублении ствола, удерживают ствол в торфяных пластах, открывают свободные каналы для вывода излишков воды на поверхность без размывания почвы.

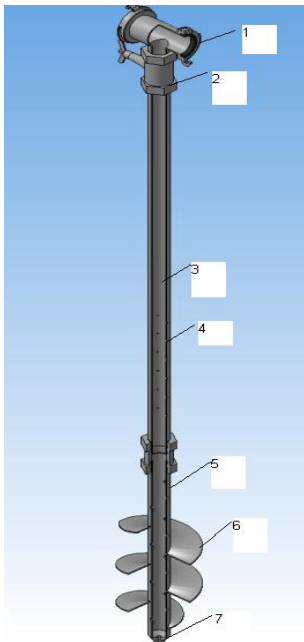
Татико-технические характеристики торфяного ствола:

- масса ствола – 2,187 кг;
- общая длина ствола- 1,68 м;
- тройник с внутренним диаметром 50 мм и массой 0,37 кг;
- регулятор давления диаметром 35 мм и массой 0,46 кг;
- удлинительная трубка диаметром 32 мм, длиной 1 м и массой 0,88 кг, с 30 отверстиями по 3 мм;
- соединитель диаметром 35 мм и массой 0,28 кг;
- шнек диаметром 32 мм, длиной 50 см и массой 0,75 кг, с 16 отверстиями диаметром до 7 мм;
- давление воды, подаваемой из мотопомпы в ствол,

- 3÷4 атм;
- расход жидкости - 35÷42 л/мин;

Способ применения

Ствол для тушения торфяных пожаров (Рис. 1) работает следующим образом: после присоединения к тройнику гибкого пожарного рукава, через который подводится охлаждающая тушащая жидкость (ОТЖ) от пожарной насосной станции, ствол с наконечником погружается в торфяной пласт на глубину. ОТЖ поступает в тройник, затем в удлинительную трубку через клапан-регулятор давления, далее в сопло, тем самым происходит пропитка торфяного пласта. Благодаря шнековой части ствол без особых усилий заглубляется и извлекается из земли, а за счет клапана-регулятора давления контролируется поступление жидкости, вследствие чего не происходит выдавливания ствола из торфа, а происходит смачивание внутренних слоев торфа, а жидкость проникает в зону тления.



**Рис.** Ствол для тушения торфяных пожаров 1 - тройник; 2 - клапан регулятор давления; 3 - удлинительный ствол; 4 - отверстия; 5 - ствол; 6 - шнековые лопасти; 7 - нижнее отверстие

Эффективное расстояние между стволами составляет 2 - 3 м. При этом ширина полосы обработки торфяного пласта жидкостью составляет не менее 0,7 м. В зависимости от сложившейся ситуации на торфяниках подбирается длина отрезков пожарного рукава, количество торфяных стволов. Далее монтируется конструкция из рукавов и торфяных стволов в виде гирлянды. На конце конструкции вместо гибкого рукава устанавливается вентиль-заглушка, являющаяся завершающей деталью.

Выбор пожарного рукава

Для подключения торфяных стволов в гирлянду необходимы рукава длиной 2 - 3 метра для комплектации передвижной пожарной техники с характеристиками: условный проход 80 мм, рабочее давление 3,0 МПа, и один длинный рукав 20 метров для подключения к ПНС-100 (КамАЗ).

Предположительно, под заявленные характеристики, можно применить рукав пожарный с внутренним гидроизоляционным и наружным защитным покрытием (с двухсторонним полимерным покрытием) РПМ(Д)-3,0МПа-ИМ-УХЛ1. Предназначен для комплектации пожарной автотехники. Обладает повышенной износостойкостью (не менее 400 циклов) и устойчив к воздействию масел (не менее 72 часов). Рукав изготовлен по ГОСТ 51049-2008. Чехол пожарного рукава изготавливается из высокопрочных полиэфирных нитей, сверху нанесено инновационное износостойкое полиуретановое покрытие, повышающее износоустойчивость рукава. Технические характеристики: длина рукава 20 ±1 м, а также могут изготавливаться любой длины (под заказ); условный проход (DN) внутренний диаметр 80 (77±3) мм; масса 1 м, не более 0,65 кг; рабочее давление 3,0 МПа; испытательное давление не менее 3,75 МПа; разрывное давление не менее 6,0 МПа; прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса не менее 10,0 Н/см; относительное удлинение рукава при рабочем давлении не более 5%; относительное увеличение диаметра при рабочем давлении не более 5%; диапазон рабочих температур - 60 - +40 °С; стойкость к абразивному износу не менее 100 циклов; толщина внутреннего слоя покрытия не менее 0,3 мм; стойкость к воздействию стержня, имеющего температуру наружной поверхности 300 °С, не менее 30 сек.

ТТХ пожарной насосной станции

- пожарная насосная станция ПНС-100 (КамАЗ-43114);
- технические характеристики пожарной насосной станции ПНС-100 (КамАЗ-43114);
- базовое шасси – КамАЗ-43114;
- колесная формула – 6х6;
- мощность двигателя, кВт (л.с.) – 176,5 (240);
- максимальная скорость, км/ч – 90;
- двигатель привода насоса (мощность, л.с.) – ЯМЗ-238Б14 (300);
- тип пожарного насоса – НЦПН – 100/100 центробежный;
- производительность насоса, (л/с) – 100;
- габаритные размеры, мм – 7700х 2500х3200;
- полная масса, кг – 12725;
- боевой расчет (включая водителя), чел. – 3.

Заключение

Внедрение предлагаемой конструкции существенно снизит вероятность выталкивания ствола из грунта под напором тушащего вещества. В результате появится возможность освободить пожарных от круглосуточного дежурства у стволов

и автоматизировать процесс тушения торфяных пожаров. Установка имеет сравнительно малую массу и в сложенном состоянии не требует много места для транспортировки до точки пожара,

поэтому можно сочетать данную установку с ПНС - 100 (КамА3-43114), в котором достаточно свободного пространства без дополнительной доработки транспортного средства.

### Библиография

1. Способы тушения торфяных пожаров. – 2017. – (<https://fireman.club/statyi-polzovateley/sposobyi-tusheniya-torfyanyih-pozharov/>).
2. Стволы торфяные. – 2010. - (<http://brand-major.livejournal.com/1766.html>).
3. Способ тушения торфяных пожаров / С.В. Широбок, Р.И. Skorobogatova, Р.И. Sadriev, А.А. Калугин // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : сб. ст. по материалам VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 20-21 апр. 2017 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. - Воронеж, 2017. - Ч. 1. - С. 297-299.
4. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способа: пат. 2530397 С1. Рос. Федерация: МПК А62С 3/02 (2006.01). Белозеров В.В., Мальцев Г. И., Плахотников Ю.Г. [и др.]; заявители и патентообладатели: ООО "Краснодарский Компрессорный Завод", ФГБОУ ВПО "Донской гос. технический ун-тет", ООО "Науч. произв.-технолог. центр Технические Системы". - 2013107840/12; заявл. 22.02.2013; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28 – 1 с: ил.1

### References

1. Sposoby tusheniya torfyanyh pozharov. – 2017. – (<https://fireman.club/statyi-polzovateley/sposobyi-tusheniya-torfyanyih-pozharov/>).
2. Stvoly torfyanye. – 2010. - (<http://brand-major.livejournal.com/1766.html>).
3. Sposob tusheniya torfyanyh pozharov / S.V. SHirobokov, R.I. Skorobogatova, R.I. Sadriev, A.A. Kalugin // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij : sb. st. po materialam VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhduнар. uchastiem, 20-21 apr. 2017 g. : v 2 ch. / FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MCHS Rossii. - Voronezh, 2017. - CH. 1. - S. 297-299.
4. Sposob predotvrashcheniya ili obnaruzheniya i tusheniyatorfyanyh pozharov i ustanovka dlya realizacii sposoba: pat. 2530397 S1. Ros. Federaciya: MPK A62C 3/02 (2006.01). Belozerov V.V., Mal'cev G. I., Plahotnikov YU.G. [i dr.]; zayaviteli i patentoobladateli: ООО "Krasnodarskij Kompresornyj Zavod", FGBOU VPO "Donskoj gos. tekhnicheskij un-tet", ООО "Nauch. proizv.-tekhnolog. centr Tekhnicheskie Sistemy". - 2013107840/12; zayavl. 22.02.2013; opubl. 10.10.2014, Byul. № 28 – 1 s: il.1

## TRUNK FOR SUPPRESSION OF THE PEAT FIRES

*In this article, the idea has been developed to reduce the hydrodynamic load on peat bogs in suppression peat fires. Previously, it was proposed to connect up to 10 peat barrels in series and, through pressure regulators installed on each barrel, distribute the flow of suppression agent evenly into the soil. It is also proposed to improve the design of the fire barrel, taking into account the extreme heterogeneity of peat layers, which may be loose, or contain wood inclusions, clay and so on. For this purpose the peat trunk is equipped with auger blades, which perform a number of functions: cutting of solid inclusions when the trunk is buried, keeping the trunk in peat layers, opening free channels for removing surplus water to the surface without eroding the soil. Thus, the probability of pushing the barrel out of the ground under the pressure of the suppression agent has significantly decreased. As a result, it became possible to release firefighters from round-the-clock watch at the trunks and to automate the process of suppression peat fires.*

**Keywords:** *suppression, peat trunk, tactical and technical characteristics, fire suppression substance, peat Layers, stamping out pressure liquid.*

**Широбок Сергей Валентинович,**

*к.т.н., доцент, заведующий кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89127636113,*

*e-mail: sergirt@mail.ru*

**Shirobokov S.V.,**

*PhD in Engineering sciences, Associate Professor, Head of Department,  
Udmurt State University,*

*Russia, Izhevsk.*

**Скоробогатова Резеда Ильгизовна,**

*специалист-эксперт,*

*Управление гражданской защиты Администрации города Ижевска,*

*Россия, г. Ижевск,*

*тел. 89068166119, e-mail: [dri.85@mail.ru](mailto:dri.85@mail.ru),*

**Skorobogatova R.I.,**

*expert specialist,*

*Management of civil protection of City administration of Izhevsk,*

*Russia, Izhevsk.*

**Садриев Рустам Ильдарович,**

*заместитель начальника смены,*

*МБУ «Служба спасения 112»,*

*Россия, г. Уфа,*

*тел. 89378406591, e-mail: [rustemufa18@mail.ru](mailto:rustemufa18@mail.ru)*

**Sadriyev R.I.,**

*deputy head of shift,*

*Service of Rescue 112,*

*Russia, Ufa.*

**Загуменов Сергей Юрьевич,**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»,*

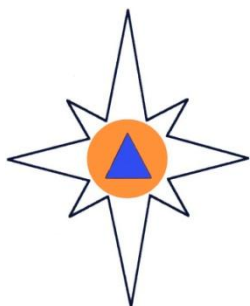
*Россия, г. Ижевск,*

*тел. 89635417321, e-mail: [szag18@mail.ru](mailto:szag18@mail.ru)*

**Zagumenov S.Yu.,**

*Udmurt state university,*

*Russia, Izhevsk.*



## БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 614.844.6 – 544.773.3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМЫХ МИКРОЭМУЛЬСИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ИНГИБИТОРЫ ГОРЕНИЯ 1,2- ДИБРОМТЕТРАФТОРЭТАН И 2-ИОДГЕПТАФТОРПРОПАН

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

*В статье сообщаются результаты испытаний на огнетушащую эффективность прямых микроэмульсий, содержащих в качестве масляной фазы ингибиторы горения 1,2-дибромтетрафторэтан и 2-иодгептафторпропан. Показано, что исследованные микроэмульсии существенно эффективнее подавляют горение по сравнению с мелкодисперсной водой.*

**Ключевые слова:** пожаротушение, комбинированное огнетушащее средство, вода, ингибитор горения, галогенуглеводород, 1,2-дибромтетрафторэтан, 2-иодгептафторпропан, микроэмульсия.

**Введение.** Наиболее перспективным путем решения проблемы создания высокоэффективных средств пожаротушения является разработка составов комбинированного действия, соединяющих в себе основные свойства различных огнетушащих веществ, т.е. ингибирование и охлаждающее действие, ингибирование и снижение концентрации кислорода в зоне горения за счет разбавления и т.п. Однако на сегодняшний момент, по справедливому мнению авторов работы [1], «у большинства используемых огнетушащих веществ в значительной мере преобладает один из механизмов воздействия на очаг пожара. Другие огнетушащие свойства проявляются значительно слабее».

Эффективные химически активные ингибиторы, которыми являются галогенуглеводороды, не смешиваются с водой в обычных условиях. Перспективным путем их соединения может стать получение соответствующих микроэмульсий. Поэтому ранее в работах [2 - 5] были установлены микроэмульсионные составы для систем вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол - триэтанолламин - 2-иодгептафторпропан и вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол - триэтанолламин - 1,2-дибромтетрафторэтан, которые приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Составы исследованных микроэмульсий вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол - триэтанолламин - 2-иодгептафторпропан типа масло в воде**

Компонент	МЭ-1	МЭ-2	МЭ-3	МЭ-4
C <sub>3</sub> IF <sub>7</sub>	1.22	3.40	6.02	9.85
H <sub>2</sub> O	77.61	75.52	72.90	68.89
NaDDS	8.39	8.35	8.42	8.43
ТЭА	6.91	6.94	6.77	7.03
Pe <sup>n</sup> OH	5.87	5.79	5.90	5.79



Таблица 2.

Составы исследованных микроэмульсий вода – додецилсульфат натрия - триэтаноламин – 1-пентанол - 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан

Компонент	МЭ-5	МЭ-6	МЭ-7	МЭ-8	МЭ-9	МЭ-10
$C_2Br_2F_4$	2.37	29.59	39.44	49.69	58.38	66.2
$H_2O$	88.31	48.81	38.44	28.14	19.81	11.94
ТЭА	3.83	7.42	7.66	7.55	7.25	7.37
NaDDS	3.73	7.08	8.29	8.41	8.43	8.37
$Pe^oOH$	1.75	7.1	6.16	6.22	6.13	6.12

В указанных работах [2 - 5] было показано, что все микроэмульсии относятся к типу масло в воде или прямым микроэмульсиям. Исключение составляет МЭ-10 с наибольшим содержанием 1,2-дибромтетрафторэтана. В настоящей работе исследована огнетушащая эффективность микроэмульсий.

**Экспериментальная часть.** Для испытания микроэмульсий на огнетушащую эффективность использовалась лабораторная установка для исследования огнетушащей

способности порошковых составов оригинальной конструкции, изготовленная сотрудниками кафедры пожарной профилактики ИПСА МЧС России. Общий вид установки показан на рис. 1.

Установка состоит из распылительного устройства, в которое помещается дозированное количество огнетушащего средства, и компрессора с ресивером, электромагнитным клапаном и пусковым устройством, обеспечивающим создание избыточного давления.

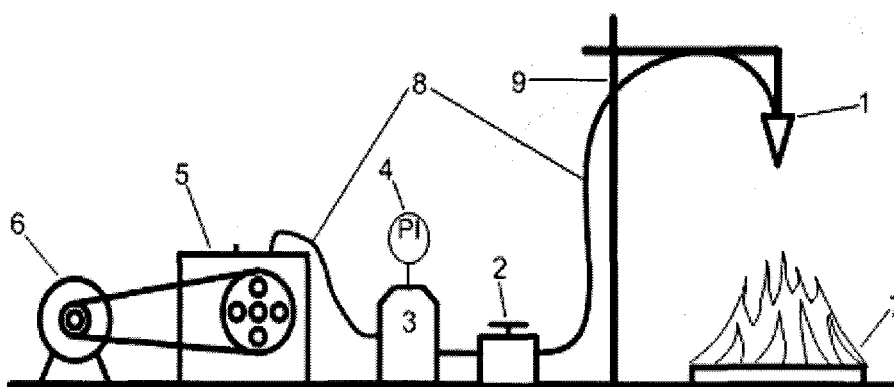


Рис. 1. Схема установки для определения огнетушащей эффективности порошков. 1 - устройство для подачи порошка (микроэмульсии), 2 - электромагнитный клапан, 3 - промежуточная ёмкость, 4 - манометр, 5 - компрессор, 6 - электродвигатель, 7 - модельный очаг, 8 - шланги высокого давления, 9 - штатив

На рис. 2 изображено распылительное устройство для подачи огнетушащего средства, а на рис. 3 – общий вид установки при проведении испытания.

Распылительное устройство обеспечивало создание и направленную подачу мелкодисперсной жидкости. Испытания заключались в определении минимального количества микроэмульсии, обеспечивающего уверенное тушение модельного очага пожара горючей жидкости. Максимальное

количество огнетушащего средства, загружаемого в распылительное устройство, составляло 5 мл. В качестве модельного очага пожара горючей жидкости использовалось горение 3 мл бензина, налитого на поверхность воды в круглом металлическом поддоне диаметром 20 см и высотой 5 см. Распылительное устройство располагалось над поверхностью жидкости на высоте ~ 50 см. Давление в распылительном устройстве составляло 2 атм.

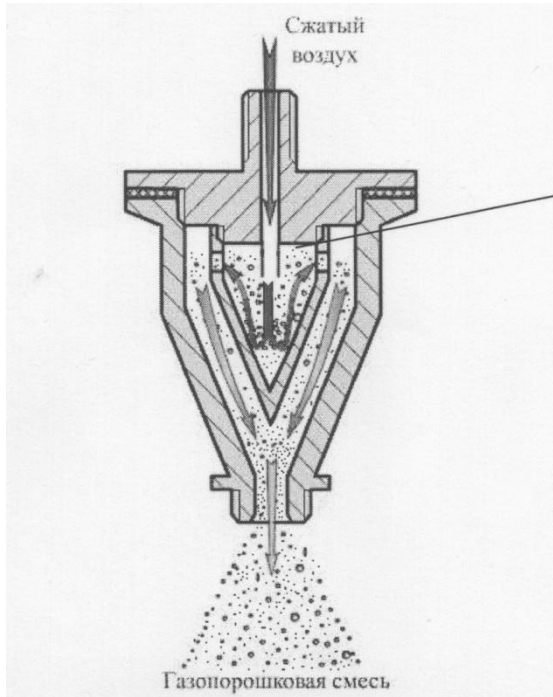


Рис. 2. Конструкция распылительного устройства



Рис. 3. Общий вид проведения испытания на огнетушащую эффективность

В качестве огнетушащего средства сравнения использована водопроводная мелкораспыленная вода.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты испытаний микроэмульсий на огнетушащую эффективность представлены в табл. 3 и 4.

Из полученных данных видно, что горение не прекращалось только при использовании в качестве огнетушащего средства 5 мл воды, 2 мл микроэмульсии МЭ-1, содержащей наименьшее количество 2-иодгептафторпропана, и других микроэмульсий в количестве менее 2 мл. Во всех остальных случаях зафиксировано уверенное тушение модельного очага пожара. Зависимость результата тушения от состава микроэмульсии доказывает воздействие ингибитора горения на пламя.

Результат «Отсутствие распыления» в табл. 4 для микроэмульсий МЭ-7 и МЭ-8 был связан с высокой вязкостью этих микроэмульсий при комнатной (~ 23 °С) температуре. В работе [6] нами было показано, что вязкость исследованных микроэмульсий существенно уменьшается при повышении температуры. Поэтому для понижения вязкости микроэмульсии, помещенные в распылительное устройство, перед испытанием нагревали в пламени зажигалки. Ориентировочное повышение температуры составляло приблизительно 10 – 15 градусов. Из полученных результатов видно, что повышение температуры, как и ожидалось, приводило к понижению вязкости микроэмульсии и способствовало ее эффективному распылению и тушению пламени.

Таблица 3

**Результаты испытаний на огнетушащую эффективность микроэмульсий вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол - триэтанолламин - 2-иодгептафторпропан типа масло в воде**

Огнетушащее средство (ОС)	Объем ОС (мл)	Результат тушения
Вода	4	Отсутствие тушения
МЭ-1	4	Уверенное тушение
	3	Уверенное тушение
	2	Отсутствие тушения
МЭ-2	4	Уверенное тушение
	3	Уверенное тушение
	2	Уверенное тушение

	1	Отсутствие тушения
МЭ-3	4	Уверенное тушение
	3	Уверенное тушение
	2	Уверенное тушение
	1	Отсутствие тушения
МЭ-4	4	Уверенное тушение
	3	Уверенное тушение
	2	Уверенное тушение
	1	Отсутствие тушения

Таблица 4

*Результаты испытаний на огнетушащую эффективность микроэмульсий вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол – триэтаноламин - 1,2-дибромтетрафторэтан*

Огнетушащее средство (ОС)	Объем ОС (мл)	Результат тушения
Вода	5	Отсутствие тушения
МЭ-5	4	Уверенное тушение
	3	Уверенное тушение
	2	Уверенное тушение
	1	Отсутствие тушения
МЭ-7	2	Отсутствие распыления
МЭ-8	5	Отсутствие распыления
	5 при нагревании	Уверенное тушение
	5 при нагревании	Уверенное тушение
	1 при нагревании	Отсутствие тушения
МЭ-9	5	Уверенное тушение
	2	Уверенное тушение
	1	Отсутствие тушения

Другим способом осуществления качественного распыления является, вероятно, повышение давления в установке или создание распылительного устройства другой конструкции.

**Выводы.** Проведены испытания на огнетушащую эффективность микроэмульсий вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол –

триэтаноламин - 2-иодгептафторпропан и микроэмульсий вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол – триэтаноламин - 1,2-дибромтетрафторэтан. Показано, что исследованные микроэмульсии обладают огнетушащим действием лучшим по сравнению с мелкораспыленной водой.

**Библиография**

1. Марков В.Ф. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова, Екатеринбург: УрО РАН. - 2009. - 274 с.
2. Батов Д.В. Получение, теплоемкость и горючие свойства микроэмульсий вода – ПАВ – галогенуглеводород, пригодных для создания комбинированных огнетушащих средств / Д.В. Батов, В.Н. Карцев, С.Н. Штыков // Журн. прикл. химии. - 2012. - Т. 85, № 12. - С. 1218 – 1223.
3. Батов Д.В. Получение и изучение горючести микроэмульсий вода-ПАВ-со-ПАВ-1,1,2,2-тетрафтордибромэтан / Д.В. Батов, Т.А. Мочалова, А.В. Петров // Пожаровзрывобезопасность. - 2012. - Т. 21, № 4. - С.55 – 57.
4. Батов Д.В. Теплоемкость, электропроводность и структурные изменения микроэмульсий вода – додецилсульфат натрия - триэтанолламин – 1-пентанол - 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан / Д.В. Батов, В.Н. Карцев, С.Н. Штыков // Журн. структ. химии. – 2015, № 2. - С. 282 – 287.
5. Батов Д.В. Концентрационная зависимость размера микроагрегатов в микроэмульсиях вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол - триэтанолламин - 2-иодгептафторпропан и вода - додецилсульфат натрия - 1-пентанол – триэтанолламин - 1,2-дибромтетрафторэтан типа масло в воде при 298.15 К. / Д.В. Батов, Т. А. Мочалова // Пожаровзрывобезопасность. - 2016. - Т. 25, № 7. - С. 71 – 76.
6. Шакуров Ф.Ф. Экспериментальное изучение вязкости и плотности негорючих микроэмульсий вода – ПАВ – ко-ПАВ – 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан / Ф.Ф. Шакуров, Д.В. Батов, Т.А. Мочалова // Обеспечение пожарной безопасности, организация и тактика тушения пожаров, проведение аварийно-спасательных работ на предприятиях и в учреждениях различного назначения: межкафедральный научный семинар курсантов и студентов. Иваново, 11 апреля 2013 г. Сборник тезисов докладов / Сост.: В.А. Смирнов, Д.А. Черепанов, М.В. Шмуклер. – Иваново: Отделение организации научных исследований экспертно-консалтингового отдела Ивановского института ГПС МЧС России. - С. 92 - 94.

**References**

1. Markov V.F. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov: Uchebnoe posobie dlya kursantov, studentov i slushatelej obrazovatel'nyh uchrezhdenij MCHS Rossii / V.F. Markov, L.N. Maskaeva, M.P. Mironov, S.N. Paznikova, Ekaterinburg: UrO RAN. - 2009. - 274 s.
2. Batov D.V. Poluchenie, teploemkost' i goryuchie svoystva mikroehmul'sij voda – PAV – galogenouglevodorod, prigodnyh dlya sozdaniya kombinirovannyh ognetyashashchih sredstv / D.V. Batov, V.N. Karcev, S.N. SHtykov // ZHurn. prikl. himii. - 2012. - T. 85, № 12. - S. 1218 – 1223.
3. Batov D.V. Poluchenie i izuchenie goryuchesti mikroehmul'sij voda-PAV-so-PAV-1,1,2,2-tetraftordibromehtan / D.V. Batov, T.A. Mochalova, A.V. Petrov // Pozharovzryvobezopasnost'. - 2012. - T. 21, № 4. - S.55 – 57.
4. Batov D.V. Teploemkost', ehlektroprovodnost' i strukturnye izmeneniya mikroehmul'sij voda – dodecilsul'fat natriya - triehtanolamin – 1-pentanol - 1,1,2,2-tetraftordibromehtan / D.V. Batov, V.N. Karcev, S.N. SHtykov // ZHurn. strukt. himii. – 2015, № 2. - S. 282 – 287.
5. Batov D.V. Koncentracionnaya zavisimost' razmera mikroagregatov v mikroehmul'siyah voda - dodecilsul'fat natriya - 1-pentanol - triehtanolamin - 2-iodgeptaftorpropan i voda - dodecilsul'fat natriya - 1-pentanol – triehtanolamin - 1,2-dibromtetraftorehtan tipa maslo v vode pri 298.15 K. / D.V. Batov, T. A. Mochalova // Pozharovzryvobezopasnost'. - 2016. - T. 25, № 7. - S. 71 – 76.
6. SHakurov F.F. EHksperimental'noe izuchenie vyazkosti i plotnosti negoryuchih mikroehmul'sij voda – PAV – ko-PAV – 1,1,2,2-tetraftordibromehtan / F.F. SHakurov, D.V. Batov, T.A. Mochalova // Obespechenie požarnoj bezopasnosti, organizaciya i taktika tusheniya požarov, provedenie avarijno-spasatel'nyh rabot na predpriyatiyah i v uchrezhdeniyah razlichnogo naznacheniya: mezhkafedral'nyj nauchnyj seminar kursantov i studentov. Ivanovo, 11 aprelya 2013 g. Sbornik tezisov dokladov / Sost.: V.A. Smirnov, D.A. CHerepanov, M.V. SHmukler. – Ivanovo: Otdelenie organizacii nauchnyh issledovanij ehkspertno-konsaltingovogo otdela Ivanovskogo instituta GPS MCHS Rossii. - S. 92 - 94.

## **INVESTIGATION OF FIRE-EXTINGUISHING EFFICIENCY OF DIRECT MICROEMULSIONS CONTAINING COMBUSTION INHIBITORS 1,2-DIBROMOTETRAFLUOROETHANE AND 2-IODOHEPTAFLUOROPROPANE**

*The article reports the results of tests on the fire-extinguishing efficiency of direct microemulsions, containing 1,2-dibromotetrafluoroethane and 2-iodoheptafluoropropane inhibitors as an oil phase combustion. It is shown that the investigated microemulsions studied significantly more effectively suppress combustion in comparison with finely dispersed water.*

**Key words:** *fire extinguishing, combined fire extinguishing agent, water, combustion inhibitor, halocarbon, 1,2-dibromotetrafluoroethane, 2-iodoheptafluoropropane, microemulsion.*

**Батов Дмитрий Вячеславович,**

*д-р хим. наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник,  
ФГБУН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН,  
Россия, г. Иваново,  
тел.: +79106836708,  
e-mail: [bat21dv@yandex.ru](mailto:bat21dv@yandex.ru).*

**Batov D. V.,**

*Dr. Chem. Sci., Senior Researcher,  
Leading Researcher,  
FGBUN Institute of Solution Chemistry. G.A. Krestov RAN,  
Russia, Ivanovo.*

**Мочалова Татьяна Александровна,**

*канд. биол. наук,  
заместитель начальника кафедры  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Россия, г. Иваново,  
тел.: +79206706179,  
e-mail: [mihailmochalov@mail.ru](mailto:mihailmochalov@mail.ru).*

**Mochalova T.A.,**

*Cand. Biol. sciences,  
Deputy Head of the Department  
Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Ivanovo.*

**Сторонкина Ольга Евгеньевна,**

*канд. хим. наук,  
старший преподаватель,  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Россия, г. Иваново,  
тел.: +79158442155,  
e-mail: [oleg1968@mail.ru](mailto:oleg1968@mail.ru).*

**Storonkina O.E.,**

*Cand. chem. sciences,  
Senior Lecturer,  
Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Ivanovo.*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШКИ БИНАРНЫХ (1-ДЕКАНОЛ – Н-ДЕКАН) И ТРОЙНЫХ (1-ДЕКАНОЛ – Н-ДЕКАН - МЕТИЛИЗОБУТИЛКЕТОН) СМЕСЕЙ

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

*В статье сообщаются результаты измерений температуры вспышки бинарных (1-деканол – н-декан) и тройных (1-деканол – н-декан - метилизобутилкетон) смесей различного состава. Для характеристики межмолекулярных взаимодействий в исследованных смесях были измерены их плотности и рассчитаны мольные и избыточные мольные объемы. Обнаружено, что температура вспышки смеси деканол-1 – н-декан в интервале составов 1 - 0.5 мольной доли легколетучего компонента (декана) близка к его температуре вспышки. Для тройных смесей, в которых мольное отношение 1-деканол-н-декан равно 1, добавка третьего легколетучего компонента вызывает монотонное уменьшение температуры вспышки. Апробированы имеющиеся методики расчета температуры вспышки смесей в приближении идеального раствора.*

**Ключевые слова:** *показатель пожарной опасности, температура вспышки, смешанный растворитель, 1-деканол, н-декан, метилизобутилкетон, межмолекулярное взаимодействие, плотность.*

**Введение.** Температура вспышки относится к основным показателям пожарной опасности веществ, так как характеризует процесс формирования пожаро- и взрывоопасных паровоздушных смесей над поверхностью жидкостей.

Проведенный анализ литературных данных по температурам вспышки смешанных растворителей показал, что для сильно неидеальных растворов на зависимостях температуры вспышки от состава могут существовать минимумы и максимумы. В точке минимума температура вспышки может быть на несколько градусов ниже точки вспышки легколетучего компонента. Как справедливо замечено в работе, такая ситуация увеличивает риск взрыва. Примерами таких смесей являются системы с положительным отклонением от закона Рауля. Максимум на кривой поведения точки вспышки связан с отрицательным отклонением от закона Рауля равновесия жидкость-пар, что связано с понижением риска взрыва. Экспериментальных данных, иллюстрирующих предсказанные закономерности, известно мало. Поэтому целью настоящей работы явилось экспериментальное определение температуры вспышки следующих смесей бинарных [1-деканол (1) – н-декан (2)] и тройных [1-деканол (1) – н-декан (2) – метилизобутилкетон (3)] различного состава, а также апробация известных методик расчета температуры вспышки смешанных растворителей.

**Экспериментальная часть.** В работе использовали следующие вещества:

- н-декан квалификации «хч» без дополнительной очистки;
- деканол-1 квалификации «хч» без дополнительной очистки;
- метилизобутилкетон квалификации «хч» без дополнительной очистки.

Приготовление смесей проводили весовым методом.

Реальные растворы с положительными отклонениями от закона Рауля образуются из чистых компонентов с поглощением теплоты (энтальпия смешения  $H^E > 0$ ); объем раствора оказывается больше, чем сумма исходных объемов компонентов ( $\Delta V > 0$ ). Растворы с отрицательными отклонениями от закона Рауля образуются с выделением теплоты ( $H^E < 0$ ); объем раствора в этом случае будет меньше, чем сумма исходных объемов компонентов ( $\Delta V < 0$ ).

В литературе отсутствуют тепловые и объемные свойства исследованных нами смесей. Поэтому для характеристики межмолекулярных взаимодействий в исследованных смесях были измерены их плотности и рассчитаны мольные и избыточные мольные объемы.

Для измерения плотности смесей использовали измеритель плотности жидкостей вибрационный «ВИП-2МР». Предел допустимой абсолютной погрешности измерений плотности не превышал  $\pm 0.0001 \text{ г/см}^3$ . Калибровка прибора осуществлялась по сухому воздуху с учетом атмосферного давления, а также по свежеперегнанной бидистиллированной воде при  $25^\circ\text{C}$ . Результаты эксперимента и расчета представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Объемные свойства смесей 1-деканол (1) – н-декан (2) при 298.15 К**

$X_2$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$V$ , см <sup>3</sup> /моль	$V^E$ , см <sup>3</sup> /моль
0	0.8228	192.37	0.00
0.2	0.8062	192.35	-0.67
0.4	0.7862	193.18	-0.54
0.5	0.7760	193.66	-0.41
0.6	0.7660	194.10	-0.33
0.8	0.7464	194.91	-0.21
1	0.7260	195.82	0.00

Таблица 2

**Объемные свойства смесей 1-деканол (1) – н-декан (2) – метилизобутилкетон (3) при 298.15 К**

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$V$ , см <sup>3</sup> /моль	$V^E$ , см <sup>3</sup> /моль
1	0	0	0.8230	192.326	0.00
0	1	0	0.7266	195.823	0.00
0	0	1	0.7970	125.659	0.00
0.25	0.25	0.50	0.7825	160.025	0.16
0.30	0.30	0.40	0.7807	166.817	0.11
0.35	0.35	0.30	0.7794	173.513	-0.04
0.40	0.40	0.20	0.7777	180.341	-0.05
0.45	0.45	0.10	0.7770	186.974	-0.26
0.50	0.50	0.00	0.7760	193.664	-0.41

Измеренные плотности компонентов смешанных растворителей (табл. 1) хорошо согласуются с данными работ для деканола-1 (0.823 г/см<sup>3</sup>) и для н-декана (0.7266 г/см<sup>3</sup>).

Используя данные плотности, были рассчитаны мольные [формула (1)] и избыточные мольные (2) объемы растворов.

$$V = \frac{X_1 M_1 + X_2 M_2}{\rho} \quad (1)$$

$$V^E = V - X_1 V_1 - X_2 V_2 \quad (2)$$

В формулах (1) и (2)  $X$  – мольная доля,  $M$  – мольная масса,  $V$  – мольный объем,  $V^E$  – избыточный мольный объем. Подстрочные индексы  $i = 1, 2$  и  $3$  обозначают компоненты смеси, соответственно, деканол-1 и н-декан и

метилизобутилкетон. Величины без подстрочных индексов характеризуют бинарную смесь.

Исходя из полученных результатов, исследованные смеси следует отнести к системам с отрицательным отклонением от закона Рауля.

Измерения температуры вспышки смесей выполняли с помощью регистратора автоматического температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А» в режиме закрытого тигля. За температуру вспышки смеси принимали среднее значение 3 измерений. Расхождение экспериментальных результатов не превышало  $\pm 1$  °С. Полученные результаты измерений температуры вспышки исследованных систем представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Температуры вспышки в закрытом тигле смесей деканол-1 (1) – н-декан (2)**

$X_2$	$t_{всп,1}$	$t_{всп,2}$	$t_{всп,3}$	$t_{всп}$
0.00	110	110	110	110 ± 0
0.20	61	61	61	61 ± 0
0.40	53	52	50	52 ± 1
0.50	49	49	49	49 ± 0
0.60	51	51	51	51 ± 0
0.80	49	49	49	49 ± 0
1.00	47	46	47	47 ± 1

Примечание. Здесь и в табл. 4  $t_{всп,1}$ ,  $t_{всп,2}$ ,  $t_{всп,3}$  и  $t_{всп}$  – экспериментальные результаты и среднее значение температуры вспышки.

Таблица 4

Температуры вспышки в закрытом тигле смесей деканол-1 (1) – н-декан (2) – метилизобутилкетон (3) при 298.15 К

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$t_{всп,1}$	$t_{всп,2}$	$t_{всп,3}$	$t_{всп}$
0	0	1	11	11	11	11 ± 0
0.25	0.25	0.5	16	17	17	17 ± 1
0.3	0.3	0.4	18	17	18	18 ± 1
0.35	0.35	0.3	23	21	20	21 ± 2
0.4	0.4	0.2	24	25	25	25 ± 1
0.45	0.45	0.1	33	35	36	35 ± 2
0.50	0.50	0	49	49	49	49 ± 0

Измеренные температуры вспышки компонентов смесей (табл. 3) хорошо согласуются со справочными величинами 110 для деканола-1 и 47 для н-декана. Отклонение измеренной температуры вспышки в 3 градуса от справочного значения (14 °С) для метилизобутилкетона близко к приборной погрешности, которая согласно паспорту составляет 2 °С в интервале температур до 104 °С.

**Результаты и обсуждение.** Исходя из отрицательных избыточных объемов смеси деканол-1 – н-декан (табл. 1), ее следует отнести к системе с отрицательным отклонением от закона Рауля. Избыточный объем смеси деканол-1 – н-декан – метилизобутилкетон имеет отрицательные значения при малом (до 0.3 м.д.) содержании метилизобутилкетона. При дальнейшем увеличении концентрации кетона в смеси ее избыточный мольный объем становится положительным. Такое поведение объемных свойств указывает на сложный характер межмолекулярных взаимодействий в тройной смеси и не позволяет однозначно определить отклонение от закона Рауля.

Полученные экспериментальные результаты по температуре вспышки свидетельствуют о том, что в исследованной системе деканол-1 – н-декан в интервале 1÷0.5 мольной доли легколетучего компонента температура вспышки смеси мало изменяется и близка к его температуре вспышки. Однако минимума на зависимости температуры вспышки от состава смеси не наблюдается. Такое изменение, по-видимому, характерно для смесей алканол – алкан и наблюдалось нами для смеси 2-метилпропанол-1 - н-пентадекан.

Для тройных смесей, в которых мольное отношение деканол-1/н-декан равно 1, добавка третьего легколетучего компонента вызывает монотонное уменьшение температуры вспышки.

Полученные результаты были использованы для тестирования известных методик

расчета температуры вспышки в приближении идеального раствора (формулы 3, 4 и 5).

Определение температуры вспышки смешанного растворителя по методу из работы состоит в определении температуры, при которой выполняется условие (3).

$$\sum_i^k x_i \exp \left[ \frac{\Delta H_{исп,i}}{R(t_{всп,i} + 273)} - \frac{\Delta H_{исп,i}}{R(t_{всп,см} + 273)} \right] = 1$$

Здесь  $\Delta_{исп} H_i^T$  – энтальпия испарения  $i$  – компонента при заданной температуре,  $t_{всп,i}$  и  $t_{всп,см}$  – температуры вспышки  $i$  – компонента и смеси.

Определение температуры вспышки смеси жидкостей по методу из работы [13] заключается в определении температуры, при которой выполняется условие (4)

$$P_{см}^T = P_{всп,см}^T \quad (4)$$

Здесь -  $P_{см}^T$  давление насыщенного пара при температуре  $T$ , которое для смеси рассчитывается по формуле

$$P_{см}^T = \sum_{i=1}^k (X_i P_i^T) = X_1 P_1^T + X_2 P_2^T, \text{ где } X_i \text{ – мольная доля}$$

компонента  $i$  в жидкости,  $P_j^T$  – давление

насыщенного пара  $i$ -компонента, рассчитываемое

по формуле Антуана.  $P_{всп,см}$  – давление

насыщенного пара смеси при температуре вспышки, которое рассчитывается по формуле

$$P_{всп,см} = \frac{\phi_{н,см} P_0}{100}, \text{ где } \phi_{н,см} \text{ – нижний}$$

концентрационный предел распространения пламени для смеси,  $P_0$  – общее давление.

Следует отметить, что расчет по уравнению (4) является аналогичным расчету по уравнениям из работ в приближении идеального раствора.

В учебнике [13] для расчета температуры жидких смесей рекомендуются, как сказано



авторами, «два простых и надежных метода». Один из них описан выше, другой заключается в использовании уравнения (5). По мнению авторов, эта формула может использоваться для смесей нефтепродуктов и других органических жидкостей.

$$t_{всп} = \frac{\omega_{вк} t_{вк} + \omega_{нк} t_{нк} - f(t_{вк} - t_{нк})}{100} \quad (5)$$

Здесь  $\omega$  - массовый процент высококипящего (вк) и низкокипящего (нк) компонента смеси.  $f$  - коэффициент, зависящий от состава смеси, значения которого заимствованы из работы [13].

Необходимые для расчетов величины представлены в табл. 5.

Таблица 5

Некоторые физико-химические свойства исследованных растворителей, использованные для расчетов по уравнениям (3) – (5)

Свойство	Единицы измерения	Деканол-1 (1)	н-Декан (2)	Метилизобутилкетон (3)
M	г/моль	158.28	142.28	100.15
$t_{всп}$	°C	110	47	14
$\Delta_{исп}H$	кДж/моль	79.50	51.36	40.65
$\varphi_n$	%	0.7	0.7	1.31
A		4.533	0.210, 4.07857	3.953
B		1742.392	440.616, 1501.268	1254.095
C		-115.236	-156.896, -78.67	-71.537

При расчете по формуле (3) использовали постоянное значение при стандартных условиях.

При использовании методики (4) для расчета парциального давления насыщенного пара н-декана применяли константы уравнения Антуана из работы, так они приводят к адекватным результатам. Расчет по методике (4) позволяет определить нижний температурный предел распространения пламени  $t_n$ . Для расчета  $t_{всп}$  использовали следующее соотношение между температурой вспышки и нижним температурным пределом распространения пламени:  $t_{всп} = t_n + 2$ .

При использовании уравнения (5) для тройной смеси его сначала использовали для расчета температуры вспышки бинарной смеси деканол-1 – н-декан эквимолярного состава. Затем применили для расчета температуры вспышки смеси, высококипящим компонентом которой являлась эквимолярная смесь деканол-1 – н-декан, а низкокипящим компонентом – метилизобутилкетон.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчета в виде различий расчетных и экспериментальных температур вспышки  $\Delta(t_{всп}) = t_{всп}(расч.) - t_{всп}(эксп.)$ .

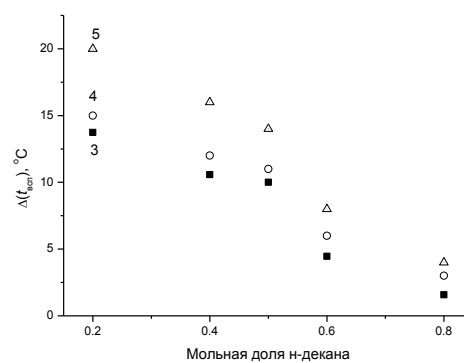


Рис. 1. Отклонение рассчитанных по уравнениям (3), (4) и (5) температур вспышки смеси деканол-1 – н-декан от экспериментальных результатов

Видно, что погрешности расчетов по всем использованным методикам как для бинарной, так и для тройной смесей велики и достигают 20 градусов. Следует отметить также, что все погрешности расчетов являются положительными величинами. Это означает, что все апробированные методики дают завышенные величины температур вспышки смешанных растворителей. Это опасный результат с практической точки зрения, так как преуменьшает возможность воспламенения и взрыва исследованных смесей жидкостей.

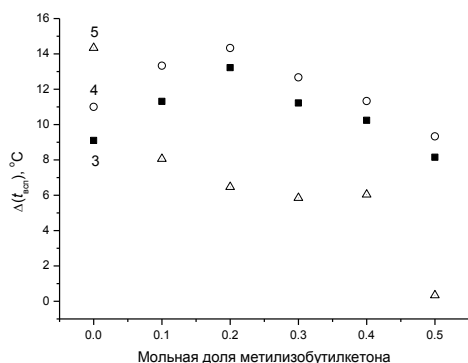


Рис. 2. Отклонение рассчитанных по уравнениям (3), (4) и (5) температур вспышки смеси деканол-1 – н-декан - метилизобутилкетон от экспериментальных результатов

### Библиография

- Liaw H.-J. A mathematical model for predicting the flash point of binary solutions / H.-J. Liaw, Y.H. Lee, C. L. Tang // *J. Loss Prev. Proc. Ind.* – 2002. - V. 15, № 6. - P. 429 – 438.
- Liaw H.-J. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions / H.-J. Liaw, Y.-Y. Chiu // *J. Hazard Mater.* – 2003. - V. 101, № 2. - P. 83–106.
- Есина З.Н. Прогнозирование температуры вспышки бинарных жидких смесей / З.Н. Есина, М.Р. Корчуганова, В.В. Мурашкин // *Проблемы мониторинга окружающей среды (ЕМ-2011): сборник трудов XI Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, 24-28 октября 2011.* - Кемерово : КемГУ, 2011. - 338 с.
- Catoire L. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends / L. Catoire, S. Paulmier, V. Naudet // *J. Phys. Chem. Ref. Data.* - 2006. - № 35. - P. 9–14.
- Vidal M. Prediction of minimum flash point behaviour for binary mixtures / M. Vidal, W.J. Rogers, M.S. Mannan // *Process Saf. Environ. Prot.* – 2006, - № 84. - P. 1 – 9.
- Liaw H.-J. Binary liquid solutions exhibiting minimum flash-point behavior / H.-J. Liaw, T.-P. Lee, J.-S. Tsai, W.-H. Hsiao, M.-H. Chen, T.-T. Hsu // *J. Loss Prev. Proc. Ind.* - 2003.- № 16. - P. 173–186.
- Liaw, H.-J. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior / H.-J. Liaw, S.-C. Lin // *J. Hazard. Mater.* 2007. - V. 140, № 1-2. P. 155–164.
- Крестов Г.А. Физико-химические свойства бинарных растворов: справ. изд. / Г.А. Крестов, В.Н. Афанасьев, Л.С. Ефремова. - Л.: Химия, 1988. - 688 с.
- Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Асс. «Пожнаука», 2004. - Ч. 1. - 713 с.
- Химическая энциклопедия: В 5 т.: т.3:

### Выводы.

В исследованной бинарной системе деканол-1 – н-декан в интервале 1 ÷ 0.5 мольной доли легколетучего компонента температура вспышки смеси мало изменяется и близка к его температуре вспышки.

В тройных смесях деканол-1 – н-декан – метилизобутилкетон, в которых мольное отношение деканол-1/н-декан равно 1, добавка третьего легколетучего компонента вызывает монотонное уменьшение температуры вспышки.

Все апробированные методики дают завышенные величины температур вспышки смешанных растворителей. Это опасный результат с практической точки зрения, так как преуменьшает возможность воспламенения и взрыва исследованных смесей жидкостей.

### References

- Liaw H.-J. A mathematical model for predicting the flash point of binary solutions / H.-J. Liaw, Y.H. Lee, C. L. Tang // *J. Loss Prev. Proc. Ind.* – 2002. - V. 15, № 6. - P. 429 – 438.
- Liaw H.-J. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions / H.-J. Liaw, Y.-Y. Chiu // *J. Hazard Mater.* – 2003. - V. 101, № 2. - P. 83–106.
- Esina Z.N. Prognostirovanie temperatury vspyshki binarnykh zhidkikh smesey / Z.N. Esina, M.R. Korchuganova, V.V. Murashkin // *Problemy monitoringa okruzhayushchej sredy (EM-2011): sbornik trudov XI Vserossijskoj konferencii s uchastiem inostrannykh uchenykh, 24-28 oktyabrya 2011.* - Kemerovo : KemGU, 2011. - 338 s.
- Catoire L. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends / L. Catoire, S. Paulmier, V. Naudet // *J. Phys. Chem. Ref. Data.* - 2006. - № 35. - P. 9–14.
- Vidal M. Prediction of minimum flash point behaviour for binary mixtures / M. Vidal, W.J. Rogers, M.S. Mannan // *Process Saf. Environ. Prot.* – 2006, - № 84. - P. 1 – 9.
- Liaw H.-J. Binary liquid solutions exhibiting minimum flash-point behavior / H.-J. Liaw, T.-P. Lee, J.-S. Tsai, W.-H. Hsiao, M.-H. Chen, T.-T. Hsu // *J. Loss Prev. Proc. Ind.* - 2003.- № 16. - P. 173–186.
- Liaw, H.-J. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior / H.-J. Liaw, S.-C. Lin // *J. Hazard. Mater.* 2007. - V. 140, № 1-2. P. 155–164.
- Krestov G.A. Fiziko-himicheskie svojstva binarnykh rastvoritelej: sprav. izd. / G.A. Krestov, V.N. Afanas'ev, L.S. Efremova. - L.: Himiya, 1988. - 688 s.
- Korol'chenko, A.YA. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya. Spravochnik: v 2-h ch. / A.YA. Korol'chenko, D.A. Korol'chenko. – 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Ass. «Pozhnauka», 2004. - CH. 1. - 713 s.
- Himicheskaya ehnciklopediya: V 5 t.: t.3: Medi/Polimernye / Redkol.: Knunyanc I. L. (gl. red. ) i

Меди/Полимерные / Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др. – М.: Большая Российская. энцикл., 1992. – 639 с.

11. Мочалов А.В. Температуры вспышки смесей 2-метилпропанола с n-пентадеканом / А.В. Мочалов Ф.Ф. Шакуров, Т.А. Мочалова, Д.В. Батов // VI Конференция молодых ученых «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем» (Крестовские чтения)». 8 – 12 ноября 2011. Тезисы докладов. – Иваново, 2011. - С. 96.

12. Руководство «Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов» / Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя, С.Н. Копылов, В.И. Горшков, И.А. Корольченко, А.Н. Поletaев, Н.Л. Поletaев, О.В. Васина, В.Н. Вереvкин, С.Г. Белов. - Сogласовано с ГУГПС МЧС России, исх. № 30/4/1808 от 25.06.2002 г., и утверждено ФГУ ВНИИПО МЧС России 30.08.2002 г.

13. Бронисhevский Б.П. Специальная химия. Учебное пособие / Б.П. Бронисhevский, В.А. Шандыба. - М.: Учебно-методический кабинет, 1979. - 117с.

14. Kulikov D., Verevkin S.P., Heintz A. Enthalpies of vaporization of a series of aliphatic alcohols. *Fluid Phase Equilibria*. 2001. Vol. 192. N 1-2. P. 187-207. [doi:10.1016/S0378-3812(01)00633-1]

15. Ambrose D, Ellender J.H., Sprake C.H.S. Thermodynamic properties of organic oxygen compounds XXXV. Vapour pressures of aliphatic alcohols. *J. Chem. Thermodyn.* 1974. Vol. 6. N 9. P. 909 - 914.

16. Majer V., Svoboda V., *Enthalpies of Vaporization of Organic Compounds: A Critical Review and Data Compilation*, Blackwell Scientific Publications. - Oxford, 1985. – 300 p.

17. Carruth G.F., Kobayashi R. Vapor pressure of normal paraffins ethane through n-decane from their triple points to about 10 mm mercury. *J. Chem. Eng. Data.* - 1973. - Vol. 18. N 2. - P. 115-126. [doi:10.1021/je60057a009].

18. Williamham C.B., Taylor W.J., Pignocco J.M., Rossini F.D. Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane, and Alkylbenzene Hydrocarbons, *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*. - 1945, 35, 3. – P. 219-244. [doi:10.6028/jres.035.009]

19. Fuge E.T.J., Bowden S.T., Jones W.J. Some Physical Properties of Diacetone Alcohol, Mesityl Oxide and Methyl Isobutyl Ketone, *J. Phys. Chem.* - 1952, 56, 8. - P. 1013-1016. [doi:10.1021/j150500a022.

dr. – М.: Bol'shaya Rossijskaya. ehncikl., 1992. – 639 s.

11. Mochalov A.V. *Temperatury vspyshki smesej 2-metilpropanola s n-pentadekanom* / A.V. Mochalov F.F. SHakurov, T.A. Mochalova, D.V. Batov // VI Konferenciya molodyh uchenyh «Teoreticheskaya i ehksperimental'naya himiya zhidkofaznyh sistem» (Krestovskie chteniya)». 8 – 12 noyabrya 2011. Tezisy dokladov. – Ivanovo, 2011. - S. 96.

12. *Rukovodstvo «Raschet osnovnyh pokazatelej požarovzryvoopasnosti veshchestv i materialov»* / YU.N. SHEbeko, V.YU. Navcenya, S.N. Kopylov, V.I. Gorshkov, I.A. Korol'chenko, A.N. Poletaev, N.L. Poletaev, O.V. Vasina, V.N. Verevkin, S.G. Belov. - Soglasovano s GUGPS MCHS Rossii, iskh. № 30/4/1808 ot 25.06.2002 g., i utverzhdeno FGU VNIPO MCHS Rossii 30.08.2002 g.

13. Bronishevskij B.P. *Special'naya himiya. Uchebnoe posobie* / B.P. Bronishevskij, V.A. SHandyba. - М.: Uchebno-metodicheskij kabinet, 1979. - 117s.

14. Kulikov D., Verevkin S.P., Heintz A. *Enthalpies of vaporization of a series of aliphatic alcohols. Fluid Phase Equilibria*. 2001. Vol. 192. N 1-2. P. 187-207. [doi:10.1016/S0378-3812(01)00633-1]

15. Ambrose D, Ellender J.H., Sprake C.H.S. *Thermodynamic properties of organic oxygen compounds XXXV. Vapour pressures of aliphatic alcohols. J. Chem. Thermodyn.* 1974. Vol. 6. N 9. P. 909 - 914.

16. Majer V., Svoboda V., *Enthalpies of Vaporization of Organic Compounds: A Critical Review and Data Compilation*, Blackwell Scientific Publications. - Oxford, 1985. – 300 r.

17. Carruth G.F., Kobayashi R. Vapor pressure of normal paraffins ethane through n-decane from their triple points to about 10 mm mercury. *J. Chem. Eng. Data.* - 1973. - Vol. 18. N 2. - P. 115-126. [doi:10.1021/je60057a009].

18. Williamham C.B., Taylor W.J., Pignocco J.M., Rossini F.D. Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane, and Alkylbenzene Hydrocarbons, *J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.)*. - 1945, 35, 3. – R. 219-244. [doi:10.6028/jres.035.009]

19. Fuge E.T.J., Bowden S.T., Jones W.J. Some Physical Properties of Diacetone Alcohol, Mesityl Oxide and Methyl Isobutyl Ketone, *J. Phys. Chem.* - 1952, 56, 8. - R. 1013-1016. [doi:10.1021/j150500a022.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION AND CALCULATION OF TEMPERATURES OF FLASH OF BINARY (1-DECANOL-N-DECANE) AND TROIS (1-DECANOL-N-DECANE-METHYLISOBUTYLKETONE) MIXTURES

The article reports the results of measurements of the flash point of binary (1-decanol-n-decane) and triple (1-decanol-n-decane-methylisobutyl ketone) mixtures of various compositions. To characterize the intermolecular interactions, the densities in the mixtures studied were measured, and molar and excess molar volumes were calculated. It was found that the flashpoint of the decanol-1-n-decane mixture in the interval of 1 - 0.5 molar fraction of the volatile component (decane) is close to its flash point. For ternary mixtures in which the mole ratio of 1-decanol-n-decane is 1, the addition of the third volatile component causes a monotonic decrease in the flash point. Approved methodologies for calculating the flash point of mixtures in the ideal solution approximation are tested.

**Key words:** fire hazard index, flash point, mixed solvent, 1-decanol, n-decane, methyl isobutyl ketone, intermolecular interaction, density.

**Батов Дмитрий Вячеславович,**

Д.х.н.,

ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник,

Объединенный физико-химический центр растворов Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН и Ивановского государственного химико-технологического университета, ФГБУН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет,

Россия, г. Иваново,

тел.: +79106836708,

e-mail: [bat21dv@yandex.ru](mailto:bat21dv@yandex.ru).

**Batov D. V.,**

Doctor of Chemical Sciences,

Senior Researcher, Senior Researcher,

The combined physicochemical solution center of the Institute of Solution Chemistry. G.A. Krestov RAS and Ivanovo State University of Chemical Technology, FGBUN Institute of Solution Chemistry. G.A. Krestov RAN, FGBOU VO Ivanovo State University of Chemical Technology

Russia, Ivanovo.

**Мочалова Татьяна Александровна,**

К.б.н.,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново,

тел.: +79206706179,

e-mail: [mihailmochalov@mail.ru](mailto:mihailmochalov@mail.ru).

**Mochalova T. A.,**

Candidate of Biological Sciences

Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

**Сторонкина Ольга Евгеньевна,**

К.х.н.,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

тел.: +79158442155, e-mail: [oleg1968@mail.ru](mailto:oleg1968@mail.ru).

**Storonkina O. E.,**

Candidate of Chemical Sciences,

Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

## ЗАГОРАНИЕ УТЕЧЕК БЫТОВОГО ГАЗА, ИНИЦИИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ АВАРИЙНЫМИ РЕЖИМАМИ

*И.Д. Чешко, А.С. Смирнов, А.А. Тумановский*

*В статье анализируются многочисленные случаи загораний (взрывов) топливо-воздушных смесей, образующихся при утечках метана или пропан-бутана, источником зажигания в которых являются так называемые «электрические аварийные режимы» - короткие замыкания и большие переходные сопротивления. Приведена схема развития чрезвычайных ситуаций при утечке горючего газа в помещении. Описаны возможные механизмы возникновения аварийных ситуаций и материальные следы их протекания. Рассмотрен более сложный вариант инициирования загорания (взрыва) газа, сочетающий в себе два аварийных процесса, протекающих последовательно. Первый процесс связан с утечкой тока на металлоконструкции и появлением в образовавшейся электрической цепи зоны локального нагрева в местах «плохого контакта». Второй обеспечивает формирование горючей среды за счет разгерметизации газопровода и утечки газа. Показана необходимость более надежной и совершенной конструктивной защиты газового оборудования от возможных утечек тока и возникновения потенциала на газовых трубах и газовых приборах.*

**Ключевые слова:** *утечка, бытовой газ, аварийный режим, метан, утечка тока, пожарно-техническая экспертиза.*

Пожары (взрывы), связанные с утечкой бытового газа, происходят регулярно. В лучшем случае они заканчиваются пожарами (загораниями), локализованными в пределах одного помещения или части помещения. В худшем – разрушением конструкций дома и человеческими жертвами.

В качестве примера приведем два пожара 2016 года.

Первый произошел в Рязани 23 октября 2016 г. В результате взрыва уничтожено 7 квартир многоэтажного дома, погибло 7 человек.

Второй произошел в Иваново 6 ноября 2016 года. В результате разрушен подъезд двухэтажного дома, погибло 6 человек.

Сценарий развития чрезвычайных ситуаций такого рода укладывается в два основных варианта (рис. 1).

Вариант 1. При утечке со скоростью, обеспечивающей формирование локальной концентрации в пределах от НКПР до ВКПР и появлении (наличии) в данной зоне источника

зажигания, возникает факельное горение, которое при соответствующей окружающей пожарной нагрузке, распространяется за пределы зоны очага пожара.

Вариант 2. В случае утечки и временного отсутствия источника зажигания может сформироваться взрывоопасное облако перемешанной топливо-воздушной смеси, которое при таком «запоздалом» внесении источника зажигания приведет к газовому взрыву.

Наиболее распространенной может считаться ситуация, когда газовый взрыв является следствием грубейших нарушений правил пожарной безопасности. Примером такого взрыва может быть инцидент в Приозерске Ленинградской области в 1996 году.

20 декабря 1996 года примерно в 0 час. 50 мин. в жилом доме №32 по ул. Горького г. Приозерска (Ленинградская обл.) произошел взрыв. Взрыв сопровождался пожаром. Во время происшествия погибло 13 человек.



Рис. 1. Древо событий при утечке горючего газа в помещение (ИЗ – источник зажигания)

За некоторое время до взрыва и пожара одна из квартир этого дома (№ 83), в которой проживала семья Ш., была отключена от газовой магистрали дома в связи с неуплатой за пользование газом. На вентиляльный выход в квартиру мастером «Выборгмежрайгаза» была поставлена заглушка. Однако квартиросъемщик Ш. сделал, как следовало из показаний свидетелей, самовольную подводку газа через резиновый шланг от места снятой заглушки до газовой плиты. Соседи неоднократно жаловались на запах газа.

Взрыв повлек разрушение квартир 2,3,4 этажей одной из жилых секций здания (рис.2).

Экспертами была произведена расчетная оценка массы взорвавшейся газовой смеси и давления взрыва, исходя из возникших при взрыве разрушений. Оказалось, что масса взорвавшегося газа составляла не менее 25 кг., а избыточное давление – около 350 кПа. [1]

В данном случае имело место проявление **антропогенного фактора**, труднее всего профилактируемого.

Редко, но происходят и газовые взрывы, связанные с **техническими неполадками** в системе газоснабжения.



Рис. 2. Последствия взрыва газозвушной смеси в Приозерске (1996 г)

Так, например, вечером 16 ноября 2014 года практически одновременно в 4 жилых домах Москвы по Шелепихинскому шоссе и Шелепихинской набережной произошли взрывы. Пострадало 26 квартир. Инцидент стал следствием сбоя в работе оборудования местной газораспределительной станции, подававшей газ под повышенным давлением. [2]

В то же время существует еще один, более сложный вариант инициирования загорания (взрыва) газа, описанию которого посвящена данная статья. Он сочетает в себе **два аварийных процесса, протекающих последовательно**.

Первый процесс, электрический, связан с утечкой тока на металлоконструкции и появлением в образовавшейся электрической цепи зоны (зон) локального нагрева в местах «плохого контакта» (больших переходных сопротивлений, БПС).

Второй обеспечивает формирование горючей среды за счет разгерметизации газопровода и утечки газа, причем разгерметизация эта является следствием протекания первого, «электрического» аварийного процесса.

Подобные пожары начали происходить с появлением в жилых домах электрогазовых плит. В отличие от обычных газовых плит, они имели дополнительные сервисные устройства в виде гриля, двигателя вертела, электроподжига, таймера и т.п.

В Санкт-Петербурге загорания, при которых в очаговой зоне оказывались электрогазовые плиты, начались в конце 90-х годов прошлого столетия. В период с 1998 по 2001 год произошло более десятка таких пожаров. Пострадал даже академик Д.С. Лихачев – причастной к пожару в квартире академика оказалась электрогазовая плита, подаренная ему руководством города.

Сотрудники Испытательной пожарной лаборатории Санкт-Петербурга в указанный период



времени исследовали 11 таких пожаров. Загорания происходили с участием плит ELECTROLUX (Швеция), REESON (Италия), ARISTON (Италия), BOSCH (Германия), SEPPEL FRICKE (Германия), SMEG (Италия.). Было установлено, что пожары, как правило, происходили вследствие разгерметизации гибких шлангов, которыми плиты подключались к внутриквартирным газопроводам.[3]

Все эти шланги имели металлическую (стальную) оплетку. В местах разгерметизации оплетки имели локальные оплавления провололочек - следы электродуговых процессов. Более того, на некоторых гибких шлангах оплавленными оказались более массивные элементы - штуцера, втулки и накидные гайки по месту их присоединения либо к плитам, либо к стационарным трубам внутреннего газопровода (рис. 3).



Рис. 3. Термические поражения гибких шлангов (подводок) к электрогазовым плитам (выделены пунктиром) [3].

Газовая плита оказалась с электроподжигом. Ее обследование с помощью детектора поиска скрытой электропроводки показало, что газовая панель и газовый шланг, идущий от неё, находятся под напряжением.

Причина пожара была сформулирована экспертом как «появление электрического потенциала на металлической оплетке гибкого газового шланга, возникновение БПС в зоне соединения металлической оплетки и вальцованной втулки штуцера; разогрев зоны контакта, появление искровых разрядов, приведших к проплавлению шланга, разгерметизации газовой линии и загоранию выходящего газа».[4] Действительно, установленные обстоятельства пожара, объекты, находившиеся в пределах очаговой зоны и, главное, морфологические признаки протекания аварийного электрического процесса, сформировавшиеся на конце газового шланга, позволяли сделать категорические выводы о механизме возникновения и развития аварийного процесса, приведшего к пожару. Он аналогичен механизму описанных выше аварийных процессов 90-х годов.

Пожары подобного рода продолжают в настоящее время, несмотря на превентивные меры технического характера.

Приведем несколько свежих примеров.

Первый произошел в апреле 2016 г. в городе Орле, квартире жилого дома.

В заключении эксперта указывалось, что «термические повреждения обнаружены в помещении кухни, в месте расположения бытовой газовой варочной плиты. У газового шланга ...металлическая оплетка закопчена по всей площади. На конце шланга расположена вальцованная втулка, на которой наблюдается сквозной прожог и расплавление металла размером 1,5x1,3 см. Штуцер в месте присоединения резинового шланга частично расплавлен со стороны прожога втулки, сам резиновый шланг частично выгорел» (рис.4).[4]



Рис. 4. Локальные термические поражения гибкого газового шланга [4]

Второй пожар произошел также в Орле, в декабре 2016.[5]

Загорание произошло также на кухне, в районе расположения газовой плиты. На месте пожара был изъят гибкий соединительный газовый шланг в металлической оплетке. На одном конце его находился штуцер, на другом - гайка. На обоих концах - вальцованные втулки. На втулках - проплавления металла (сквозные прожоги), аналогичные представленным выше (рис 5).

Сам резиновый шланг в районе втулок также выгорел:



Рис. 5. Проплавление втулки газового шланга

Еще один подобный пожар произошел в июле 2016 г. во Пскове [6]

Как и в большинстве подобных случаев, очаг пожара – на кухне, между газовой плитой «HANSA FCMW 58024» и раковиной (рис. 6).

Там частично прогорело и обуглилось (наряду с задней стенкой мебели) напольное покрытие. В очаге был найден остов газового счетчика, к которому с одной стороны подключен

гибкий шланг с металлической оплеткой от электрогазовой плиты, с другой – через П-образную трубку - к трубопроводу газового снабжения.

У гибкого шланга внутри частично выгорела газовая трубка, частично сохранилась в обугленном состоянии. У шланга на одном конце оплавлена муфта крепления к газовому счетчику. Она разрушена с образованием локального проплавления (рис 7.)



Рис. 6. Фото очаговой зоны (на стене отмечен очаговый конус)



Рис. 7. Муфта крепления гибкого шланга в двух проекциях (а, б, в), сохранившаяся муфта гибкой подводки. (стрелкой показаны сохранившиеся обугленные нити льняного волокна)

В данном случае отлично проявился многократно отмеченный признак рассматриваемого аварийного режима – проплавление в одной из зон контакта. На фото рис. 7 видно, что в качестве уплотнителя намотано льняное волокно. Это проверенное средство герметизации газовых и гидравлических линий, но оно может создавать в контактном соединении препятствие прохождению тока утечки и предпосылки для нагрева при его прохождении. Очевидно, что такое же волокно изолировало

контакт шланга со счетчиком. Но его сопротивление оказалось больше и развился полноценный аварийный процесс.

Тот же, по сути, процесс, но с другим путем заноса электрического потенциала имел место в Тамбове (2016 год) [7].

Пожар произошел в котельной магазина «Магнит»

Очаг пожара находился в месте прохождения гибкого газового шланга через корпус газового котла (рис. 8).





Рис. 8. а,б,в а) –левая стенка котла; б- задняя стенка котла в) - место прохода шланга через левую стенку котла

На представленных на исследование фрагментах гибкого металлизированного газового шланга и фрагменте листовой стали были обнаружены следы оплавления, характерного для дуги КЗ.

На левой стенке котла, на высоте примерно 0,4 м, имелось сквозное отверстие, через которое проходил шланг. Он оказался приплавлен к краю отверстия, что было явным свидетельством протекания электродугового процесса, протекающего при коротком замыкании.

Дальнейшее исследование пожара показало, что в данном случае также имел место занос электрического потенциала. Он произошел от

зависшего провода уличной линии электропередачи на металлическую крышу магазина, затем на уличный газопровод, который в свою очередь был без диэлектрической вставки соединен с гибким металлизированным газовым шлангом. Газовый шланг касался корпуса котла (надо полагать, заземленного) в установленной очаговой зоне [7].

На фото газового котла (рис.8.1-8.3) показано место прохождения газового шланга через корпус газового котла; на фото рис. 9 - место контакта уличной линии электропередач с металлической кровлей магазина и кровли с газовой трубой.



Рис. 9. а) Место контакта неизолированного провода с кровлей здания; б) Место контакта металлических элементов кровли с газовой трубой

Похожий по механизму пожар произошел в здании администрации сельского поселения, для отопления которого использовался отопительный аппарат на газовом топливе типа АОГВ. [8] Уходя с работы, сотрудники администрации оставили аппарат в так называемом «режиме фитиля», т.е. не перекрытой подачей газа и горящим запальником.

Исследование данного пожара показало, что очаг его расположен именно в зоне установки аппарата АОГВ, а на вальцованных втулках гибких шлангов в металлической оплетке, подсоединенных

к газовому трубопроводу, имеются проплавления металла (рис. 10). Разрушен в локальной зоне и переходник, имеющий резьбовое соединение с указанным выше шлангом.

Картина расплавления втулок была очень похожа на разрушения подобных подводов к электрогазовым плитам, показанная на рис.3, и обусловлена теми же причинами – нагревом в зоне БПС, возникшего на пути утечки тока с металлической оплетки шланга на заземленную трубу газопровода. Остается только понять, каким образом

произошел вынос напряжения корпус аппарата АОГВ и металлическую оплетку газового шланга.

Одна из сотрудниц администрации после пожара показала, что, когда она стала перед уходом домой выключать газовый котел, ее ударило током. Было установлено еще одно важное обстоятельство - в техническом помещении, где стоял отопительный агрегат, стены имели металлическую обшивку и непосредственно на неё был установлен электрический щиток с электрокоммутационными элементами.

Учитывая указанные обстоятельства, эксперт вполне обоснованно предположил, что электрический потенциал мог появиться на металлической обшивке стен и перейти на металлическую оплетку гибких газовых подводок. В результате возник ток утечки на заземленный трубопровод газоснабжения. «Плохой контакт» в зоне соединения гибкой подводки с газовой трубой привел к разогреву зоны контакта, появлению искровых разрядов и, в конечном счете, проплавлению трубы и шланга, разгерметизации газовой линии и загоранию выходящего газа.

Еще один вариант начального этапа аварийного процесса, приводящего к пожару, описан М.Н. Чугуновым [9].

Пожар произошел в жилом доме, очаг пожара располагался между напольной частью кухонного гарнитура и стеной, в месте установки газовой плиты фирмы «FAGOR» с системой электроподжига.

Четко выраженный очаговый конус - локальное закопчение и выгорание ДСП - начинался от уровня 30 - 40 см от пола. В этой зоне оказался штуцер соединения двух резиновых трубок в металлической оплетке, по которым подавался газ. Трубки длиной 77 и 120 см были последовательно соединены и одним концом подсоединялись к газопроводу, другим - к плите.

У соединенной с газопроводом трубки на участке в 35 см выгорел резиновый шланг. На металлической оплетке, ближе к месту выгорания трубки, имелись многочисленные следы разбрызгивания металла. Обе вальцованные втулки 1-ой трубки имели следы прогорания металла. Вторая трубка (которая шла от первой трубки к газовой плите) выгорела на участке в 3 см. Корпус штуцера (между двумя трубками) имел следы проплавления металла. Второй штуцер, присоединенный к газовой плите, оплавлений не имел.

Дуговые оплавления имелись и на проводе электропитания, что свидетельствовало о том, что

во время пожара он находился под напряжением.

Эксперт предложил такую версию развития событий. Как оказалось, электрическая вилка провода электроподжига разбиралась, в результате чего возникло механическое повреждение изоляции фазного провода и его замыкание на заземляющий контакт электровилки. Так как провод защитного заземления был соединен с металлическим корпусом газовой плиты, то имела место электрическая связь корпуса газовой плиты с токопроводящим проводом электропитания (что было подтверждено измерением потенциала между этими изделиями).

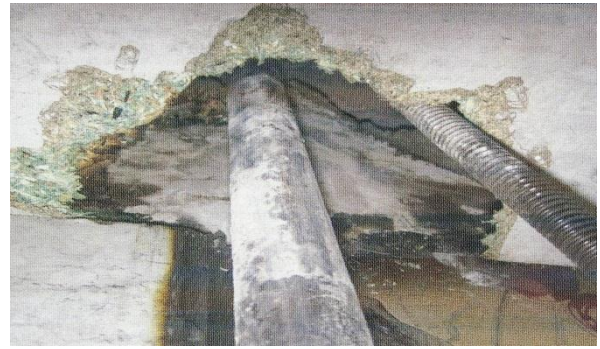
Поскольку газовый трубопровод заземлен, на него, как и в описанных выше случаях, происходила утечка тока по металлической оплетке трубок газопровода. Далее события развивались также по описанному сценарию - «плохой контакт» в местах соединения трубок - разогрев в зоне плохого контакта - прогорание резинового шланга - утечка газа и его загорание искровыми разрядами в зоне БПС.

Необходимо заметить, что фирмами, монтирующими и обслуживающими газовое хозяйство, принимаются определенные меры предупреждения токов утечки. Для этого на внутриквартирной газовой разводке ставят так называемые изолирующие диэлектрические вставки. Они представляют собой неразъемное соединение и устанавливаются между газовым краном и газовой подводкой. Металлические части, вплавленные в полимерный диэлектрик, не соединяются друг с другом и исключают возможность прохождения через вставку токов утечки. Однако, как будет ясно из приведенного ниже примера, непродуманный, неквалифицированный монтаж может привести к тому, что ток утечки найдет другой путь и загорание всё таки произойдет.

Пожар произошел в Твери, в квартире жилого дома, на кухне.[10].

Очаг пожара находился по месту установки газовой варочной панели со шкафом-духовкой. Оборудование было установлено в 2015 году. Газовая панель соединялась сильфонным шлангом (гофрошлангом) с газовым счетчиком. От счетчика шел отвод газовой трубы к газовому стояку. Там же стоял газовый кран, между краном и счетчиком смонтирована диэлектрическая муфта. Это, однако, не предупредило развитие аварийной ситуации. Сильфонный шланг проходил через столешницу параллельно газовой трубе (рис.10) и в одном месте, провиснув, соприкасался с трубой (рис11).





**Рис 10.** Взаимное расположение гофрошланга (гибкой газовой подводки) и газовой трубы (стояка)  
а) прохождение газовой трубы и сильфонного шланга через отверстие в столешнице кухонного стола.  
б) место соприкосновения (контакта) сильфонного шланга и газовой трубы под столешницей

Искрение и разогрев зоны контакта за счет БПС привел к точечному прожогу сильфонного шланга, утечке и загоранию газа (рис. 11)

Таким образом, муфта не спасла.

В большинстве описанных выше случаев пожар начинался в результате факельного горения по месту разгерметизации газопровода. Этим объясняются относительно «благополучные» итоги инцидента, малая площадь зоны горения, отсутствие взрывных явлений и их последствий. Однако процесс может пойти и по другому, более опасному варианту, указанному выше на схеме рис.1.

Самая опасная ситуация возникает в случае, когда к моменту загорания успевает образоваться большое облако перемешанной смеси

горючего с воздухом и происходит «запоздалое зажигание».

Такая ситуация имела место несколько лет назад на Петроградской стороне Санкт-Петербурга. Взрыв произошел в квартире, где заканчивался ремонт; накануне на кухне установили секционную мебель со встроенной бытовой техникой, в том числе газовой плитой. Квартира на момент взрыва была закрыта, людей в ней не было. В результате взрыва было разрушено несколько квартир дома, часть наружной стены и внутренние перегородки. За взрывом последовал пожар, который, впрочем, был быстро ликвидирован прибывшими пожарными.

Судя по последствиям (разрушениям), имел место взрыв газовоздушной смеси.



**Рис. 11.** Прожег сильфонного шланга в результате утечки тока  
а) участок сильфонного шланга с прожегом (стрелкой указано сквозное отверстие)  
б) Крупный план сквозного отверстия в гофрошланге (МБС-22, увеличение 56<sup>x</sup>) Видны следы электрических эрозивных процессов

При осмотре места взрыва, кроме типичных взрывных поражений и общего закопчения, на кухне за плитой была обнаружена локальная зона выгорания тыльной части кухонной мебели. Там же проходили газовая и водопроводная трубы, практически в этой зоне соприкасаясь, а к газовой трубе подсоединялась разрушенная на момент осмотра экспертами гибкая подводка, по которой к плите подавался газ.

Картина была очень похожа на ту, которая наблюдалась на описанных выше пожарах в электрогазовых плитах при утечке тока на их корпус, а с него по металлической оплетке газового шланга на газовую трубу. В таких ситуациях в месте подсоединения газового шланга к металлической трубе часто возникает БПС, которое приводит к разгерметизации линии, выходу газа и его загоранию. Но в данном случае **шланг не имел металлической оплетки и не мог послужить электропроводным мостиком** для утечки тока!

В процессе исследования, однако, выяснилось, что вынос напряжения действительно имел место. Но под напряжением (даже после взрыва и пожара) находилась водопроводная труба. Вынос напряжения на нее произошел где-то за пределами квартиры (выше и ниже этажами также проводились евроремонты квартир). С этой трубы на газовую, поскольку они практически соприкасались в месте, где к газовой трубе подсоединялся резиновый газовый шланг, происходила утечка тока, при этом в точке соприкосновения, судя по последствиям, имел место «плохой контакт». Разогрев в зоне БПС привел, надо полагать, к разрушению подсоединенного к газовой трубе газового гибкого шланга (**прогорела резина на участке шланга, прилегающем к зоне нагрева БПС**). По причине потери герметичности газовой линии газ начал выходить наружу, постепенно заполняя помещение кухни и примыкающий к ней коридор и формируя взрывоопасную газозадушенную среду.

Что же послужило источником зажигания? Как известно, в зоне «плохого контакта» проводников (в данном случае двух труб) происходит сильный разогрев, возникают микродуги, искрение. Эти факторы вполне могут послужить источником зажигания метано-воздушной смеси. Но в данном случае, если бы это было так, искры зажгли бы газ, выходящий из зоны разгерметизации газовой линии. Возникло бы факельное горение (см. схему рис. 1), факел выжигал бы окружающие предметы, способствуя возникновению пожара, но никак не взрыва! В данном случае газ выходил, не зажигаясь. Такое могло быть, если утечка происходила на стадии обугливания и разрушения резины внутренней оболочки шланга на участке БПС и зоне, к нему прилегающей, до проявления искровых разрядов.

Очевидно, что фактический источник зажигания, инициировавший взрыв, был удален от места выхода газа настолько, что прежде, чем зона

взрывоопасной концентрации ГВС его достигла, успело (судя по последствиям взрыва) произойти заполнение газом объема кухни и части коридора. Таким источником мог быть включенный в сеть холодильник, установленный в коридоре рядом с кухней. Другие источники зажигания, судя по известным обстоятельствам пожара, можно было исключить.

Из изложенного выше видно, что при утечке тока за счет больших переходных сопротивлений и соответствующего тепловыделения, на пути тока могут возникать зоны локального разогрева, искрения и даже, в конечном случае, коротких замыканий. В случае если это происходит на газовом оборудовании, подобные процессы могут привести к разгерметизации газовых линий, утечке газа и загоранию.

Протекающие процессы оставляют четкие материальные следы, достаточно специфические, которые могут быть выявлены и зафиксированы в ходе экспертного исследования пожара (взрыва). Данные следы (оплавления, проплавления, следы микродуг и др.) формируют устойчивые классификационные признаки аварийного процесса.

Возможность протекания рассмотренных выше процессов, приводящих к возникновению пожара (взрыва), и формирующиеся при этом характерные термические поражения необходимо учитывать как при экспертном исследовании подобных инцидентов, так и в профилактической работе.

Отработку версии о причастности к возникновению пожара аварийного режима в электро- и газовом оборудовании плиты желательно начинать с детального исследования всей трассы прохождения газовой линии в пределах зоны горения. Необходимо выявить место возникновения локального нагрева вследствие БПС, зафиксировать его наличие и изъять фрагмент со следами аварийного режима. Изъятию подлежит, в частности, гибкий соединительный шланг и часть газовой трубы, если на ней имеются прожоги, проплавления. Лучше отрезать часть трубы длиной 20 - 30 см и изъять ее вместе с гибким шлангом, не развинчивая соединение, в котором имел место «плохой контакт».

По возможности, нужно определить причину возникновения разности потенциалов между корпусом плиты и землей, возникновения утечки тока и факторы, этому способствующие. Часто утечка тока на корпус плиты возникает в самом блоке электроподжига. Известен, например, случай, когда для привинчивания этого блока к стенке плиты был взят винт (типа самореза) длины, большей положенного. При прикручивании он пробил изоляцию блока, в результате чего произошло замыкание последнего на корпус плиты.

Следует осмотреть провода и электрические блоки, в частности, блок поджига

(расположенный обычно на задней стенке), определив, нет ли признаков утечки тока на корпус плиты (следов микродуговых процессов, закопчения и др.).

Необходимо выяснить, как подключена плита к электросети. На пожарах подобного рода плиты обычно оказывались подключенными либо по трехпроводной схеме с использованием нулевого защитного проводника, либо по двухпроводной, но с использованием перемычки от нулевого проводника к заземляющему контакту. Отсутствие надежного контакта нулевого провода в распределительном или вводном щитах, а также перекос фаз могут привести к появлению потенциала в нулевом проводе, а, следовательно, и на корпусе плиты.

Что касается предупреждения подобных пожаров (взрывов), то из вышеизложенного следует, что принятие конструктивных мер в виде диэлектрических вставок и даже полное исключение металлической оболочки газовых шлангов не решают проблемы кардинально. Очевидно, необходимы более надежная и совершенная конструктивная защита газового оборудования от возможных утечек тока и возникновения потенциала на газовых трубах и газовых приборах, а также периодическая проверка с помощью соответствующих технических средств отсутствия токового потенциала на корпусах электрооборудования и приборов.

### Библиография

1. Чешко И.Д. Плотников В.Г. Экспертный анализ версий возникновения пожара.. В 2-х книгах. СПбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Кн. 2 – Санкт-Петербург: 2012 – 364 с.
2. [www.life.ru/t/новости/145112](http://www.life.ru/t/новости/145112).
3. Отчет по НИР «Провести анализ пожаров, происшедших в г. Санкт-Петербурге от газовых плит с электроподжигом в 1998-2000гг. ИПЛ. УГПС СПб и ЛО (Рук. Плотников В.Г.) 2001.
4. Заключение экспертов СЭУ ФПС «ИПЛ» по Орловской области, б/н, апрель 2016.
5. Техн. заключение СЭУ ФПС «ИПЛ» по Орловской области от 21.12.2016.
6. Техн. Заключение №20 (Красотин Д.С.) СЭУ ФПС «ИПЛ» по г. Пскову, 2016.
7. Заключение эксперта (Фролов А.А.) СЭУ ФПС «ИПЛ» по Тамбовской области № 269, 2016.
8. Техн. Заключение СЭУ ФПС «ИПЛ» по респ. Мордовия (Кулебякин Д.Н.) 2008.
9. Техн. Заключение СЭУ ФПС «ИПЛ» по респ. Мордовия (Чугунов М.Н.) 2006.
10. Техн. Заключение № 73 (...) СЭУ ФПС «ИПЛ» по г. Твери, 2016.

### References

1. Cheshko I.D. Plotnikov V.G. Ekspertnyj analiz versij vzniknoveniya pozhara.. V 2-h knigah. SPBF FGBU VNIIPPO MCHS Rossii, Kn. 2 – Sankt-Peterburg: 2012 – 364 s.
2. [www.life.ru/t/novosti/145112](http://www.life.ru/t/novosti/145112).
3. Otchet po NIR «Provesti analiz pozharov, proisshedshih v g. Sankt-Peterburge ot gazovyh plit s ehlektropodzhigom v 1998-2000gg. IPL. UGPS SPb i LO (Ruk. Plotnikov V.G.) 2001.
4. Zaklyuchenie ehkspertov SEHU FPS «IPL» po Orlovskoj oblasti, b/n, april' 2016.
5. Tekhn. zaklyuchenie SEHU FPS «IPL» po Orlovskoj oblasti ot 21.12.2016.
6. Tekhn. Zaklyuchenie №20 (Krasotin D.S.) SEHU FPS «IPL» po g. Pskovu, 2016.
7. Zaklyuchenie ehksperta (Frolov A.A.) SEHU FPS «IPL» po Tambovskoj oblasti № 269, 2016.
8. Tekhn. Zaklyuchenie SEHU FPS «IPL» po resp. Mordoviya (Kulebyakin D.N.) 2008.
9. Tekhn. Zaklyuchenie SEHU FPS «IPL» po resp. Mordoviya (Chugunov M.N.) 2006.
10. Tekhn. Zaklyuchenie № 73 (...) SEHU FPS «IPL» po g. Tveri, 2016.

## FIRE LEAKAGE OF HOUSEHOLD GAS, INITIATED AN ELECTRIC EMERGENCY MODES

*The article analyzes numerous cases of fires (explosions) of fuel-air mixtures formed during methane or propane-butane leaks, the source of ignition in which are the so-called "electrical emergency modes" - short circuits and large transient resistances. A scheme for the development of emergency situations with a leak of flammable gas into the room is given. Possible mechanisms for the emergence of emergencies and material traces of their occurrence are described. A more complicated version of the initiation of a gas ignition (explosion) is considered, combining two emergency processes proceeding in series. The first process involves the leakage of current to the metal structure and the appearance in the formed electrical circuit of the local heating zone in places of "poor contact". The second ensures the formation of a combustible medium due to depressurization of the gas pipeline and gas leakage. The need for more reliable and perfect constructive protection of gas equipment against possible leakages of current and the emergence of potential on gas pipes and gas appliances is shown.*

**Keywords:** *Leakage, household gas, emergency mode, methane, leakage current, fire-technical expertise.*

**Чешко И.Д.,**

*д.т.н., профессор,  
ведущий научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
(812)441-06-80,  
ficentre@igps.ru*

**Cheshko I.D.,**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Leading Researcher of the Department of Instrumental Methods and Technical Means of Fire Examination of the Research Center for Fire Examination of the Research Institute for Advanced Studies and Innovative Technologies in the Field of Life Safety  
St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, St. Petersburg.*

**Смирнов А.С.,**

*д.т.н., профессор,  
начальник Научно-технического управления МЧС России,  
Россия, г. Москва,  
(499)144-59-48,  
ntu-mchs@mail.ru*

**Smirnov A.S.,**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Scientific and Technical Directorate of EMERCOM of Russia,  
Russia, Moscow.*

**Тумановский А.А.,**

*к.т.н.,  
начальник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
(812) 441-07-46, ficentre@igps.ru*

**Tumanovsky A.A.,**

*Ph.D.,  
Head of the Department of Innovative and Information Technologies in Fire Examination of the Research Center for Fire Examination of the Research Institute for Advanced Research and Innovative Technologies in Life Safety  
St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, St. Petersburg.*

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

*А.Н. Шутова, С.Н. Соловых*

*В статье рассматриваются углеродсодержащие композиционные материалы, описываются полученные результаты диспергирования углеродных нанотрубок в растворах полимеров и способ электроформования композитных материалов, насыщенных углеродными нанотрубками из этих растворов.*

**Ключевые слова:** электроформование, углеродные нанотрубки, композитный материал, полимеры.

Углесодержащие композиционные текстильные материалы применяются с целью очистки газовых сред от химически и биологически активных веществ.

В настоящее время созданы и получили применение ряд углесодержащих текстильных материалов различного назначения. Основной областью их применения является очистка газовых сред от химически и биологически активных веществ. К ним можно отнести композиционные материалы, представляющие собой «сендвич» с прослойкой из угленаполненной крепированной бумаги или угленаполненного волокнистого материала из полиакрилонитрила (ПАН) и т.п., армированные текстильными материалами различной фактуры для обеспечения необходимых механических и эксплуатационных характеристик. В качестве примера подобного материала можно привести композитный многослойный материал SARATOGA фирмы Blucher GmbH, содержащий угольный сорбирующий слой и мембрану с каталитически активной компонентой, армированные текстильными прослойками [1]. Подробный анализ подобных углесодержащих материалов и исследования по созданию композитного углесодержащего материала на основе химически модифицированной льняной ткани проводились при кафедре специальных конструкционных материалов, вооружений и средств Военной академии РХБ защиты.

Кроме того, на современном этапе развития данного типа материалов наиболее перспективным является инкапсуляция сорбентов в тонкую полимерную пленку. Примером таких композитов могут служить иностранные разработки «L. R. 4» и «Speritex» [2]. Данные комплекты инкапсулируют угольные сорбенты под тонкой пленкой

мембранных материалов. Этот метод, конечно, очень эффективен, однако производство таких материалов сложный и дорогостоящий процесс.

Следует отметить, что во всех рассмотренных случаях активный слой композиционного материала тем или иным способом насыщается мелкодисперсными частицами активированного угля (например, диаметром 6 мкм в материалах на основе ПАН).

В данной публикации представлены результаты по разработке принципиально нового способа насыщения полимерных нано- и микро-волокон углеродными нанотрубками с получением наноструктурного волокнистого материала.

Углеродные наноматериалы (в дальнейшем – углеродные нанотрубки УНТ) представляют собой одномерные наномасштабные (с внешним диаметром 8-80 нм) нитевидные образования поликристаллического графита преимущественно цилиндрической формы с внутренним каналом. За счет своей уникальной наноструктуры удельная поверхность углеродных нанотрубок составляет 120 – 650 м<sup>2</sup>/г [3], что значительно превышает удельную поверхность в мелкодисперсном активированном угле.

Массовое производство наноструктурных углеродных материалов различной морфологии под маркой «Таунит» налажено в Тамбовском государственном техническом университете совместно с ООО «Тамбовский инновационно-технологический центр машиностроения» и ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова»[4].

В наших исследованиях использовался УНТ продукт марки «Таунит - МД» Характеристики данного продукта приведены в таблице 1.

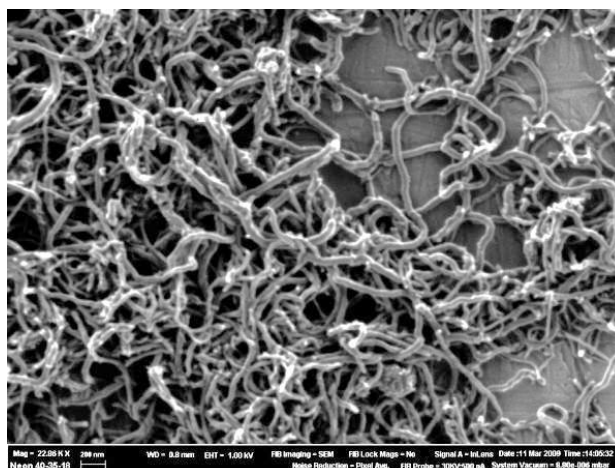


**Характеристики УНТ продукта марки «Таунит МД»**

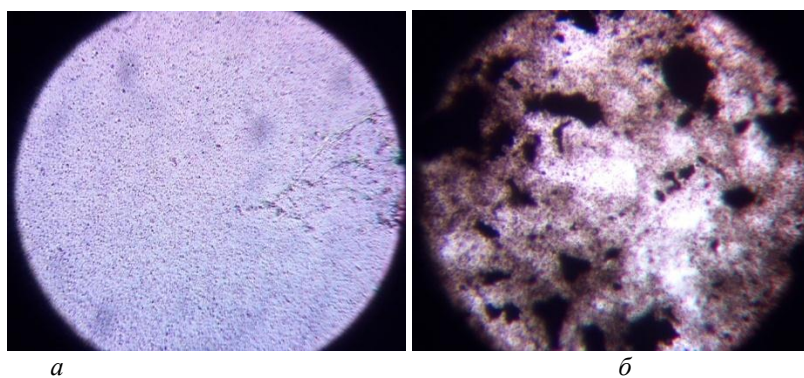
Параметр	Размерность	Величина
Внешний диаметр	нм	30...80
Внутренний диаметр	нм	10...20
Длина	мкм	20 и более
Количество примесей (после очистки)	%	5 1
Насыпная плотность	г/см <sup>3</sup>	0,03...0,05
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /г	180...200
Термостойкость	°С	До 600
Содержание наноуглерода	%	≥ 95%

Углеродный наноструктурный продукт «Таунит МД» поставляется в виде сыпучего порошка черного цвета, в котором нанотрубки находятся в виде агломератов более крупных размеров (рисунок 1), что затрудняет их

распределение в различных средах. Для получения равномерной дисперсии УНТ в полимерном растворе (рисунок 2а) применялось интенсивное действие ультразвука.



**Рис. 1. Структура УНТ продукта марки «Таунит» (масштаб 200 нм) [4]**



**Рис. 2. Раствор СБС в тетрахлолметане, насыщенный УНТ:**

*а - мелкодисперсный раствор УНТ, б-образование агломератов УНТ в дисперсном растворе*

На базе кафедры специальных конструкционных материалов, вооружений и средств РХБ защиты Военной академии РХБ защиты была проведена серия экспериментов с целью определения возможности диспергирования

агломератов УНТ под действием кавитации в ходе длительного воздействия ультразвука для группы растворов полимеров. Результаты серии экспериментов представлены в таблице 2.

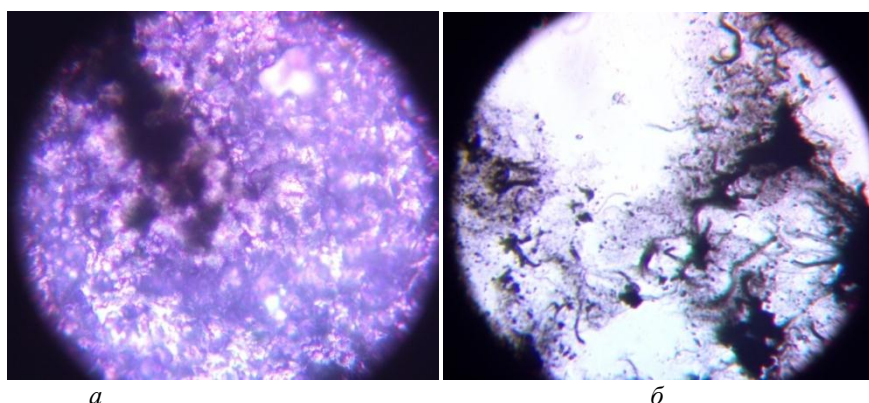


**Результаты исследований растворов полимеров**

Раствор	Полимер	Растворитель	Диспергирование УНТ агломератов в растворе	Волокнообразование при электроформировании
1	СБС (Стирол-бутадиен-стирольный)	Тетрахлорметан (CCl <sub>4</sub> )	есть	нет
2	Оргстекло (Полиметилметакрилат ПММА)	Ацетон (диметилкетон) CH <sup>3</sup> -C(O)-CH <sup>3</sup> , Дихлорэтан (ClCH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> Cl)	нет	есть
3	Капрон (модифицированный полиамид б)	Метановая (муравьиная) кислота	нет	есть

Через непродолжительное время в полученных мелкодисперсных растворах УНТ снова самопроизвольно образуются агломераты (рисунок 2б) и происходит расслоение раствора на фракции.

Несмотря на использование таких же условий обработки ультразвуком углеродных нанотрубок в растворах оргстекла и полиамида б, не удалось достичь диспергирования (Рисунок 3).



**Рис. 3.** Не диспергированные агломераты УНТ в растворах полимеров: а – агломераты УНТ в растворе полиамида б в метановой кислоте, б – агломераты УНТ в растворе оргстекла в ацетоне с дихлорэтаном

Следует отметить, что возможности по диспергированию УНТ в растворах полимеров были ограничены техническими характеристиками ультразвуковой ванны марки ПСБ-1335-05 Галс (рабочая мощность 50 В, рабочая частота 35 Гц). При использовании других показателей мощности и частоты результаты диспергирования могут быть иными.

Способ создания полимерного композитного материала с инкапсулированными углеродными нанотрубками заключается в использовании метода электроформования волокон из растворов полимеров. В мировой практике данный метод известен так же, как электроформование или электроспиннинг. Его подробное описание приведено в работах [5, 6].

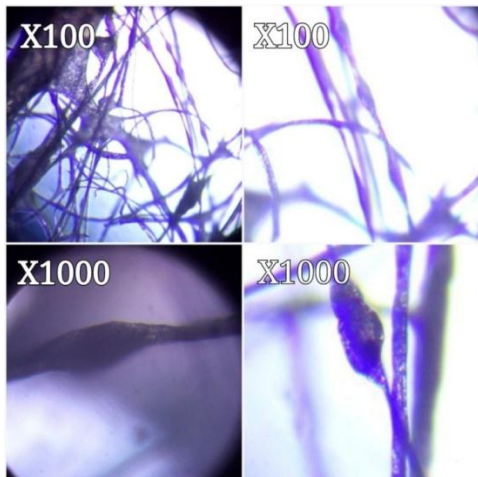
Полученные растворы подвергались процессу электроформования на экспериментальной установке на базе кафедры теории механизмов и машин, деталей машин и

проектирования технологических машин Костромского государственного университета [6]. В результате были выявлены составы, способные к волокнообразованию при электроформовании, представленные в таблице 2.

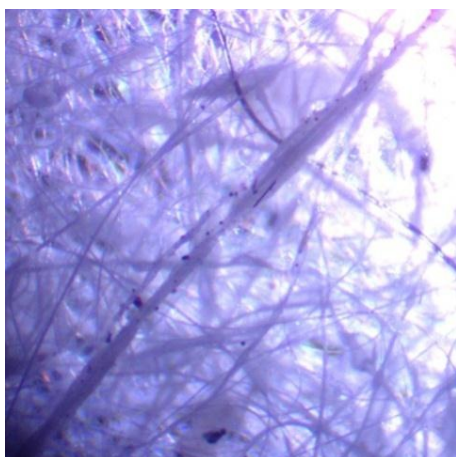
Для создания раствора, одновременно позволяющего диспергировать в нем УНТ и образовывать волокна при электроформовании, применялся известный способ [7] поэтапной подготовки раствора. Готовый дисперсный раствор 1, представленный в таблице 2, смешивался с волокнообразующим раствором 2 в питающей ванне установки для электроформования и подвергался вибрации для их смешивания, предотвращения агломерации и осаждения углерода и интенсификации процесса волокнообразования.

В результате электроформования полученного двухкомпонентного раствора с равномерно распределенными в нем УНТ были

получены образцы волокнистого материала с УНТ включениями двух типов: инкапсулированными (рисунок 4) и со свободной поверхностью (рисунок 5) Причем второй тип материала получен в незначительном количестве и рассматривается как побочный эффект.



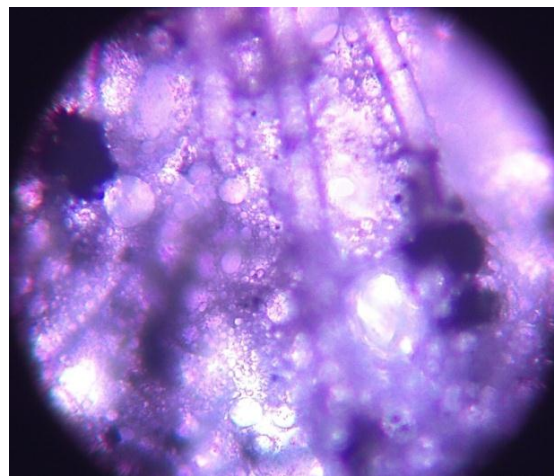
**Рис. 4.** *Капсулированные углеродные нановключения в полимерные волокна*



**Рис. 5.** *Углеродные включения со свободной поверхностью в полимерном нановолокнистом материале (увеличение 40)*

При осаждении полимерных струй раствора на подложку из нетканого материала наблюдалось не полное испарение растворителя в

процессе электроформования, и при высыхании была получена мелкопористая мембрана с УНТ включениями (рисунок 6).



**Рис. 6.** *Мелкопористая мембрана с УНТ включениями на подложке (увеличение 400)*

#### ВЫВОДЫ

1. Разработан способ получения полимерного композитного материала с инкапсулированными углеродными нанотрубками, заключающийся в подготовке определенной комбинации растворов полимеров с кавитационно-диспергированным УНТ продуктом, и получения на его основе наноуглеродсодержащих микроволокон методом электроформования.
2. Проведен ряд экспериментов, позволяющих подобрать состав раствора полимера с дисперсией УНТ продуктом, подходящим для процесса электроформования.
3. В результате электроформования получены волокна полимера с УНТ включениями двух типов: капсулированные и со свободной поверхностью.
4. Методом электроформования получен образец мелкопористой полимерной мембраны с УНТ включениями на подложке.
5. Полученные результаты могут быть использованы в области разработки средств очистки газовых и жидкостных сред от активных вредных примесей.

**Библиография**

1. Пат. 2445140 Российская Федерация, МПК А62D5/00. Функциональный защитный материал с мембраной, имеющей реакционноспособное внешнее покрытие, и изготовленная из него защитная одежда [Текст]: патент / Хассо Фон Блюхер, Бертрам Берингер; заявитель и патентообладатель БЛЮХЕР ГМБХ. – № 2010132646/05; заявл. 03.11.2008; опубл. 20.03.2012. Бюл. №8. – 26 с.
2. Материалы сайта [army-technology](http://www.army-technology.com). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.army-technology.com>.
3. Ткачев А.Г. Углеродный наноматериал «Таунит» - структура, свойства, производство и применение / А.Г. Ткачев // Перспективные материалы. - 2007. - № 3. - С. 5-9.
4. Углеродные наноматериалы «Таунит»: исследование, производство, применение / А.Г. Ткачев, С.В. Мищенко, В.Л. Негров и др. // Нанотехника. - 2006. - № 2. - С. 17-21.
5. Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Под редакцией В.Н. Кириченко. — М.: Нефть и газ, 1997.
6. Коробельников А.Р., Шутова А.Г., Потехин В.М. Устройство для получения полимерных нано- и микроволокон и исследования его работы // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2013. - № 1 (343). - С. 127-132.
7. Пат. 2400462. Российская федерация. Способ изготовления композита полимер/углеродные нанотрубки на подложке [Текст]: патент / Агеев О. А., Сюрик Ю.В.; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ". (RU) № 2400462, заявл. 09.04.2009; опубл. 27.09.2010 Бюл. № 27.

**References**

1. Pat. 2445140 Rossijskaya Federaciya, MPK A62D5/00. Funkcional'nyj zashchitnyj material s membranoj, imeyushchej reakcionnosposobnoe vneshnee pokrytie, i izgotovlennaya iz nego zashchitnaya odezhda [Tekst]: patent / Hasso Fon Blyuher, Bertram Beringer; zayavitel' i patentoobladatel' BLYUHER GMBH. – № 2010132646/05; zayavl. 03.11.2008; opubl. 20.03.2012. Byul. №8. – 26 s.
2. Materialy sajta [army-technology](http://www.army-technology.com). [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.army-technology.com>.
3. Tkachev A.G. Uglerodnyj nanomaterial «Taunit» - struktura, svojstva, proizvodstvo i primenenie / A.G. Tkachev // Perspektivnye materialy. - 2007. - № 3. - S. 5-9.
4. Uglerodnye nanomaterialy «Taunit»: issledovanie, proizvodstvo, primenenie / A.G. Tkachev, S.V. Mishchenko, V.L. Negrov i dr. // Nanotekhnika. - 2006. - № 2. - S. 17-21.
5. Filatov YU.N. EHlektroformovanie voloknistyh materialov (EHFV-process). Pod redakciej V.N. Kirichenko. — M.: Neft' i gaz, 1997.
6. Korabel'nikov A.R., SHutova A.G., Potekhin V.M. Ustrojstvo dlya polucheniya polimernyh nano- i mikrovolokon i issledovaniya ego raboty // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. - 2013. - № 1 (343). - С. 127-132.
7. Pat. 2400462. Rossijskaya federaciya. Sposob izgotovleniya kompozita polimer/uglerodnye nanotrubki na podlozhke [Tekst]: patent / Ageev O. A., Syurik YU.V.; Zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "YUZHNYJ FEDERAL'NYJ UNIVERSITET". (RU) № 2400462, zayavl. 09.04.2009; opubl. 27.09.2010 Byul. № 27.

## **METHOD FOR OBTAINING POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL WITH INCAPULATED CARBON NANOTUBES ELECTRODEFORMATION METHOD**

*The paper considers carbon-containing composite materials, describes the obtained results of the dispersion of carbon nanotubes in polymer solutions and the method of electroforming of composite materials saturated with carbon nanotubes from these solutions.*

**Key words:** *electroforming, carbon nanotubes, composite material, dimers.*

**Шутова Анастасия Геннадьевна,**

*кандидат технических наук, доцент,*

*заведующий кафедрой математики, информатики и физики,*

*Военная академия радиационной, химической и биологической защиты*

*имени маршала Советского союза С.К. Тимошенко,*

*Россия, г. Кострома,*

*8(915) 906 28 19*

*e-mail: [toshutova@yandex.ru](mailto:toshutova@yandex.ru)*

**Shutova A.G.,**

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Head of the Department of Mathematics, Informatics and Physics,*

*Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection*

*behalf of the Marshal of the Soviet Union S.K. Tymoshenko,*

*Russia, the city of Kostroma.*

**Соловых Сергей Николаевич,**

*кандидат технических наук,*

*заведующий кафедрой специальных конструкционных материалов, вооружения и средств РХБ защиты,*

*Военная академия радиационной, химической и биологической защиты*

*имени маршала Советского союза С.К. Тимошенко,*

*Россия, г. Кострома,*

*8(910) 197 38 79,*

**Solovy S.N.,**

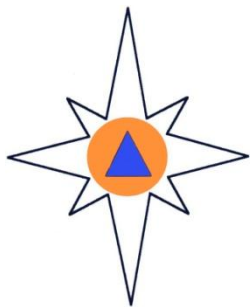
*Candidate of Technical Sciences,*

*Head of the Chair of Special Structural Materials, Weapons and Means of the RCB Protection,*

*Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection*

*behalf of the Marshal of the Soviet Union S.K. Tymoshenko,*

*Russia, the city of Kostroma.*



## БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 658.38 665.3, 628.52

### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*А.В. Федоров, В.А. Бармашев, В.Н. Марков, Ш.К. Тагиев*

*Рассмотрены основные вопросы повышения уровня безопасности технологических процессов в пищевом производстве. Обоснована необходимость более глубокого объединения усилий специалистов различного профиля деятельности в разработке и совершенствовании способов повышения безопасности производственного оборудования, технологических процессов, вспомогательных операции. Показана значимость решения вопросов предупреждения чрезвычайных ситуаций на примере экстракционного производства для увеличения бесперебойного выпуска качественных пищевых продуктов.*

**Ключевые слова:** *производство, оборудование, технологический процесс, экстракция, промышленная и пожарная безопасность.*

Растительное масло занимает в нашей жизни значительное место. Его обоснованно относят к основной группе пищевых продуктов. Растительное масло является не только источником энергии, но и содержит в удобной для организма форме незаменимые микронутриенты. Растительные масла используются в пищу непосредственно, являясь основой ряда продуктов, и перерабатываются и употребляются в модифицированной форме. Имеющиеся в открытом доступе данные Росстата по потреблению растительных масел на душу населения очень характерно отражают социально-экономическое состояние нашего государства, это хорошо видно из диаграммы на рис. 1. Подсчет ведется по так называемому «фонду потребления растительного масла», который включает растительное масло (подсолнечное, горчичное, кукурузное, соевое, рапсовое, оливковое и прочее), маргарин, маргариновую продукцию, спред,

маслосодержащие продукты питания (хлебобулочные изделия, кондитерские изделия, рыбные, овощные и закусочные консервы, майонез) в пересчете на масло.

Приказом Минздрава России № 614 от 19.09.2016 по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, для растительного масла рекомендовано 12 кг/год /человек. Сегодняшний достигнутый уровень не означает, что в сфере маслопроизводства агропромышленного комплекса нет проблем. В настоящее время идет работа над качеством и снижением себестоимости в условиях жесткой конкурентной среды. Рыночные отношения требуют от организаторов производства уделять большее внимания вопросам, связанным с условиями труда работников, и в первую очередь безопасности применяемых технологий и оборудования.



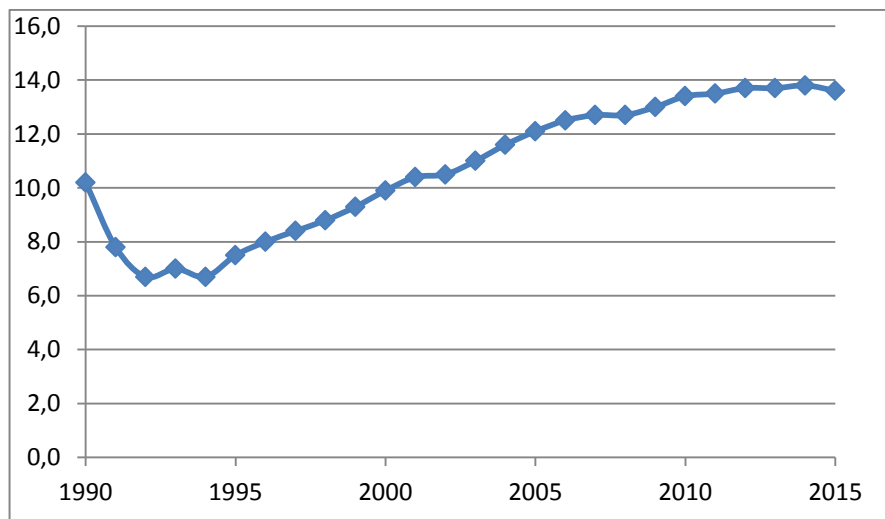


Рис 1. Потребление растительного масла в РФ кг/год /человек за последние 25 лет

Растительное масло и его производные используются и в так называемых технических целях, это сырье для производства глицерина, моющих средств, смазывающих веществ. Растительное масло может стать и уже становится основой для экологически чистого топлива двигателей внутреннего сгорания. Есть еще достаточно много перспективных направлений применения этого уникального продукта из растительного сырья.

Производство растительных масел уникально тем, что практически безотходно. Обезжиренные материалы, жмыхи и шроты, - это ценнейший продукт для кормопроизводства, а лузга или плодовая оболочка используется как топливо или идет на различные агротехнические цели в сельском хозяйстве.

В итоге и объем, и качество произведенных растительных масел объективно влияют на состояние и развитие пищевой индустрии в целом, а их потребление во многом определяет уровень жизни и здоровья населения.

Растительные масла относятся к так называемому восполняемому ресурсу. Климатические условия нашей страны позволяют получать их ежегодно в достаточном количестве.

В замкнутую систему производства и переработки растительных масел входят блоки:

- Сельское хозяйство
- Хранение
- Маслодобывание
- Маслопереработка
- Логистика
- Потребление

Каждый из блоков состоит из множества задач, объединенных общей целью. Чем прочнее связи между блоками, тем устойчивее и

эффективнее работает система на конечный результат. В масштабах государства итогом работы системы можно считать достаточный для обеспечения населения объем и качество продукции. В последние годы эта задача в Российской Федерации ежегодно успешно решается. Сложившаяся система производства и переработки растительных масел обеспечивает не только внутренние потребности страны, но и позволяет выйти с продукцией на международный рынок, а это говорит о возможностях системы как слаженно работающего агропромышленного масложирового комплекса. Вполне понятно, что, как и любая сложная конструкция, система не идеальна, она все время трансформируется, приспособляясь к новым обстоятельствам. Большое влияние на систему и ее отдельные элементы оказывают природные техногенные риски.

Наш научный коллектив давно и успешно занимаемся исследованиями в области техники и технологии маслодобывания. Это сложная и тонкая тема. В первую очередь из-за того, что мы имеем дело с растительным сырьем, которое чувствительно к уровню и времени температурного воздействия. Важно следить за степенью возможных нежелательных химических превращений и особенно окислительных процессов продуктов и полупродуктов внутри оборудования.

Предыдущие и последующие звенья системы производства растительных масел оказывают существенное влияние на формирование технологии маслодобывания. Естественно, что на первом месте здесь стоит агропроизводство. Современная селекционная наука и агротехника позволяют сельхозпроизводителям получать высокие урожаи масличных культур с заложенными свойствами продукции. Такими

заданными параметрами могут быть масличность, жирнокислотный и белковый состав. Могут варьироваться структура материала, реологические и физико-химические свойства масличных семян и самого масла. Все это требует гибкости и определенной универсальности от технологии и оборудования для переработки масличного сырья.

Можно считать одним из ключевых звеньев системы производства растительных жиров маслосеменовое. Современное промышленное маслосеменовое или производство растительных масел включает в себя следующие основные технологические процессы. Очищенный от механического и минерального сора масличный материал, как правило, семена масличных культур, поступают на подготовительные операции. Здесь при необходимости отделяется плодовая оболочка, а семена подготавливаются к влаготепловой обработке, после которой из масличного материала механическим способом извлекается растительное масло, которое принято называть прессовым. После этого из частично обезжиренного материала (жмыха) экстракционным способом извлекают оставшееся в нем растительное масло, которое принято называть экстракционным. Масло извлекается специальным органическим нефтяным растворителем, полученный раствор принято называть мисцеллой. Процедуру удаления растворителя из раствора называют дистилляцией мисцеллы. Обезжиренный материал после удаления растворителя в экстракционном производстве называют шротом.

Особый отпечаток на идеологию построения технологических схем маслосеменового оказывает взрыво- и пожароопасность процессов. Это самое важное, что определяет некую консервативность подходов построения технологии маслосеменового. На первый план выходят задачи обеспечения безопасности производства, в какой-то степени тормозящие внедрение новых идей, - и это, в принципе, оправданно. На протяжении многих десятилетий глобально технология маслосеменового не меняется. И продвижение вперед возможно при детальном изучении безопасности на каждом участке производственного цикла. Поэтому научное обоснование принципов и способов обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях промышленности является стимулом создания новых технологических процессов и оборудования.

Производство, как правило, непрерывное – круглосуточное, остановки осуществляются только для регламентных работ по обслуживанию оборудования. Цикл переработки: от урожая до урожая. Большой объем перерабатываемого сырья

и выхода готовой продукции относит маслосеменовое производства к категории крупных предприятий. В совокупности маслосеменовые образуют масложировую отрасль пищевой промышленности, куда входят предприятия разной мощности с полным или неполным циклом маслосеменового и переработки растительных жиров.

Следует отметить, что получение высококачественного и, если так можно выразиться, чистого растительного масла возможно только в условиях большого производственного комплекса, оснащенного современным автоматизированным оборудованием, имеющего в своем арсенале собственные источники энергии и производственных ресурсов.

К примеру, на многих участках производства растительных масел требуется химически чистый перегретый водяной пар высокого давления, который нецелесообразно транспортировать от сторонних ТЭЦ или технические газы, которые тоже выгоднее генерировать на собственной производственной площадке. Но это, в свою очередь, вызывает более высокие требования к безопасности производства на всех стадиях производства, включая вспомогательные.

Важнейшим сегментом современного производства являются совершенные аналитические лаборатории, решающие задачи контроля качества сырья, полупродуктов и готовых продуктов на молекулярном уровне. Такие лаборатории чаще всего уже становятся основой исследовательских центров для создания собственных конкурентоспособных технологий. Все это возможно только в условиях крупного промышленного предприятия.

Основной целью наших исследований является кардинальное совершенствование действующих и создание новых технологий. Учитывая масштабы отрасли и значимость продукции, решаемые проблемы производства становятся в ряд общегосударственных.

Важной задачей особенно остро становится разработка и совершенствование способов повышения безопасности производственного оборудования, технологических процессов, вспомогательных операций и условий труда работников.

Таким образом, реальное обеспечение страны масложировыми ресурсами возможно только при условии развития крупных предприятий, на которых четко работают все звенья производства, включая организацию безопасных условий труда. Процесс получения растительных масел должен осуществляться в

соответствии с действующими нормативными документами. В первую очередь, это правила промышленной безопасности в производстве масел методом прессования и экстракции (ПБ 09-524-03), разработанные с участием специалистов ВНИИЖиров.

Экстракционное производство для получения растительных масел в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», утвержденным Государственной думой РФ 20.06.97 г. № 116-ФЗ (в редакции от 04.03.13 № 22-ФЗ.) [1], относится к опасным производственным объектам и подлежит регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов. Повышение уровня безопасности производственного оборудования, технологических и трудовых процессов лежит в основе управления безопасностью труда. В деле повышения уровня безопасности большую значимость занимает системы стандартов безопасности труда. Стандарты безопасности труда устанавливают требования к производственным процессам, оборудованию по видам вредных и опасных производственных факторов, а также средствам индивидуальной и коллективной защиты. Система стандартов по безопасности труда является техническим законом для производства.

Характерными особенностями аварий на маслоэкстракционных заводах являются пожары, взрывы и токсические выбросы.

Опасными факторами в процессе переработки масличных семян экстракционным способом является наличие взрывопожароопасных материалов, таких как семена, ядро, лузга (шелуха), шрот, семенная и шротовая пыль, масла, растворитель и его пары, мисцелла.

Значительные выделения органической пыли и паров растворителя являются причиной аварийности на предприятиях маслодобывающего производства.

Причинами возникновения аварийных ситуаций могут быть:

- несоблюдение правил и параметров ведения технологического процесса, правил проведения огневых и газоопасных работ;
- отсутствие приборов экспресс-анализа качества сырья, продуктов и полупродуктов его переработки, вспомогательных продуктов и материалов, воздушной среды;
- отсутствие систем диагностики состояния технологического оборудования и коммуникаций в режиме реального времени;
- несоответствие требованиям правил безопасности функциональных возможностей приборов, средств и систем автоматизации

технологических процессов;

- неполное соответствие требованиям правил безопасности средств противоаварийной защиты (ПАЗ);

- отсутствие или неправильное использование средств индивидуальной защиты;

- человеческий фактор;

- значительно деформированная, ранее централизованная система разработки и сопровождения персонифицированной по предприятиям нормативно-технической и технологической документации. И, как следствие, неправильно ориентированный контроль со стороны надзирающих органов.

Системы контроля и управления технологическими процессами: аналитического и приборного контроля, автоматического и дистанционного управления, системы противоаварийной защиты должны обеспечивать надежность и безопасность проведения технологических процессов.

Мы неоднократно обращались к теме безопасности технологических процессов. Пути повышения безопасности технологических процессов могут быть: [3]

- разработка, усовершенствование датчиков запыленности, загазованности помещений;

- разработка, усовершенствование приборов слежения за уровнем материала и жидкостей в емкостных аппаратах;

- разработка усовершенствованных систем автоматизированного управления технологическим процессом (АСУТП);

- организация правильного обучения и проверок знаний обслуживающим персоналом: правил безопасного ведения процессов, правил проведения опасных работ.

Основными источниками высокой категоричности производства являются: значительное выделение органической пыли (хранение, транспортировка, переработка масличных материалов) и паров растворителя (транспортировка и хранение растворителя, процесса экстракции, транспортировка, хранение и дальнейшая обработка мисцелл и масел).

Как правило, причинами возникновения аварийных ситуаций являются:

- Нарушение или несоблюдение правил и норм технологического процесса;

- Отсутствие приборов экспресс-анализа качества сырья, продуктов его переработки, вспомогательных продуктов и материалов;



- Отсутствие систем диагностики состояния технологического оборудования и коммуникаций в режиме реального времени;
- Несоответствие требованиям правил безопасности перечня и функциональных возможностей приборов, средств и систем автоматизации технологических процессов;
- Неполное соответствие средств ПАЗ (противоаварийной защиты) требованиям правил безопасности и др.

По сути дела, необходимость применения приборов, средств и систем автоматизации технологических процессов сводится к корректировке отклонений параметров реальных технологических процессов, связанных, в частности, с отсутствием их математических моделей и средств их реализации, несовершенством технологического оборудования (некомплектные линии), нестабильностью качества сырья и вспомогательных продуктов, колебаниями параметров энергоносителей и др.

Мы усматриваем причины такого явления в следующем:

- Специалисты новой генерации, пришедшие на масложировые предприятия, не обладают достаточным опытом видения всех аспектов сложных технологических процессов;
- Характерный для наших предприятия остаточный принцип финансирования всех аспектов деятельности, связанных со службами КИП и А и промышленной безопасности, включая кадровые;
- Заниженные требования стандартов безопасности импортного оборудования (процессов) в сравнении с российскими. Закупая то или иное единичное или комплектное оборудование у инофирм, покупатель ограничивается тем стандартом, который предлагает продавец, либо в целях экономии и под предлогом дооснащения оборудования отечественными приборами и средствами автоматизации (СА) снижает эти требования.

Общая картина структуры систем автоматического контроля и управления технологическими процессами и средств ПАЗ на предприятиях отрасли имеет весьма пестрый характер: релейные, аналоговые, микропроцессорные, смешанные. Поэтому мы не будем останавливаться на преимуществах и недостатках тех или иных систем контроля и управления на различных стадиях технологического процесса, позволяющих свести к минимуму риски производства, визуализировать технологический процесс и, в конечном итоге, создать не просто автоматизированную систему

управления, а оптимизированную под конечный продукт технико-экономическую систему управления (СУ) того или иного производства и/или их совокупности.

Помимо вышеуказанных причин большое значение имеет «человеческий фактор», особенно для взрывопожароопасных производств.

Таким образом, характерные ошибки, о которых мы упомянули выше, довольно часто встречаются как в регламентах, представляемых во ВНИИЖ на согласование, так и на предприятиях, обследуемых на предмет разработки производственного технологического регламента.

Анализ аварийных случаев на маслодобывающих заводах показал, что наиболее часто аварийные ситуации возникают при пуске, остановке предприятия, при проведении планово предупредительного и капитального ремонтов, а причиной их, в основном, является человеческий фактор.

Одним из направлений исследований является изучение причин, анализ причин и предпосылок аварий. Развитие аварийной или опасной ситуации в подавляющем большинстве реализаций носит вероятностный характер. Что наглядно подтверждается последовательной моделью развития несчастного случая предложенной авторами [2]. Мы изучили возможности метода и считаем, что этот подход применим для маслоэкстракционных предприятий.

В модели рассматриваются этапы восприятия (1) и осознания (2) опасности, принятия (3) и реализации решения (4) по защите от нее. Из рисунка видно, что на каждом этапе присутствует элемент случайности из-за возможных ошибок восприятия, неправильного или запоздавшего осознания опасности, ошибочного решения по способу защиты и ошибок в процессе реализации решения.

Дерево опасностей строится с использованием 6 стандартных логических символов и 6 стандартных символов событий.

Головным событием дерева опасностей (верхом дерева) является производственная авария или НС. Само дерево состоит из последовательности событий, которые ведут к конечному событию и соединяются логическими знаками. Построение дерева ведется до исходных событий. При построении дерева опасностей следует заменять абстрактные события менее абстрактными, разделять события на элементарные, точно определять причину событий, находить совместно действующие причины и точно указывать место отказа элемента.

На рис. 1 приведен пример дерева отказов для сравнительно простого несчастного случая

вследствие взрыва аппарата. Для эффективной профилактики аварий и несчастных случаев необходимы, во-первых, выявление или идентификация опасностей, во-вторых, их количественная оценка, в-третьих, достоверное прогнозирование возникновения опасных ситуаций

и, в-четвертых, обоснованный выбор мероприятий по предупреждению аварий и катастроф.

Идентификация вредных и опасных факторов на производстве осуществляется в соответствии со статьёй №10 Федерального закона «О специальной оценке условий труда».

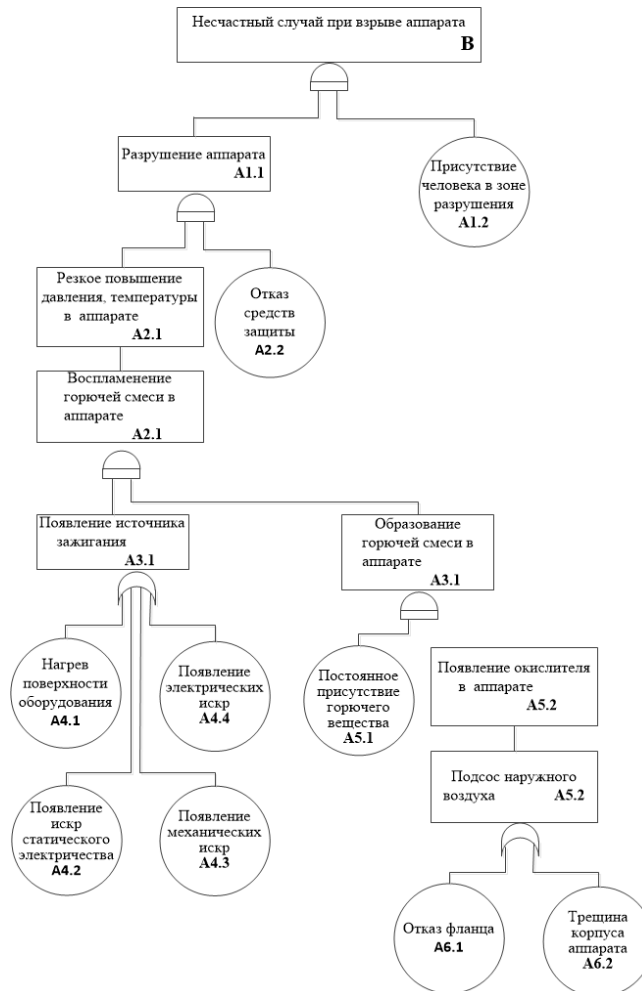


Рис. 2. Дерево опасностей для маслоэкстракционного производства

Установленные в процессе предварительного анализа опасности классифицируются по 4 группам:

- Пренебрежимые, обычно ошибки персонала и недостатки конструкции, которые не ведут к существенным нарушениям и несчастным случаям;
- Граничные, которые хотя и нарушают функционирование объекта, но могут быть компенсированы или взяты под контроль;
- Критические, требующие принятия немедленных мер;
- Катастрофические опасности, ведущие к авариям и несчастным случаям.

Идентификация отказов предусматривает их отнесение к одной из следующих четырёх категорий:

- потенциально приводящие к жертвам;
- приводящие к невыполнению основной задачи;

- приводящие к задержкам или снижению работоспособности;
- приводящие к дополнительному обслуживанию.

Применение перечисленных методов позволяет выделить наиболее значимые опасности, для количественной оценки которых используется метод построения и анализа дерева отказов (или по другой терминологии - дерева неполадок, опасностей, причин). В основе построения дерева опасностей лежит логико-аналитический метод установления причинно-следственных связей между опасными событиями, что обеспечивает возможность вычисления вероятности каждого такого события.

Количественной мерой опасности стала концепция индивидуального риска. Методы количественной оценки индивидуального риска базируются на теории надежности технического средства и широко используют ее основные понятия и полученные ею количественные характеристики надежности конкретных

технических элементов и устройств (вероятность отказов, время наработки на отказ и т.д.). Перед проведением расчетов уточняется перечень опасных факторов и определяются элементы технического оборудования и этапы технологического процесса (имеются ввиду периодические процессы с этапами загрузки и

выгрузки реагентов и т.д.), которые требуют повышенного внимания с точки зрения БЖД.

На рис. 2 мы постарались представить основные причины возникновения аварийных ситуаций техногенного характера на предприятиях масложирового комплекса.

Основные причины возникновения аварийных ситуаций техногенного характера



**Рис. 3. Причины возникновения аварий**

Достоверное прогнозирование возникновения опасных ситуаций остается важнейшей задачей для специалистов отрасли, ответственных за обеспечение безопасности производственных объектов. Самое важное - это тесное взаимодействие специалистов разных областей знаний.

Разработка и совершенствование способов повышения безопасности производственного оборудования, технологических процессов, вспомогательных операций и условий труда работников остается острой темой для ученых, инженеров, конструкторов и специалистов, непосредственно занятых выпуском продукции на предприятиях.

**Библиография**

1. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон, утвержденный Государственной думой РФ 20.06.97 г.. № 116-ФЗ (в редакции от 04.03.13 № 22-ФЗ).*
2. *Бережной С.А., Романов В.В., Седов Ю.И. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 1996. - 304 с.*
3. *Лисицын А.Н., Тагиев Ш.К., Бармашев В.А., Марков В.Н. Автоматизация как средство повышения взрывобезопасности производств. Масложировая промышленность, №3,2006 – С. 20 – 22.*

**References**

1. *O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: Federal'nyj zakon, utverzhdenyj Gosudarstvennoj dumoj RF 20.06.97 g.. № 116-FZ (v redakcii ot 04.03.13 № 22-FZ).*
2. *Berezhnoj S.A., Romanov V.V., Sedov YU.I. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: Uchebnoe posobie. Tver': TGTU, 1996. - 304 s.*
3. *Lisicyan A.N., Tagiev SH.K., Barmashev V.A., Markov V.N. Avtomatizaciya kak sredstvo povysheniya vzryvobezopasnosti proizvodstv. Maslozhirovaya promyshlennost', №3,2006 – S. 20 – 22.*

## ACTUAL PROBLEMS OF SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS TO PREVENT ANTHROPOGENIC EMERGENCY SITUATIONS

*The authors discussed the main issues of increasing the level of safety of technological processes in food production. The authors substantiate the need for deeper integration of efforts of specialists of various profile activities in the development and improvement of methods of increase of safety of production equipment, technological processes, auxiliary operations. The authors showed the importance of addressing issues of prevention of emergency situations on the example of the extraction production to increase uninterrupted production of quality food products.*

**Keywords:** production, equipment, process extraction, and industrial and fire safety.

**Федоров А.В.,**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики  
Всероссийский научно-исследовательский институт жиров,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
+7(981) 1069078, +7(812) 712-27-00,  
afedorov@corp.ifmo.ru, pbprs.ifmo.ru, vegoils@vniig.org, www.vniifats.ru*

**Fedorov A.V.,**

*St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
All-Russian Research Institute of Fats,  
Russia, St. Petersburg.*

**Бармашев В.А.,**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики  
Всероссийский научно-исследовательский институт жиров,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
+7(981) 1069078, +7(812) 712-27-00  
afedorov@corp.ifmo.ru, pbprs.ifmo.ru, vegoils@vniig.org, www.vniifats.ru*

**Barmashev V.A.,**

*St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
All-Russian Research Institute of Fats,  
Russia, St. Petersburg.*

**Марков В.Н.,**

*Всероссийский научно-исследовательский институт жиров,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
vegoils@vniig.org, www.vniifats.ru  
+7(812) 712-27-00,*

**Markov V.N.,**

*All-Russian Research Institute of Fats,  
Russia, St. Petersburg.*

**Тагиев Ш.К.,**

*Всероссийский научно-исследовательский институт жиров,  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
vegoils@vniig.org, www.vniifats.ru  
+7(812) 712-27-00,*

**Tagiev Sh.K.,**

*All-Russian Research Institute of Fats,  
Russia, St. Petersburg.*

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩИХ ПОРТАЛОВ

Т.А. Кузьмина, А.И. Бобров, И.М. Степанов, А.А. Кузьмин

*Описаны отдельные основополагающие аспекты использования специализированных информационно-обучающих порталов для дополнительного обучения специалистов на примере портала по обучению основам радиационной безопасности и портала по подготовке к действиям в условиях Арктической зоны. Рассмотрены особенности ключевых компонентов модулей вышеозначенных порталов в контексте модернизации современного учебного процесса.*

**Ключевые слова:** информационно-коммуникационные технологии, информационный ресурс, дополнительное обучение, профессиональные компетенции, обучающая среда.

Говоря о позитивных моментах внедрения в процесс дополнительного образования информационно-коммуникационных технологий, стоит упомянуть и о возможных негативных сторонах, которые могут проявиться в большей формализации образовательного процесса и в снижении интенсивности взаимного коллективного общения вплоть до частичной социальной изоляции обучающихся. Вышеозначенный негатив вполне может быть снижен за счет смешанного или комбинированного обучения (blended learning), поскольку электронное обучение может включать в себя как дистанционную форму занятий, так и очную форму преподавания (face-to-face learning). [1]

В контексте вышесказанного, немаловажным аспектом интеллектуального компьютерного обучения можно назвать так называемую техническую имитацию педагога, уделяющего внимание каждому обучаемому вне временных рамок и «узости» возможных вопросов.

Появившиеся мультимедийные инструменты со всей наглядностью продемонстрировали возможности в виртуальном пространстве как представлять доступно и привлекательно для обучения внушительные объемы знаний, так и мотивировать к обучению. К примеру, трехмерная визуализация (3-dimensional) вполне способна стать одним из элементов фундамента будущего мультимодального интерфейса человек-компьютер, который бы позволил создавать виртуальные прототипы, тренажеры, симуляторы, интерактивные обучающие технологии с WOW-эффектом, удерживающим внимание обучающихся. [2]

Условная последовательность минимального набора модулей обучающей системы, которая ориентирована на выполнение определенных функции, может быть представлена в следующем виде:

- входной, промежуточный, выходной контроль знаний;
- теоретическое обучение;
- администрирование;
- словари.

Совместимость любой обучающей системы с другими системами и комплексами должна обеспечиваться за счёт использования единой системы связи, совместимого оборудования, согласованных протоколов, единых форматов, справочников, классификаторов данных. Используемые системные программные средства должны быть представлены серверной версией заданной операционной системы не ниже определенной градации, описанной в данном конкретном случае. [3]

Для корректного функционирования программного обеспечения на сервере требуется предустановленное программное обеспечение с указанием конкретной версии и способов запуска установочного файла. [4]

От теории обратимся к практике.

С 2015 года по настоящее время успешно функционирует созданный в рамках реализации федеральных целевых программ информационно-обучающий портал, предназначенный для управления дистанционным обучением сотрудников МЧС России и представления пользователям сети Интернет данных об Арктическом регионе Российской Федерации. В результате выполнения научной работы был создан учебно-методический комплекс, соответствующее программное обеспечение для реализации очно-дистанционного обучения по указанному направлению, а также была пройдена стадия опытной эксплуатации. Проверка корректности работы системы приложений осуществлялась путем проведения бета-тестирования веб-портала как в локальном режиме, так и в режиме подключения к информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Информационно-обучающий портал «Арктика без опасности» состоит из двух модулей: модуль информирования и модуль обучения.

Компоненты модуля информирования:

- Полный список арктических спасательных центров, расположенных на территории Российской Федерации;
- Информация по основам выживания в Арктическом регионе;

– Возможность подачи онлайн заявки на туристическое обслуживание, которая будет отправлена по электронной почте в соответствующий спасательный центр;

– Обмен опытом о путешествиях в Арктическом регионе.

Компоненты модуля обучения:

– Создание новых и редактирование существующих программ обучения, формирование учебных последовательностей, пополнение базы тестовых материалов.

– Добавление новых и редактирование существующих учетных записей обучаемых.

– Пополняемая база учебных материалов, пригодная для многократного использования.

– Система тестирования обучаемых.

– Система контроля изучения учебных материалов.

Рассмотрим систему дистанционного обучения «Арктика без опасности» с точки зрения программного комплекса, функционирующего в

сети Интернет, реализующего следующие функции:

– обеспечение доступа пользователям Интернет к актуальной информации об Арктическом регионе Российской Федерации;

– регистрация сотрудников МЧС в качестве обучающихся;

– организация администрирования;

– формирование учебной последовательности обучения;

– формирование и размещение учебных материалов;

– формирование тестов по учебным материалам и проведение тестирования;

– организация дистанционного консультирования пользователей;

– администрирование учебных материалов и тестов;

– администрирование информационного наполнения портала.

Система администрирования специализированного информационного обучающего портала представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Система администрирования портала «Арктика без опасности»

Синхронизации офлайн-версии с онлайн-версией системы, совместимость с другими системами и комплексами обеспечивается за счёт использования единой системы связи,

совместимого оборудования, согласованных протоколов, единых форматов, справочников и классификаторов данных.

Программный комплекс размещен в русскоязычном сегменте информационно-телекоммуникационной сети Интернет на домене 3-

го уровня в доменной зоне Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России <http://arctica.igps.ru/> (данные на 23.08.2017 г.), представлен на рис. 2.

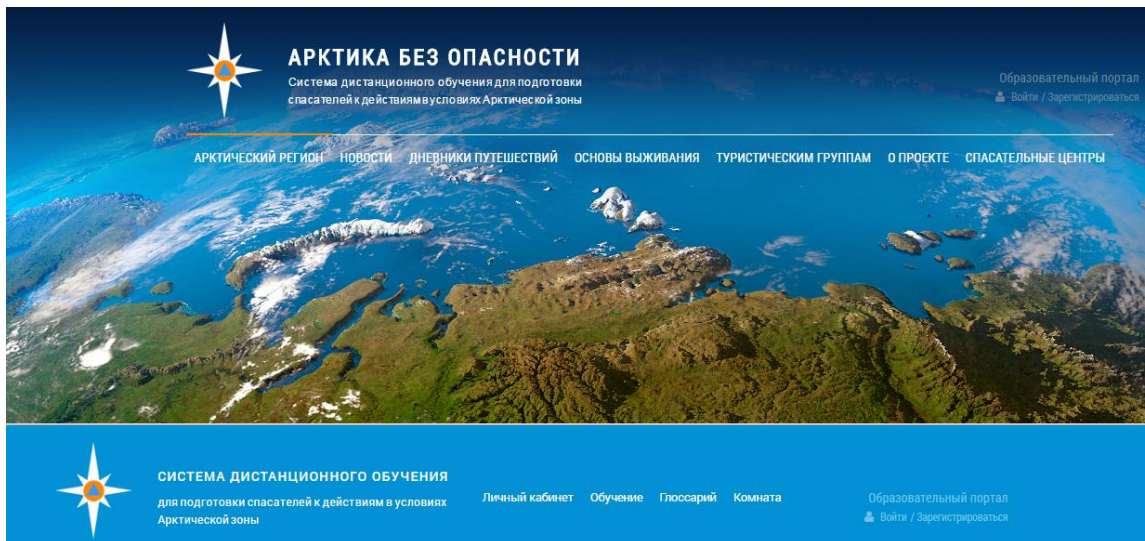


Рис. 2. Портал «Арктика без безопасности»

Изучение комплекса теоретических вопросов с помощью системы дистанционного обучения для подготовки спасателей к действиям в условиях Арктической зоны является первым этапом очно-дистанционной формы обучения.

Целью освоения программы является формирование у обучающихся комплекса теоретических знаний и профессиональных навыков, необходимых для проведения поисково-спасательных работ как на континентальной территории Арктического региона, так и в акватории Ледовитого океана и северных морей.

Поскольку виртуальная преподавательская содержит функцию дистанционного консультирования, статистические данные, файлообменник, информацию для куратора группы, то отслеживание процесса входного, промежуточного, итогового контроля знаний происходит достаточно полно и оперативно.

В течение двух лет успешно проходит запланированное дистанционное обучение групп, что является первым этапом очно-дистанционной формы обучения по дополнительной профессиональной программе повышения квалификации спасателей.

В 2016 и в 2017 году дистанционное обучение прошли 27 спасателей Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра».

Таким образом, можно говорить о том, что по дополнительной профессиональной программе повышения квалификации «Особенности ведения поисково-спасательных работ в условиях Арктического региона» дистанционная форма организации занятий вполне успешно сочетается с очной формой преподавания, что подтверждает перспективность развития комбинированного обучения в целом.

В 2016 году успешно прошли обучение сотрудники Воронежского института ГПС МЧС России на специализированном обучающем портале «Основы радиационной безопасности и защита личного состава подразделений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, участвующих в мероприятиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на АЭС», созданного при участии сотрудников Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России и размещенного в режиме открытого пользовательского доступа на поддомене <http://ra.igps.ru> официального внешнего домена Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России в русскоязычном сегменте информационно-телекоммуникационной сети Интернет (данные на 23.08.2017 г.), представлен на рис. 3.





Рис. 3. Портал «Основы радиационной безопасности»

Компоненты модуля обучения обучающего портала «Основы радиационной безопасности и защита личного состава подразделений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, участвующих в мероприятиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на АЭС»:

- Создание новых и редактирование существующих программ обучения, формирование учебных последовательностей, пополнение базы тестовых материалов.
- Добавление новых и редактирование существующих учетных записей обучаемых.
- Пополняемая база учебных материалов, пригодная для многократного использования.
- Система тестирования обучаемых. Система контроля изучения учебных материалов.

#### Библиография

1. Монахова Л.Ю. Дистанционное обучение как инструмент расширения национально-региональных образовательных пространств взрослых. // Наука сегодня: вызовы и решения материалы международной научно-практической конференции. Научный центр «Disput». - 2017. - С. 124-125.
2. Медведева Л.В., Сафонов Д.П. Психолого-педагогическое сопровождение профессионально-ориентированного тестирования сотрудников МЧС России в виртуальной реальности // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. - 2016. - № 3 (32). - С. 12-17.
3. WindowsServer. [Электронный ресурс] URL: <https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/windows-server>. - [дата обращения: 23.08.2017].
4. MySQLServer. [Электронный ресурс] URL: <http://dev.mysql.com/downloads/mysql/>. - [дата обращения: 23.08.2017].
5. Бобров А.И., Кузьмина Т.А., Ильина А.Н. Применение современных информационных технологий при обучении основам радиационной безопасности // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сборник статей по материалам V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В двух частях. Часть вторая. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2017. – С. 126-128.

В ходе бета-тестирования были отмечены позитивные моменты в виде мультимедийного контента со звуковым сопровождением, быстрой аутентификации пользователей, корректности функционирования системы приложений.[5]

В заключение хотелось бы отметить, что традиционная организационная модель по учебному взаимодействию преподаватель-студент на фоне возросшего объема знаний при так называемой непрерывной учебе (LifeLong&LifeWide) не может существовать, ориентируясь только лишь на базовые академические курсы в классно-урочной системе. Адаптивные конкурентоспособные интерактивы, созданные средствами современных компьютерных сетевых технологий, – это не эксклюзив, а норма образовательной политики, соотносящаяся с требованиями сегодняшнего дня.

#### References

1. Monahova L.YU. Distancionnoe obuchenie kak instrument rasshireniya nacional'no-regional'nyh obrazovatel'nyh prostranstv vzroslykh. // Nauka segodnya: vyzovy i resheniya materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Nauchnyj centr «Disput». - 2017. - S. 124-125.
2. Medvedeva L.V., Safonov D.P. Psihologo-pedagogicheskoe soprovozhdenie professional'no-orientirovannogo testirovaniya sotrudnikov MCHS Rossii v virtual'noj real'nosti // Psihologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva. - 2016. - № 3 (32). - S. 12-17.
3. WindowsServer. [EHlektronnyj resurs] URL: <https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/windows-server>. - [data obrashcheniya: 23.08.2017].
4. MySQLServer. [EHlektronnyj resurs] URL: <http://dev.mysql.com/downloads/mysql/>. - [data obrashcheniya: 23.08.2017].
5. Bobrov A.I., Kuz'mina T.A., Il'ina A.N. Primenenie sovremennyh informacionnyh tekhnologij pri obuchenii osnovam radiacionnoj bezopasnosti // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: sbornik statej po materialam V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. V dvuh chastyah. CHast' vtoraya. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MCHS Rossii, 2017. – S. 126-128.



## **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE SPECIALIZED INFORMATION TRAINING PORTALS**

*Separate fundamental aspects of use of the specialized information training portals for additional training of experts on the example of the portal in training in bases of radiation safety and the portal in preparation for actions in the conditions of the Arctic zone are described. Features of key components of modules of the aforesaid portals in the context of modernization of modern educational process are considered.*

**Keywords:** *information and communication technologies, information resource, additional training, professional competences, the training environment*

**Кузьмина Татьяна Анатольевна,**

*к. пед. н.,*

*старший научный сотрудник отдела перспективных разработок и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности,*

*Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности,*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

*kuzmina@igps.ru*

**Kuzmina T.A.,**

*candidate of pedagogical sciences,*

*Senior Researcher of the Department of Advanced Development and Innovative Technologies in the Field of Life Safety,*

*Research Institute of Advanced Research and Innovative Technologies in the field of life safety,*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Бобров Александр Иванович,**

*к. т. н., доцент,*

*заместитель начальника кафедры защиты населения и территорий,*

*Воронежский институт ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Воронеж,*

*89507526886@mail.ru*

**Bobrov A.I.,**

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Deputy Head of the Department of Protection of the Population and Territories,*

*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Voronezh.*

**Степанов Игорь Михайлович,**

*заместитель начальника отдела информатизации и программирования*

*Центр информационных и коммуникационных технологий,*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

*stepanov@igps.ru*

**Stepanov I.M.,**

*Deputy Head of the Department of Informatization and Programming*

*Center for Information and Communication Technologies,*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

**Кузьмин Анатолий Алексеевич,**

*к. пед. н., доцент,*

*доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности,*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

*kaa47@mail.ru*

**Kuzmin A.A.,**

*candidate of pedagogical sciences, associate professor,*

*the senior lecturer of faculty of physical and technical bases of maintenance of fire safety,*

*St. Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

## ОБОБЩЁННЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*К.Ж. Раимбеков, А.Б. Кусаинов*

*Предложена методика комплексной оценки опасности чрезвычайных ситуаций индексным методом. Проведен расчет комплексной оценки опасности чрезвычайных ситуаций для Республики Казахстан. Установлено, что наибольшую опасность для граждан и жителей Республики Казахстан представляют происшествия на водах и дорожно-транспортные происшествия. Рассмотрен обобщённый анализ чрезвычайных ситуаций, произошедших в Республике Казахстан в период с 2002 по 2016 годы. По каждому виду чрезвычайных ситуаций и происшествий рассмотрены методы управления рисками и соответствующие структуры, ответственные за проведение данных мероприятий.*

**Ключевые слова:** *риск чрезвычайной ситуации, индексный метод комплексной оценки опасности чрезвычайных ситуаций, обобщённый анализ, управление риском.*

Обеспечение безопасности личности, общества и государства является одной из приоритетных задач системы национальной безопасности страны.

На современном этапе человеческого развития существуют различные деструктивные события, представляющие угрозу безопасности. К ним относятся стихийные бедствия, аварии и катастрофы.

Ежегодно на территории Республики Казахстан происходит около 35 тыс. различных чрезвычайных ситуаций (с учетом дорожно-транспортных происшествий), от которых погибает до 4,5 тыс. человек и более 24 тыс. получают увечья различной степени тяжести [1].

Из сложившейся обстановки возникает необходимость поиска новых и пересмотра существующих методов обеспечения безопасной жизнедеятельности.

В соответствии с Законом Республики Казахстан «О гражданской защите» [2] одной из основных задач гражданской защиты является предупреждение чрезвычайных ситуаций.

Согласно данному Закону [2] одним из мероприятий гражданской защиты по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС) является оценка опасности возможных ЧС и их последствий.

Для оценки опасности чрезвычайных ситуаций проведем оценку риска ЧС.

За основу расчета риска ЧС возьмем значения, используемые при оценке пожарного риска [3]:

- риск  $R_1$  – число ЧС, приходящихся в год на одного человека,
- риск  $R_2$  – число погибших при ЧС,
- риск  $R_3$  – число людей, погибающих от ЧС за год, в расчете на одного человека,
- риск  $R_4$  – число пострадавших от ЧС,
- риск  $R_5$  – число людей, пострадавших от ЧС за год, в расчете на одного человека.

Для получения более детализированной информации об опасности ЧС с учетом всех рисков, комплексный показатель опасности ЧС рассчитывается индексным способом.

Индексный способ комплексной опасности ЧС  $k_{чс}$  определяется как сумма индексов группы рисков  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$ .

$$k_{чс} = \sum_{i=1}^5 n(R_i) \quad (1)$$

где  $n(R_i)$  – индекс группы рисков,  $i =$  от 1 до 5.

Индекс группы рисков  $n(R_i)$  определяется согласно ранжированию показателей риска ЧС (от  $R_1$  до  $R_5$ ) для исследуемых опасностей, далее индексы суммируются и определяется комплексный показатель опасности ЧС: чем выше показатель риска, тем ниже индекс [4].

Алгоритм оценки комплексного показателя опасности ЧС представлен на рисунке 1.

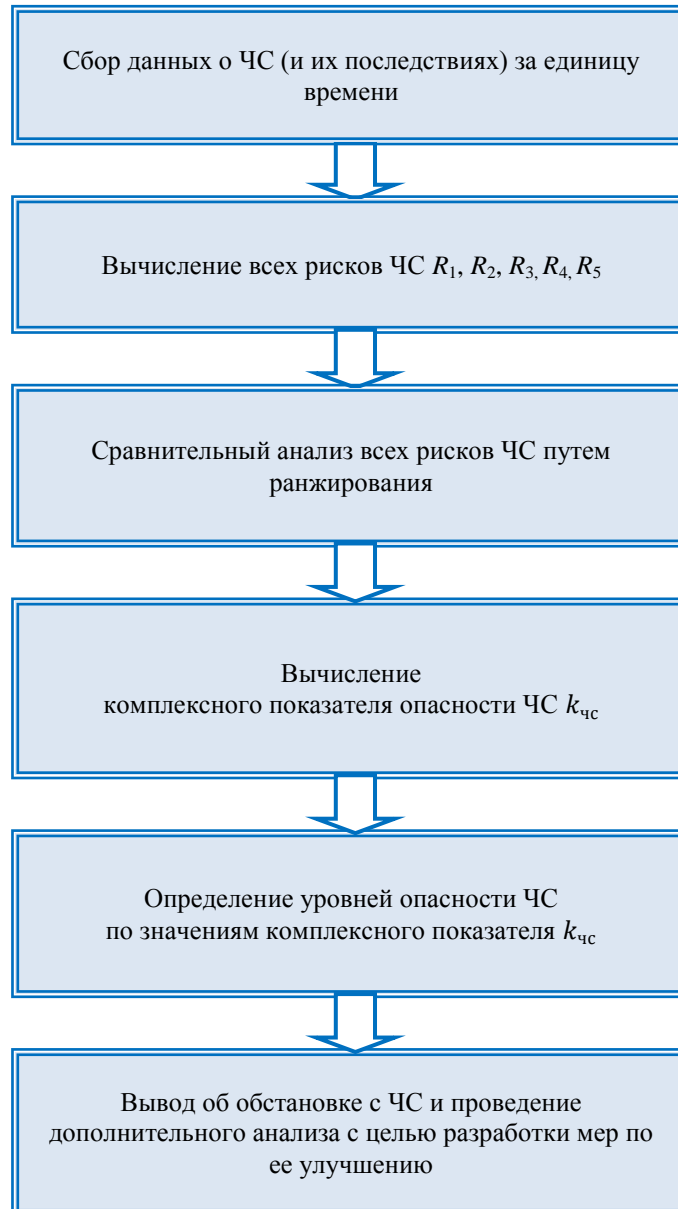


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки обстановки ЧС на основе комплексного показателя  $k_{чс}$

Согласно рисунку 1 проводятся следующие мероприятия:

1. Осуществляется сбор данных о ЧС (и их последствиях) за единицу времени;
2. Вычисляются все основные риски ЧС  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  для всех ЧС;
3. Проводится сравнительный анализ рисков ЧС путем их ранжирования;
4. Полученные индексы суммируются;
5. Вычисляется комплексный показатель  $k_{чс}$ ;
6. Определяются уровни опасности ЧС по значениям комплексного показателя  $k_{чс}$ ;
7. Делается вывод об обстановке с ЧС и проводится дополнительный анализ с целью

разработки мер по ее улучшению (то есть по управлению рисками ЧС).

Индексный метод комплексной оценки опасности ЧС показывает степень опасности каждого вида ЧС. Пользуясь данным показателем, можно проводить сравнения опасности ЧС между различными видами ЧС либо оценивать эффективность проведения защитных мероприятий.

В соответствии с приведенным алгоритмом проведем оценку обстановки ЧС в Республике Казахстан на основе комплексного показателя.

В таблице 1 представлены результаты оценки риска ЧС.

Риски чрезвычайных ситуаций в разрезе регионов Казахстана

Наименование	Значения риска ЧС				
	$R_1$ , ЧС [ $10^3$ чел. год]	$R_2$ , жертв [ $10^5$ чел год]	$R_3$ , жертв [ $100$ ЧС]	$R_4$ , постр [ $10^5$ чел год]	$R_5$ , постр [ $100$ ЧС]
Лесные пожары	0,055	0,02	0,3	0,02	0,3
Гидрометеорологические и геологические явления	0,001	0	0	0,3	21800
Происшествия на водах	0,04	3,4	85,7	6,9	175
Засуха	0,00006	0	0	0	0
Землетрясение свыше 3-х баллов	0,0009	0	0	0	0
Опасные инфекционные заболевания и отравления людей	0,15	0,09	0,4	16,4	112
Производственные и бытовые пожары	1	3,2	3,4	7	7,5
Дорожно-транспортные происшествия	0,87	17,6	20,4	96,6	112
Производственные аварии	0,01	0,9	69,6	1,5	118,6
Аварии с выбросом СДЯВ, радионуклидов	0,0012	0,006	4,8	0	0
Аварии в системах жизнеобеспечения	0,006	0,1	13	0,2	27,5
Аварии на железнодорожном транспорте	0,003	0,16	57,2	0,26	89,8
Авиакатастрофы и инциденты	0,001	0,1	58,9	0,1	100
<b>РК</b>	<b>2,07</b>	<b>26,5</b>	<b>12,8</b>	<b>143,5</b>	<b>69,3</b>

Из таблицы 1 видно, что на каждую 1 тыс. жителей Республики приходится 2,07 чрезвычайных ситуаций в год, на 100 ЧС приходится около 13 человек погибших и 69 пострадавших, на 100 тыс.

человек приходится более 26 человек погибших и 143 пострадавших [5].

По данным таблицы 1 проведена комплексная оценка опасности ЧС индексным методом (рисунок 2).



Рис. 2. Комплексный показатель опасности ЧС

Из рисунка 2 видно, что наибольшую опасность для жителей Республики Казахстан представляют происшествия на водах и дорожно-транспортные происшествия [6].

Для уменьшения и (или) снижения риска ЧС необходимо разрабатывать и реализовывать

соответствующие управленческие решения, т.е. «управлять риском» [7].

В таблицах 2 и 3 представлен обобщенный анализ опасностей, угрожающих Республике Казахстан, и методы борьбы с ними (значения 3, 4 и 5 столбцов приведены в среднем за 15 лет, в период с 2002 по 2016 годы).

Таблица 2

**Мероприятия по управлению природными опасностями**

Природные опасности						
№	Наименование	Частота в ед.времени	Гибель, чел.	Ущерб, тыс.тенге	Управление риском	Ответственные организации
1	2	3	4	5	6	7
1	Лесные пожары	704 в год	0	331,02 в год	профилактика, мониторинг, охрана лесов, пожаротушение	МСХ,МИО,КЧС
2	Гидрометеорологические и геологические явления	47 в год	15 в год	4044,5 в год	прогноз, мониторинг, оповещение, инженерно-технические мероприятия	Казгидромет, Казселезащита, МИО, КЧС
3	Происшествия на водах	669 в год	574 в год	*	профилактика, готовность водоспасательных подразделений	КЧС, МИО
4	Засуха	1 раз в 4 года	0	*	метеорология, прогноз, мониторинг	Казгидромет, МСХ, МИО
5	Землетрясение свыше 3-х баллов	16 в год	0	*	мониторинг, сейсмотренировки, сейсмостроительство, оповещение	СОМЭ, ИГИ, КЧС, МИО
6	Опасные инфекционные заболевания и отравления людей	2500 в год	11 в год	*	профилактика, выявление, мониторинг, карантин	ГСЭ, МИО

Таблица 3

**Мероприятия по управлению техногенными опасностями**

Техногенные опасности						
№	Наименование	Частота в ед.времен и	Гибель, чел.	Ущерб, млн.тенге	Управление риском	Ответственные организации
1	2	3	4	5	6	7
1	Производственные и бытовые пожары	15971 в год	536 в год	5133,8 в год	государственный контроль и надзор, профилактика, работа с населением, боеготовность ППС	КЧС, МИО, ДПФ
2	Дорожно-транспортные происшествия	14630 в год	3106 в год	*	повышение качества подготовки водителей транспортных средств, профилактика, ремонт и строительство автодорог	МВД, МИО
3	Производственные	209 в год	143 в	*	государственный	КИРиПБ,

	е аварии		год		контроль и надзор, охрана труда, инструктаж, профилактика, страхование	администрация объектов
4	Аварии с выбросом СДЯВ, радионуклидов	21 в год	1 в год	*	государственный контроль и надзор, охрана труда, инструктаж, профилактика, страхование	КИРиПБ, администрация объектов
5	Аварии в системах жизнеобеспечения	157 в год	11 в год	56 в год	государственный контроль и надзор, профилактические ремонтные работы, готовность аварийно-восстановительных бригад	КИРиПБ, МИО, ЖКХ
6	Аварии на железнодорожном транспорте	46 в год	27 в год	*	государственный контроль и надзор, замена и ремонт подвижного состава, профилактический ремонт путей	МТиК, КТЖ
7	Авиакатастрофы и инциденты	11 в год	19 в год	*	государственный контроль и надзор, замена и ремонт авиатранспорта	МТиК, авиакомпаний

\* не ведется государственный учет из-за отсутствия соответствующих методик

МСХ – Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан;

КЧС – Комитет по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан;

МИО – местные исполнительные органы;

ЖКХ - Управления и отделы энергетики и жилищно-коммунального хозяйства местных исполнительных органов;

СОМЭ - ТОО «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Министерства образования и науки Республики Казахстан;

ИГИ - РГП «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан;

ГСЭС - Государственная санитарно-эпидемиологическая служба Республики Казахстан;

МВД – Министерство внутренних дел Республики Казахстан;

ДПО – Добровольные противопожарные формирования;

КИРиПБ - Комитет индустриального развития и промышленной безопасности Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан;

МТК - Министерство транспорта и коммуникаций Республики Казахстан;

КТЖ – Акционерное общество «Национальная компания „Қазақстантеміржолы“».

Из таблиц 2 и 3 видно, что для минимизации риска возникновения ЧС и их последствий требуется большой объем различных мероприятий и привлечение различных государственных и общественных организаций. В этой связи необходимо проводить работы по проектированию соответствующих служб, обеспечивающих безопасность от различных видов угроз и опасностей. Примером такого проектирования может послужить государственная противопожарная служба.

**Библиография**

1. Шарипханов С.Д., Раимбеков К.Ж., Нарбаев К.А., Кусаинов А.Б. Катастрофы, чрезвычайные ситуации и происшествия // Аналитический отчет. Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК. - 2016. - № 1. - С. 5-6.
2. Закон Республики Казахстан «О гражданской защите» от 11 апреля 2014года № 188 [Электрон. ресурс]. – URL: <http://online.zakon.kz>
3. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А. и др. Основы теории пожарных рисков и ее приложения: Монография/Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А., Белов В.А., Иванова О.В., Попков С.Ю. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
4. Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б. Комплексный подход к оценке риска чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. - № 1. – С. 61–64.
5. Брушлинский Н.Н., Иванов О.В., Клепко Е.А., Соколов С.В. Пожарные риски (основы теории): Монография. – М.: Академия МЧС России, 2015. – 65 с.
6. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России: Монография / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов. – М.: Академия МЧС России, 2014. – 178 с.
7. Международный стандарт Менеджмент риска СТ РК ИСО Руководство 73– 2010 [Электрон. ресурс]. – URL: <http://online.zakon.kz>

**References**

1. SHariphanov S.D., Raimbekov K.ZH., Narbaev K.A., Kusainov A.B. Katastrofy, chrezvychajnye situacii i proisshestviya // Analiticheskij otchet. Kokshetau: KTI KCHS MVD RK. - 2016. - № 1. - S. 5-6.
2. Zakon Respubliki Kazahstan «O grazhdanskoj zashchite» ot 11 aprelya 2014godu № 188 [EHlektron. resurs]. – URL: <http://online.zakon.kz>
3. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V., Klepko E.A. i dr. Osnovy teorii pozharnyh riskov i ee prilozheniya: Monografiya/Brushlinskij N.N., Sokolov S.V., Klepko E.A., Belov V.A., Ivanova O.V., Popkov S.YU. – M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. – 192 s.
4. Raimbekov K.ZH., Kusainov A.B. Kompleksnyj podhod k ocenke riska chrezvychajnyh situacij v Respublike Kazahstan // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. - № 1. – S. 61–64.
5. Brushlinskij N.N., Ivanov O.V., Klepko E.A., Sokolov S.V. Pozharnye riski (osnovy teorii): Monografiya. – M.: Akademiya MCHS Rossii, 2015. – 65 s.
6. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Sovremennye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti v Rossii: Monografiya / N.N. Brushlinskij, S.V. Sokolov. – M.: Akademiya MCHS Rossii, 2014. – 178 s.
7. Mezhdunarodnyj standart Menedzhment riska ST RK ISO Rukovodstvo 73– 2010 [EHlektron. resurs]. – URL: <http://online.zakon.kz>



## **GENERALIZED ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT METHODS OF EMERGENCY SITUATIONS**

*The method of complex risk assessment of emergency situations using the index method is proposed. The calculation of the comprehensive hazard assessment of emergency situations for the Republic of Kazakhstan has been carried out. It is established that accidents on the waters and road accidents are the greatest danger for citizens and residents of the Republic of Kazakhstan. A general analysis of emergency situations occurred in the Republic of Kazakhstan between 2002 and 2016 is considered. For each type of emergencies and incidents, the risk management methods and the relevant structures responsible for carrying out these activities are considered.*

**Key words:** *emergency risk, index method of integrated emergency risk assessment, general analysis, risk management.*

**Раимбеков Кендебай Жанабильевич,**

*К.ф.-м.н.,*

*Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД  
Республик Казахстан,*

*Россия, Республика Казахстан, г. Кокшетау,*

*тел. +7 701 649-26-07*

*e-mail: kendeбай\_63@mail.ru*

**Raimbekov K.Zh.,**

*candidate of physico-mathematical Sciences,*

*Kokshetau Technical Institute of the CES MIA of the Republic of Kazakhstan,*

*Russia, Republic of Kazakhstan, Kokshetau.*

**Кусаинов Арман Булатович,**

*Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД  
Республик Казахстан,*

*Россия, Республика Казахстан, г. Кокшетау,*

*тел. +7 701 798-41-72,*

*e-mail: [arman\\_1703@mail.ru](mailto:arman_1703@mail.ru)*

**Kussainov A.B.,**

*Kokshetau Technical Institute of the CES MIA of the Republic of Kazakhstan,*

*Russia, Republic of Kazakhstan, Kokshetau.*

## ОСОБЕННОСТИ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШИМ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*Г.И. Сапронов, Т.П. Склярова, П.А. Полубояринов*

*В статье рассматривается проблема организации оказания медицинской помощи пораженным при пожарах на территории г. Воронежа и области. Представлены факторы, влияющие на организацию медико-санитарного обеспечения, структура аварийно-опасных объектов, алгоритм действий медицинских формирований. Отмечена роль территориального центра медицины катастроф в адекватности оказания медицинской помощи и последующей эвакуации в специализированные лечебные учреждения. Выявлена зависимость временного фактора в развитии исхода поражения и прогноза для жизни.*

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, безопасность жизнедеятельности, пожары, оказание медицинской помощи.

### **Актуальность.**

Проблема организации оказания медико-санитарной помощи на этапах лечебно-эвакуационных мероприятий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) пожароопасного характера в настоящее время не утратила своей актуальности [1].

Согласно информации Центра пожарной статистики МЧС Российской Федерации ежегодно при пожарах в нашей стране погибают около 12 000 человек и травмируется свыше 25 000.

Наибольшее число пожаров на территории Воронежской области за последние 15 лет отмечено в 2010 году, ущерб от которых составил более 370 млн рублей. При этом сгорело более 20 000 га леса в основном за счет ценных хвойных пород дерева. Наибольшее количество травмированных людей отмечалось при пожарах в жилом секторе. В 2015 году при пожарах получили травмы 67,3% от общего числа пораженных. Наиболее потенциально опасные объекты г. Воронежа представлены в таблице [2].

Таблица

**Структура аварийно-опасных объектов г. Воронежа (по данным на 1.01.2017 года)**

№ п.п.	Виды опасных объектов	Количество (шт.)
1.	Радиационно опасные	34
2.	Химически опасные	13
3.	Пожаро-взрывоопасные	39
4.	Всего:	86

Как следует из таблицы, плотность пожаро-взрывоопасных объектов на территории г. Воронежа достаточно велика. Большое значение при ликвидации последствий пожаров уделяется организации оказания медико-санитарного обеспечения, которая обусловлена рядом факторов: трудностью прогнозирования медицинской оперативной обстановки; сложностью розыска пораженных на задымленной территории; невозможностью срочного приближения медицинских работников к месту происшествия; массовыми санитарными потерями; оказанием первой врачебной помощи в максимально короткие сроки.

**Цель исследования:** выявить основные особенности оказания медицинской помощи пораженным при пожарах на территории г. Воронежа и области.

### **Результаты исследований.**

Вся система оказания медицинской помощи при пожарах включает в себя два этапа:

первый - догоспитальный, определяющий комплекс организационных, технических, медицинских и других мероприятий, направленных на спасение жизни пораженных и скорейшую доставку в специализированные лечебные учреждения. На догоспитальном этапе первая помощь пострадавшим оказывается в порядке само- и взаимопомощи самими пострадавшими, участниками и свидетелями пожаров, жителями близлежащих населенных пунктов до прибытия в зону ЧС аварийно-спасательных, медицинских и других формирований. Госпитальный этап оказания медицинской помощи представлен специализированными отделениями многопрофильных больниц г. Воронежа и ожоговыми и токсикологическим отделениями Воронежской областной клинической больницы (ВОКБ № 1).

По прибытии на место происшествия первой бригады скорой медицинской помощи

(СМП) с ближайшей подстанции ее медицинские работники оценивают сложившуюся при пожаре обстановку и передают сведения о медико-санитарных последствиях дежурно-диспетчерской службе станции СМП и принимают на себя руководство работой всех привлеченных медицинских сил. После прибытия бригады экстренной медицинской помощи Воронежского областного клинического центра медицины катастроф оперативное управление медицинским обеспечением в зоне пожара передается данной бригаде. При анализе было выявлено, что основная масса бригад скорой медицинской помощи прибывали в очаг пожара в сроки, соответствующие нормативному 20-минутному времени прибытия с момента регистрации вызова. Оказание медицинской помощи и эвакуация 57,8% пострадавших в стационары проводились в пределах нормативного временного показателя, так называемого «золотого часа». [3]

Пострадавшие с термической, термоингаляционной травмой и отравлением продуктами горения в более 70% случаев нуждались в экстренной госпитализации и направлялись в стационары для оказания специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи в ожоговые и токсикологическое отделения областной клинической больницы №1. В течение последних пяти лет в ожоговых отделениях ВОКБ №1 было пролечено свыше 1500 человек, за 2016 год — 360 человек. Пострадавшие с механической травмой были госпитализированы в травматологические отделения областной клинической больницы №1, многопрофильных городских больниц (больницы скорой медицинской помощи №1, №8, №10).

В случаях расположения очага пожара в удаленных районах Воронежской области пострадавшие с обширными ожогами были госпитализированы в ближайшие к месту пожара центральные районные больницы, где невозможно оказание им полноценной специализированной помощи. Медицинская эвакуация из сельских больниц осуществлялась специалистами общехирургической, нейрохирургической, травматологической, ожоговой, токсикотерапевтической и анестезиологической бригад специализированной медицинской помощи Воронежского областного клинического центра медицины катастроф с одновременным оказанием регламентированного вида медицинской помощи. Для ряда категорий пораженных в тяжелом и крайне тяжелом состоянии эвакуации пострадавших осуществлялась санитарной авиацией: самолетом АН-2, Pilatus PC 12 и санитарным вертолетом «Еврокоптер 135»,

резервным вертолетом ВО-105СВ55. Для оперативности оказания медицинской помощи в Центре медицины катастроф каждый день в режиме круглосуточного дежурства находятся 5 многопрофильных аэромобильных бригад специализированной медицинской помощи.

При пожарах в отдаленных районах Воронежской области для улучшения безопасности жизнедеятельности и обеспечения пострадавших своевременной и полноценной медицинской помощью специалистами хирургической, нейрохирургической, травматологической, ожоговой, токсикотерапевтической, анестезиологической служб отделения экстренной консультативной медицинской помощи и медицинской эвакуации центра медицины катастроф организована круглосуточная дистанционная консультативная медицинская помощь с использованием телемедицинских технологий [4].

При одновременном возникновении сразу нескольких чрезвычайных ситуаций на пожаро-взрывоопасных объектах города Воронежа и области, с массовыми санитарными потерями, для ликвидации медико-санитарных последствий на базе ЛПУ города могут быть привлечены до 657 формирований службы медицины катастроф, из которых 20 штатных, созданных на базе муниципальных учреждений здравоохранения. Из общего числа формирований - 271 бригада скорой медицинской помощи, 138 врачебно-сестринских бригад, 86 бригад специализированной медицинской помощи позволяют усилить возможности лечебно-эвакуационного обеспечения при ЧС.

#### **Выводы.**

1. Анализ показателей качества организации медико-санитарного обеспечения пострадавшим при пожарах на территории Воронежской области свидетельствует об оперативности и эффективности оказания экстренной медицинской помощи при ликвидации медико-санитарных последствий пожаров.

2. Оказание медицинской помощи на догоспитальном этапе и эвакуация пострадавших в стационары проводились в пределах нормативного временного показателя - «золотого часа» - в 57,8% случаев, что является неблагоприятным фактом для жизни и сохранения здоровья пораженных и нуждается в совершенствовании и оптимизации.

3. Четкое и рациональное взаимодействие сил и средств Департамента здравоохранения Воронежской области, Областного клинического центра медицины катастроф совместно с Главным управлением МЧС России по Воронежской области приведет к значительному снижению потерь на догоспитальном этапе.

**Библиография**

1. Медико-тактические особенности организации оказания экстренной медицинской помощи пострадавшим при пожарах в Москве / С.А. Гуменюк [и др.] // Медицина катастроф. – 2014. - № 2. – С. 9-11.
2. Сапронов Г.И. Медико-санитарное обеспечение аварийно-опасных объектов города Воронежа при чрезвычайных ситуациях мирного времени / Г.И. Сапронов, В.И. Гречкин, Л.Г. Скоробогатова // Прикладные информационные аспекты медицины научно-практический журнал. – 2017. – Т. 20, № 1.
3. Перфильева М.В. Анализ организации медико-санитарного обеспечения пострадавших при пожарах в Воронежской области / М.В. Перфильева, Л.Е. Механтьева, Е.А. Раскина // Прикладные информационные аспекты медицины научно-практический журнал. – 2017. – Т. 20, № 1.
4. Струк Ю.В. Организация оказания экстренной специализированной хирургической медицинской помощи на территории Воронежской области: достижения и проблемы / Ю.В. Струк, И.Н. Банин, И.И. Воробьев // Медицина катастроф. – 2014. - № 2. – С. 37-39.

**References**

1. Mediko-takticheskie osobennosti organizacii okazaniya ehkstretnoj medicinskoj pomoshchi postradavshim pri pozharah v Moskve / S.A. Gumenyuk [i dr.] // Medicina katastrof. – 2014. - № 2. – S. 9-11.
2. Sapronov G.I. Mediko-sanitarnoe obespechenie avarijno-opasnyh ob"ektov goroda Voronezha pri chrezvychajnyh situacijah mirnogo vremeni / G.I. Sapronov, V.I. Grechkin, L.G. Skorobogatova // Prikladnye informacionnye aspekty mediciny nauchno-prakticheskij zhurnal. – 2017. – T. 20, № 1.
3. Perfil'eva M.V. Analiz organizacii mediko-sanitarnogo obespecheniya postradavshih pri pozharah v Voronezhskoj oblasti / M.V. Perfil'eva, L.E. Mekhant'eva, E.A. Raskina // Prikladnye informacionnye aspekty mediciny nauchno-prakticheskij zhurnal. – 2017. – T. 20, № 1.
4. Struk YU.V. Organizaciya okazaniya ehkstretnoj specializirovannoj hirurgicheskoj medicinskoj pomoshchi na territorii Voronezhskoj oblasti: dostizheniya i problemy / YU.V. Struk, I.N. Banin, I.I. Vorob'ev // Medicina katastrof. – 2014. - № 2. – S. 37-39.

**FEATURES OF RENDERING MEDICAL AID TO VICTIMS IN FIRES IN THE TERRITORY OF THE VORONEZH REGION**

*The article considers the problem of medical care organization for affected by the fires in the city of Voronezh and the region. The factors that affect the organization of medical care, structure of dangerous objects, the algorithm of actions of the medical units are presented. The role of the territorial medicine of accidents center in the adequacy of medical care and subsequent evacuation to specialized medical institutions. The dependence of the time factor in the development of the injury outcome and the prognosis for life have been revealed.*

**Keywords:** emergency, safety, fire, medical assistance

**Сапронов Геннадий Иванович,**

доцент, к.м.н.

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,

Россия, г. Воронеж,

тел. 89081491290,

e-mail: [gisdok09@yandex.ru](mailto:gisdok09@yandex.ru)

**Sapronov G.I.,**

associate professor, cand. med. sci.,

Voronezh State Medical University. N.N. Burdenko,

Russia, Voronezh

**Склярова Татьяна Петровна,**

доцент, к.м.н.,

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,

Россия, г. Воронеж,

тел. 89092137358,

e-mail: [SklyarovaT@yandex.ru](mailto:SklyarovaT@yandex.ru)

**Sklyarova T.P.,**

associate professor, cand. med. sci.

Voronezh State Medical University. N.N. Burdenko,

*Russia, Voronezh*

***Полубояринов Павел Андреевич,***

*Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,*

*Россия, г. Воронеж,*

*тел. 89065825247,*

*e-mail: Poluboyarinovpavel@gmail.com*

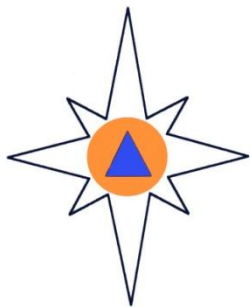
*+7 909 213 73 58, e-mail: [SklyarovaT@yandex.ru](mailto:SklyarovaT@yandex.ru)*

***Poluboyarinov P.A.,***

*Voronezh State Medical University. N.N. Burdenko,*

*Russia, Voronezh.*

© Сапронов Г.И., Склярова Т.П., Полубояринов П.А., 2017



## ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОКРАСОЧНЫХ КАМЕР

*А.М. Гавриленков, Д.В. Каргашилов, С.О. Потапова*

*В статье описана возможность использования, способы размещения и целесообразность применения щеточного распылителя в окрасочных камерах. Испытания пилотной модели выявили основные закономерности различных способов распыления и основные характеристики работы устройства, что позволило уменьшить объем потенциальной взрывоопасной смеси в установке, экономить растворитель и снизить загрязнение атмосферы за счет улучшенной очистки обработанного воздуха.*

**Ключевые слова:** окраска, камера, щетка, модель, зависимости, характеристики, эксперимент, факел, устройство, конструкция, взрывобезопасность.

Окраска деталей и готовых изделий является широко распространенной технологической операцией. При этом часто используется нанесение лаков и красок путем распыления (благодаря простоте оборудования, возможности окрашивать изделия любых размеров и форм, хорошему качеству окраски и высокой производительности). Однако при этом от 18 до 22 % окрасочных составов составляют потери вследствие туманообразования, так как часть частиц краски не долетает до поверхности изделия (капли наименьших размеров), а часть отражается от нее [1]. Этот туман удаляется из окрасочных камер вентиляционным воздухом. Так как большинство лакокрасочных материалов содержит органические растворители и разбавители, то такой туман может быть взрывоопасным.

Обычно считают [2], что в окрасочных камерах существует взрывоопасная концентрация паров растворителей. Кроме того, при выбросе такого воздуха в атмосферу она загрязняется, а также теряется значительное количество дорогостоящих материалов.

Поэтому на выходе из окрасочных камер, до вытяжных вентиляторов устанавливают устройства для очистки воздуха. Обычно это так называемые гидрофильтры, в которых загрязненный воздух взаимодействует с потоком капель воды и смоченными ею поверхностями. При такой обработке капли краски вместе с водой стекают в сборники.

Недостатками этих устройств является неполное улавливание частиц краски и то, что пары растворителей практически не улавливаются. Частицы краски затем осаждаются в корпусах

вентиляторов и воздуховодах, что создает потенциальную опасность возгорания и необходимость очистки как корпусов, так и воздухопроводов. Кроме того, многие из этих устройств обладают заметным аэродинамическим сопротивлением, от которого зависит расход электроэнергии на привод вентилятора и удельные энергозатраты на очистку воздуха.

Причинами этих негативных эффектов являются недостаточно эффективное взаимодействие капель лакокрасочных материалов с водой и отражающими поверхностями. Применяемые форсунки не обеспечивают равномерное орошение всего поперечного сечения воздуховода. При использовании для орошения капель воды, стекающих с экранов, эффективность очистки ниже, чем при применении форсунок. Однако они часто загораются при работе на оборотной воде [1], что также снижает эффективность очистки.

Для устранения этих недостатков предлагается использовать щеточные распылители. Они представляют собой цилиндрические щетки с радиальной щетиной, вращающиеся вокруг продольной оси. Нижняя часть этих щеток опущена в ванну с жидкостью (водой), которая равномерно распыляется по всей длине щетки. При этом образуется два потока капель (факела) – прямой, расположенный в направлении вращения щетки от места ее выхода из жидкости, и обратный, расположенный в противоположном направлении. Он состоит из капель, сошедших с ворсин под действием центробежной силы в последнюю очередь. Поперечное сечение обоих факелов близко

к прямоугольному, причем их ширина практически равна длине щетки.

Высота факела постепенно и нелинейно снижается по его длине.

Достоинства таких устройств – простота, надежность, экономия воды (благодаря ее повторному использованию), равномерное орошение по ширине камер и воздухопроводов большого сечения, возможность простого регулирования диаметра капель [3], а также низкое аэродинамическое сопротивление устройства.

Пилотная модель такого распылителя была изготовлена и испытана нами. Полученные при этом экспериментальные данные (рис. 1а и 1б) подтвердили возможность и целесообразность его использования, а также позволили определить основные закономерности этого способа распыления и получить расчетные уравнения для определяющих характеристик работы устройства (длина и поперечного сечения потока капель (факела распыления) их диаметров в зависимости от скорости поверхности щетки и глубины ее погружения [3].

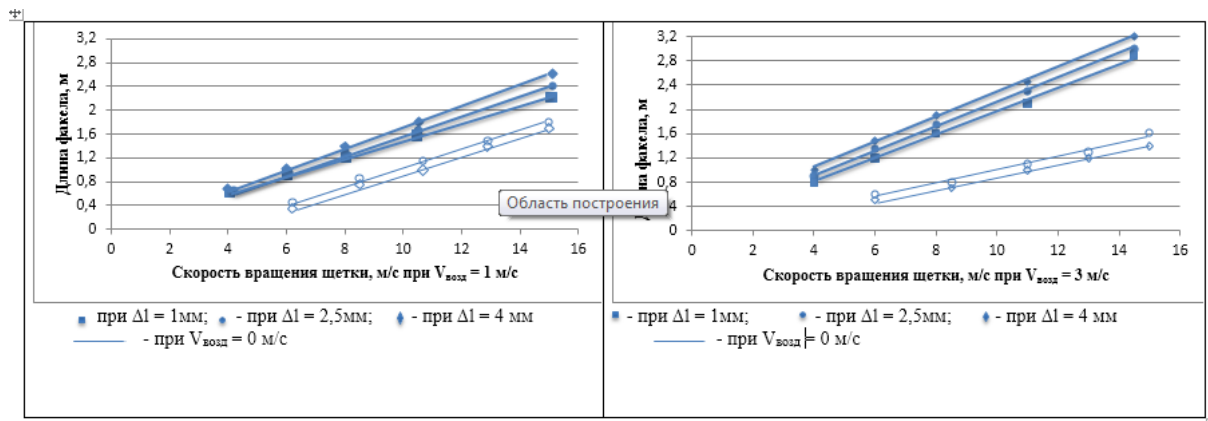


Рис. 1. а, б – зависимости длины прямого факела распыления от линейной скорости внешней поверхности щетки. а – при скоростях воздуха  $V_{возд} = 0$  м/с, б – при скоростях воздуха  $V_{возд} = 3$  м/с.

Эти уравнения были получены путем статистической обработки экспериментальных данных в опытах с цилиндрической щеткой с ансамблевым расположением щетки (наиболее распространенный тип щеток, у которых щетины размещены пучками), длина щетки составляла около 0,4 м, окружная скорость щетки варьировалась в диапазоне от 6,26 до 14,63 м/с, а глубина погружения - от 0,005 до 0,015 м. Распыляемая жидкость – вода. Распыление производилось в воздух неподвижный или имевший скорость в направлении движения верхней части щетки  $V_{возд} = 3$  м/с.

Длина прямого факела  $L_1$  аппроксимировалась уравнением вида:

$$L_1 = V \cdot K, \text{ м};$$

расход жидкости с одного погонного метра щетки:

$$Q = K (m + X_1 V + X_2 \Delta l + X_3 V \Delta l) \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\text{где } K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n;$$

при этом  $K_1$  - коэффициент, учитывающий конструкцию щетки,  $K_2$  - коэффициент, учитывающий свойства материала щетины (гидрофильность и т.д.),  $K_3$  - коэффициент, учитывающий свойства жидкости (вязкость, плотность и т.д.) и др.

$m$  - постоянный член уравнения.

В исследованном диапазоне варьирования входных управляющих параметров для неподвижного воздуха были получены следующие значения:  $K = 5,6$ ;  $m = 24257$ ;  $X_1 = 678,2$ ;  $X_2 = 822$ ;  $X_3 = 81,6$ . Сопоставление данных, полученных при неподвижном и движущемся воздухе (рис. 1б), показывает, что характер зависимости длины

факела от окружной скорости щетки при всех исследованных значениях величины ее погружения в жидкость остается неизменным – линейным. Графически для обоих этих случаев отличаются лишь величиной углового коэффициента  $K$ .

Исходя из этого, можно считать, что в потоке воздуха длина факела капель

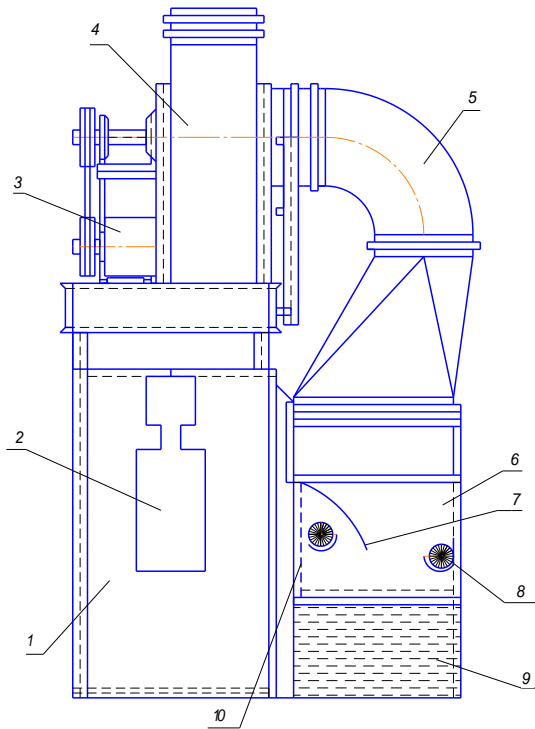
$$L_1 = V \cdot K \cdot K_b = V \cdot K_n,$$

где  $K_b$ ,  $K_n$  - коэффициенты, зависящие от скорости воздуха.

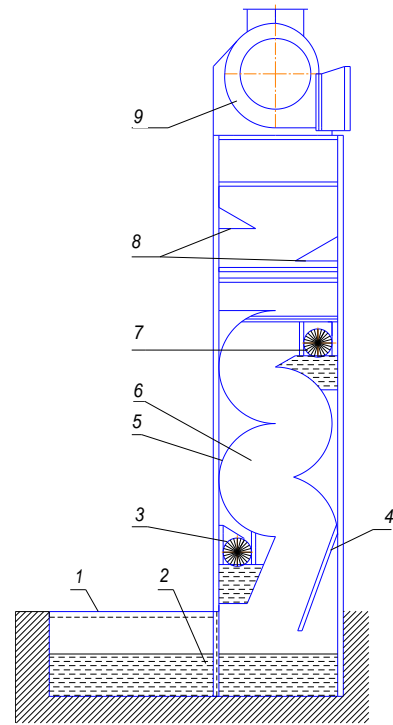
Это необходимо учитывать при проектировании оросительных камер и промывочных каналов. Так как во время работы окрасочных камер скорость воздуха в них может меняться (в том числе в зависимости от размеров окрашиваемых изделий и, соответственно, аэродинамического сопротивления заполненной камеры), то щеточные распылители должны устанавливаться с возможностью их продольного перемещения. Длина факела должна быть такой, чтобы он полностью перекрывал воздушный поток (промывочный канал) по ширине в горизонтальном сечении.

В зависимости от конструкции окрасочной камеры щеточный распылитель воды может быть установлен на продольной его стенке отводящего воздухопровода в нижней его части (рис.2), в самой промывочной камере (рис. 3) и др. Благодаря этому будет снижено количество капель лакокрасочного материала с растворителем в воздухе и, соответственно, уменьшен объем потенциально взрывоопасной смеси в установке, а также улучшена очистка отработанного воздуха.





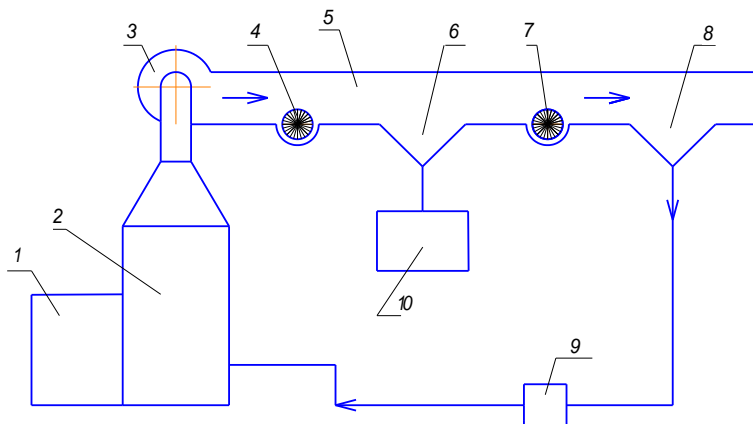
**Рис. 2.** Распылительная камера проходного типа  
1 – окрасочная камера, 2 – отверстия для прохода изделий, 3 – электродвигатель, 4 – вентилятор, 5 – воздуховод, 6 – оросительная камера, 7 – отражающий щиток, 8 – щеточные распылители, 9 – резервуар для воды, 10 – сетка



**Рис. 3.** Бескамерная окрасочная установка  
1 – решетка, 2 – емкость с водой, 3, 7 – щеточные распылители, 4 – отбойный щиток, 5 – стенка оросительного канала, 6 – оросительный канал, 8 – отражающие щетки – каплеотбойники, 9 – вентилятор с приводом

С помощью такого же устройства возможно улавливание паров растворителей (рис. 4). В этом случае нужно распылять какое-либо минеральное масло с высокой температурой воспламенения. Оно будет сорбировать пары растворителя из воздуха, а затем может рекуперироваться путем нагревания. Выделяющиеся пары растворителей будут охлаждаться и конденсироваться. При малой

производительности установки ее целесообразно выполнить периодического действия, при большой – непрерывного. Это позволит экономить растворитель и снизит загрязнение атмосферы. Узел улавливания паров растворителя может быть установлен на кровле здания. В этом случае он должен быть теплоизолирован во избежание замерзания воды и увеличения вязкости масла при минусовой температуре атмосферного воздуха.



**Рис. 4.** Схема устройства для комплексной очистки вентиляционного воздуха окрасочных камер  
1 – окрасочная камера, 2 – типовое устройство для улавливания капель краски, 3 – вентилятор с приводом, 4 – щеточный распылитель для минерального масла, 7 – щеточный распылитель для воды, 8 – каплеуловитель для воды, 9 – насос для рециркуляции воды, 10 – сборник масла, насыщенного растворителем

**Библиография**

1. Сточник Г.Ф. *Технология окрасочных работ в машиностроении [текст, илл.]*. - М.: Высш. Школа, 1981 - 238 с.
2. *Пожарная безопасность технологических процессов /Учебник [текст]*.
3. Гавриленков А.М., Бредихин П.С. *Экспериментальное исследование распыления жидкости вращающейся щеткой [текст, илл.]* Вестник ВГТА. – 2010. - №1. - С. 46-49.

**References**

1. Stochnik G.F. *Tekhnologiya okrasochnykh rabot v mashinostroenii [tekst, ill.]*. - M.: Vyssh. SHkola, 1981 - 238 s.
2. *Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov /Uchebnik [tekst]*.
3. Gavrilentov A.M., Bredihin P.S. *EHksperimental'noe issledovanie raspyleniya zhidkosti vrashchayushchejsya shchetkoj [tekst, ill.]* Vestnik VGTA. – 2010. - №1. - S. 46-49.

**INCREASING THE EXPLOSION PROTECTION OF COLOR CHAMBERS**

*The article describes the possibility of using, the methods of placement and the expediency of using a brush spray in painting chambers. Tests of the pilot model revealed the main regularities of various methods of spraying and the main characteristics of the device, which made it possible to reduce the volume of a potential explosive mixture in the plant, save solvent and reduce atmospheric pollution, through improved purification of the exhaust air.*

**Keywords:** coloring, camera, brush, model, dependencies, characteristics, experiment, torch, device, design, explosion safety

**Гавриленков Александр Михайлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Россия, г. Воронеж,  
тел. 961-109-39-74

**Gavrilentov A.M.,**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Voronezh State University of Engineering Technology,  
Russia, Voronezh.

**Каргашилов Дмитрий Валентинович,**  
кандидат технических наук,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
тел. 8-910-349-70-39

**Kargashilov D.V.,**  
Candidate of Technical Sciences,  
Voronezh Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.

**Потапова Светлана Олеговна,**  
кандидат технических наук,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
тел. 8-920-219-18-73,  
[sx100is@rambler.ru](mailto:sx100is@rambler.ru)

**Potapova S.O.,**  
Candidate of Technical Sciences,  
Voronezh Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.

## О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ

*М.М. Жуков, В.И. Кудряш, Ю.Н. Шалимов, А.В. Мальцев*

*В работе рассмотрены основные вопросы, связанные с перспективой применения структурированных тонких пленок алюминия для хранения водорода в гидридной форме и использования его в автономных источниках электропитания. Рассмотрены способы и режимы электрохимического формирования структуры поверхности и объема пленочного накопителя.*

**Ключевые слова:** электрохимические системы, гидридное хранение водорода, формирование структуры.

Источники электропитания как элементы радиоэлектронных систем в значительной мере определяют безотказность их функционирования и, следовательно, надежность таких систем в целом. Это утверждение справедливо не только для стационарных радиотехнических систем, но и для систем автономных, без стационарного (централизованного) электроснабжения, и подвижных устройств приема и ввода информации в систему. При этом автономные источники электропитания устройств радиотехнических систем могут применяться как в качестве аварийных, так и в качестве источников штатного электроснабжения радиотехнических устройств.

Парк современных автономных устройств, обеспечивающих электроснабжение радиотехнических систем, достаточно разнообразен и содержит электрогенерирующие устройства, использующие разнообразные электрофизические и электрохимические процессы, обеспечивающие генерацию электрической энергии в результате более или менее эффективного преобразования механической или химической энергии в электрическую. В их состав входят дизельные, бензиновые электрогенераторы, устройства непосредственного преобразования химической энергии в электрическую, включающие гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы и т.д.

Однако возрастающие требования, предъявляемые к автономным источникам электропитания, как по массогабаритным параметрам, так и по величине удельной энергоёмкости, практически во всех областях их использования вызывают усиленный интерес к поиску, исследованию и разработке более эффективных устройств генерации электрической энергии.

Анализ технических параметров и характеристик автономных источников электропитания радиотехнических устройств и систем, используемых в настоящее время, и результатов научных исследований в этой области показал, что наиболее перспективное направление

разработки эффективных автономных источников электроэнергии определяют результаты, полученные в области водородной энергетики.

В отличие от используемых в настоящее время углеводородных источников энергии запасы водорода, связанного в органическом веществе и в воде, практически неисчерпаемы. Энергосодержание 1 г водорода эквивалентно энергосодержанию около 3 г бензина. При использовании водорода в топливных элементах вследствие высокого КПД топливного элемента (в 1,5 - 3 раза больше, чем у ДВС) эффективность водорода как топлива оказывается ещё выше (примерно в 4-10 раз).

В настоящее время внимание к водородной энергетике вызвано следующими его основными особенностями: водород - универсальный вид энергоресурса, он может быть использован в качестве горючего для производства электричества в рабочих циклах различного типа и в качестве энергоносителя для транспортировки в газообразном, жидком и связанном состояниях; запасы водорода практически неограниченны; и наконец, при помощи водорода возможно аккумулирование энергии; кроме того, среди прочих видов органического топлива водород отличается наибольшей теплотворной способностью на единицу массы и наименьшим отрицательным воздействием на окружающую среду.

Решение вопросов, связанных с переходом на водородное топливо, требует системного подхода к анализу возникающих при этом технических проблем. Главной проблемой, сдерживающей активное применение топливных элементов, является создание компактных, надёжных и недорогих систем хранения и транспортировки водорода. Сложность этой задачи определяется тем, что в свободном состоянии водород - это самый лёгкий и один из самых низкокипящих газов. Достаточно сказать, что в жидком и твёрдом состоянии водород более чем на порядок легче воды и на порядок легче бензина.

Большое распространение получило хранение водорода в сжатом состоянии в баллонах

высокого давления. Здесь водород закачивается в ёмкость под высоким давлением до 300-400 ат., однако, для хранения 2 кг  $H_2$  требуются баллоны массой 33 кг, и взрывоопасность не находится на должном уровне.

Второй способ хранения - хранение водорода в жидкой форме. При этом, помимо обеспечения взрыво- и пожаробезопасности, появляются дополнительные затраты на охлаждение водорода, высокие энергозатраты на сжижение водорода вследствие его крайне низкой температуры кипения.

Представляемые результаты исследований посвящены наиболее перспективному направлению в создании систем аккумулирования водорода на основе его связанного хранения в форме гидридов [1-3], которые являются наиболее безопасными.

Рентабельность такого способа хранения обеспечивается:

- невысоким давлением, а также температурой в период эксплуатации;
- длительным временем хранения водорода;
- схожестью с аккумулятором: многократность циклов заряда-разряда.

Проведенные нами исследования электрохимических процессов обработки алюминия показали, что аккумуляторы водорода на основе гидрида алюминия могут быть использованы в качестве основного компонента накопителей энергоресурса. В таком варианте хранения водорода он безопасен и самопроизвольно не воспламеняется, поскольку находится в структуре металла без давления. Теоретические расчеты накопителей на основе гидридов алюминия показали, что их эффективность, выраженная в удельной аккумулируемой мощности на единицу объема, значительно выше – в 10-15 раз, чем у существующих аналогов. При этом используются только доступные отечественные материалы, например, алюминий и его сплавы, а не дефицитные редкоземельные или драгоценные металлы.

Нами разработан и предложен метод практического использования технологии накопления водорода в металле по дефектам его структуры [1]. При этом решалась задача контроля состояния и результатов формирования дефектной структуры материала матрицы, её изменения в процессе накопления и рекупирации водорода.

Вопрос об определении количества поглощенного металлами водорода представляет большой интерес по двум причинам: во-первых, включаемый в структуру металлов и сплавов водород изменяет их физико-химические и физико-механические свойства, что определяет возможность использования данных материалов как конструкционных, а во-вторых, позволяет дать оценку по их использованию в качестве накопителей водорода.

Традиционно наибольшее распространение получил метод вакуумной экстракции [4], однако

его использование затрудняет определение энергетических параметров этих процессов, кроме того, оно связано с некоторыми ограничениями на габариты исследуемых образцов.

Возможность использования электрохимических методов [5,6] определения степени наводороживания металлов пока не прошла широкой апробации, что не позволяет сделать заключение о возможности их использования в настоящее время.

В связи с этим был опробован и использован для этих целей метод внутреннего трения [3,7-9]. При этом для определения степени содержания водорода в металлах использовался температурный спектр внутреннего трения. Этот высокочувствительный к изменениям дефектами структуры материалов метод позволяет оценить не только количество поглощаемого материалом водорода, но и энергию связи Me-H в образующихся гидридах.

Поиск материалов для эффективных твердотельных накопителей водорода и технологии формирования на их поверхности развитых структур показал, что наибольший интерес представляют достаточно дешёвые технические материалы, такие как Cr, Al и др. По нашему мнению [10], наиболее перспективным материалом для использования в накопителях водорода можно считать тонкие плёнки алюминиевой фольги, обработанной специальным образом.

В качестве матрицы накопителя использовалась фольга с рабочей толщиной от 0,05 до 0,1 мм из сплава AlB. Бор в качестве лиганда обеспечивает повышенную прочность фольги, увеличивает её электропроводность и уменьшает потенциал барьерного слоя на границе раздела металл-электролит. Кроме того, он увеличивает число дефектов, которые являются «ловушками» для водорода.

При электрохимическом формообразовании структуры матрицы накопителя число «ловушек», получаемых при этом, находится в прямой зависимости от величины плотности тока его и скважности, которые определяют число центров электролитической кристаллизации. Реакционной зоной, в которой протекают процессы образования гидрида, служат границы между зёрнами структуры металла. Эти процессы протекают не только на поверхности электрода, но и в его объеме. Тем самым значительно увеличивается энергетическая емкость аккумулятора. При этом прогнозируется увеличение емкости накопителя в несколько раз.

Поскольку структура, формируемая в пленке, сильно зависит как от плотности тока, протекающего через каждый элемент поверхности, так и от формы тока, для оценки распределения тока по участкам обрабатываемого материала нами был сконструирован мозаичный электрод, позволяющий проводить это в автоматическом режиме для целей количественной оценки вероятности образования гидридов.

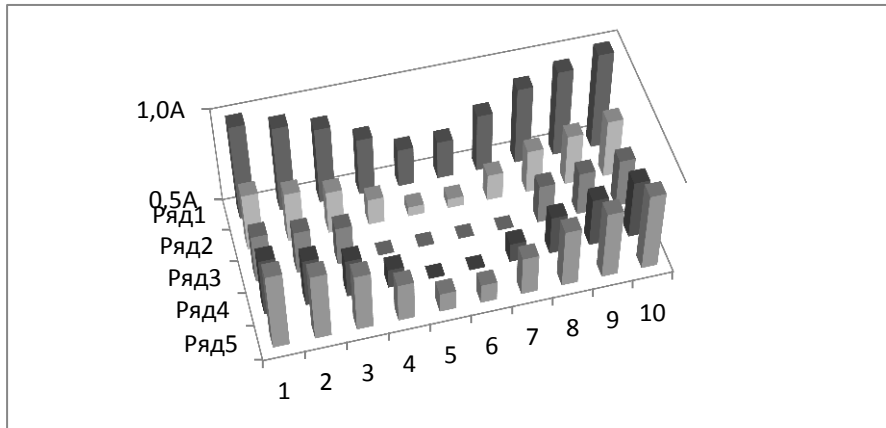


Рис. 1. Распределение тока по участкам мозаичного электрода (площадь каждого фрагмента 1 см<sup>2</sup>)

На рис. 1 представлено распределение тока по участкам мозаичного электрода, которое характеризует степень неравномерности образования гидридов в условиях питания электролитической ячейки постоянным током.

Для формирования развитой поверхности электрода, то есть увеличения числа «ловушек» и для устранения нежелательного эффекта неравномерного распределения тока по электроду, нами разработана технология импульсного электрохимического формирования пор в структуре металла. Для этих целей был разработан источник импульсного однополярного напряжения с возможностью раздельного изменения его частоты, скважности и постоянной составляющей. Это

позволило использовать комбинированный импульсный режим питания электрода, при котором прямоугольные импульсы тока подавались на образец на фоне компенсирующего постоянного тока, что дало возможность исключить процессы перезарядки емкости двойного электрического слоя и тем самым повысить эффективность использования импульсных режимом электролиза по сравнению с режимом постоянного тока. В зависимости от скважности импульсной составляющей тока число центров кристаллизации и растворения возрастает прямо пропорционально величине скважности [3], что приводит к увеличению емкости накопителя по водороду - рис. 2.

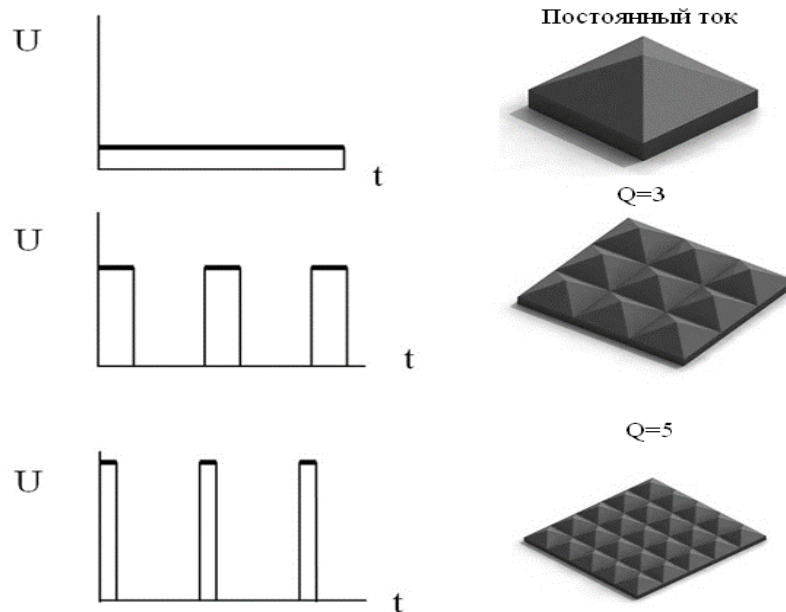


Рис. 2. Формирование числа центров кристаллизации с использованием постоянного и импульсного тока ( $Q$  – скважность импульсного тока)

Тем самым была обеспечена возможность целенаправленного формирования типа морфологической структуры для накопления и экстракции водорода в соответствии с возможными областями использования накопителя, что

определяется технологическими параметрами режимов анодной обработки фольги.

Реальная морфология внутренней структуры пористой системы имеет древовидную форму, каналы внутри электрода различаются по сечению и протяженности. Главными причинами,

по которым происходит отклонение реального профиля от идеализированного варианта, являются процессы, связанные с транспортом продуктов реакции в глубине поры. Однако, с другой стороны, это обстоятельство позволяет устанавливать такие режимы импульсной обработки фольги, включая выбор скважности и величины плотности тока обработки с учетом динамики электрохимических и гидродинамических процессов в образующейся структуре, при которых формируется пористая структура с параметрами, обеспечивающими эффективное накопление и последующую экстракцию водорода.

В этих сложных процессах, сопровождающихся возникновением тепловых эффектов, водород образует молекулы и ассоциации из этих молекул, возникающие при этом градиенты температуры вызывают изменение скорости миграции водорода в электроде. Разность скоростей миграции и неравномерное распределение по сечению и длине образующихся каналов транспорта молекулярного и ассоциированного водорода приводит к возникновению так называемого редукционного эффекта, который полностью исключает взрывной характер экстракции и позволяет эффективно регулировать экстракцию водорода.

Топливные элементы используются для непосредственного окисления водорода при

электрохимическом преобразовании. Но в настоящее время предпочтение отдается топливным элементам, использующим твердые электролиты. Разработанная система позволяет эффективно использовать водород для осуществления процесса его окисления на отрицательном электроде. Номинальное значение ЭДС такого элемента составляет примерно 0,9В. В качестве окислителя используется кислород воздуха.

На рынке аккумуляторов электрической энергии в настоящее время присутствует широкий выбор электродных систем и аккумуляторов различных типов. Наиболее известные – это литий-ионные гальванические элементы, кислотные и щелочные аккумуляторы, суперконденсаторы. Тем не менее, в мировой практике отсутствуют прямые аналоги использования технологии накопления водорода в гидриде алюминия по дефектам структуры с дальнейшим электрохимическим преобразованием химической энергии водорода в электрическую.

В таблице 1 представлены параметры функциональных аналогов на основе никель-металлгидридных (NiMH) элементов и литий-ионных (Li ion) элементов и расчетные параметры перспективного источника питания с аккумулятором водорода на основе структурированных тонких пленок алюминия.

Таблица 1

**Сравнительный анализ различных видов источников тока**

Параметр	NiMH	Кобальт лития	Литий-марганцевый	Литий ферро-фосфатный	Прототип Гидрид алюминия
Энергия, Вт*ч/кг	60-120	150-190	100-135	90-120	2000-3000
Рвнутр, мОм	200-300 аккумулят. блок 6В	150-300; 7,2В	25-75 на элемент	25-50 на элемент	200-300
Жизненный цикл, 80% разр.	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000	>10000
Время заряда (быстрого)	2-4ч	2-4ч	1 час и менее	1 час и менее	0,5 – 1 час
Терпимость к перезарядке	Низкая	Низкая. Не переносят постоянную подзарядку	Низкая. Не переносят постоянную подзарядку	Низкая. Не переносят постоянную подзарядку	Любой тип зарядки, включая непрерывную подзарядку
Саморазряд/месяц	30%	Менее 10%	Менее 10%	Менее 10%	Отсутствует
Напряжение элемента, ном.	1,2В	3,6В	3,8В	3,3В	0,9
Напряжение отсечки при зарядке (В/элемент, 1С)	2,25	4,2	4,2	3,6	-
Напряжение отсечки при разряде (В/элемент, 1С)	1,00	2,5-3,0	2,5-3,0	2,8	0,9
Пиковый ток нагрузки	5С	>3С	>30С	>30С	Определяется типом структ.

Температура зарядки	От 0С до 45С	От 0С до 45С	От 0С до 45С	От 0С до 45С	От 0С до 60С
Температура разрядки	-20С до 65С	-20С до 60С	-20С до 60С	-20С до 60С	-30С до 60С
Требование к обслуживанию	60-90 дней (разрядка)	Не требуется	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Требование к безопасности	Используются термопредохранители	Обязательный защитный контур	Обязательный защитный контур	Обязательный защитный контур	Герметичный накопитель,, избыт. давл. 0,5 атм.
Используются с	1990	1991	1996	1999	
Утилизация	Требуют специальных затратных технологий переработки	Требуют специальных затратных технологий переработки	Требуют специальных затратных технологий переработки	Требуют специальных затратных технологий переработки	Обычная переплавка

Таким образом, аккумулятор на основе гидроксида алюминия в соответствии с полученными результатами и предварительными расчетами по ряду параметров превосходит существующие аналоги, что свидетельствует о перспективности выбранного направления исследований и

необходимости проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, необходимых для изготовления опытных образцов и отработки на них параметров технологического процесса для их производства.

#### Библиография

1. Шалимов Ю.Н. Проблемы применения водорода в энергетике / Ю.Н. Шалимов, В.И. Кудряш, А.Л. Гусев, В.И. Парфенюк, Ю.В. Литвинов, А.М. Сычев, Е.Л. Харченко, Д.Л. Шалимов, Е.С. Миленина, Е.Л. Савельева // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*. – 2009. – №3. – С. 61–74.
2. Шалимов Ю.Н. Процессы взаимодействия водорода с металлами в электрохимических системах / Ю.Н. Шалимов, В.И. Парфенюк., Ю.В. Литвинов, В.И. Кудряш, Е.Л. Харченко, Н.В. Гаврилова, Д.Л. Шалимов, Е.С. Миленина, // *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*. – 2009. – Т. 52. – №5. – С. 62–66.
3. Гаврилова Н.В. Оценка аналитических возможностей метода определения содержания водорода в металлах / Н.В. Гаврилова, В.И. Кудряш, Ю.В. Литвинов, Е.Л. Харченко, Ю.Н. Шалимов // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»*. – 2008. – №8. – С. 10–26.
4. Кузнецов В.В. Наводороживание металлов в электролитах / В.В. Кузнецов, Г.В. Халдеев, В.И. Кичинин // *Москва: Машиностроение*, 1993. – 96 с.
5. Сирота Д.С. Анодное растворение наводороженного никеля в щелочном растворе / Д.С. Сирота, А.П. Пчельников // *Защита металлов*. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 47-51.
6. Сирота Д.С., Пчельников А.П. Исследование гидроксида никеля электрохимическим методом //

#### References

1. Shalimov Y.N., Kudrjash V.I., Gusev A.L., Parfenyuk V.I., Litvinov Y.V., Sychev A.M., Kharchenko E.L., Shalimov D.L., Milenina E.S., Savelyeva E.L. *Problemy primeneniya vodoroda v jenergetike // Alternativnaja jenergetika i jekologija*. – 2009. – №3. – S. 61–74
2. Shalimov Y.N., Parfenyuk V.I., Litvinov Y.V., Kudrjash V.I., Kharchenko E.L., Gavrilova N.V., Shalimov D.L., Milenina E.S. *Processy vzaimodejstvija vodoroda s metallami v electrohimicheskijh sistemah // Izvestija Vysshijh Uchebnyh Zavedenij "Khimija I Khimicheskaya Tekhnologiya"*. – 2009. – T. 52. – №5. – S. 62–66
3. Gavrilova N.V., Kudrjash V.I., Liteynov Y.V., Kharchenko E.L., Shalimov Y.N. *Ochenka analiticheskijh vozmozhnostej metoda opredelenija vodoroda v metallah // Alternativnaja jenergetika i jekologija*. – 2008. – №8. – S. 10–26.
4. Kuznetsov V.V., Khaldeev G.V., Kichinin V.I. *Navodorazhivanie metallov v jelectrolitah // M.: Mashinostroenie*, 1993. – 96 s.
5. Sirota D.S., Pchel'nikov A.P. *Anodnoe rastvorenie navodorozhennogo nikel'ja v shelochnom rastvore // Zashita metallov*. – 2004. – T. 40, № 1. – S. 47-51.
6. Sirota D.S., Pchel'nikov A.P. *Issledovanie gidrida nikel'ja jelektrohimicheskijh metodom // Zashita metallov*. – 2004. – T. 40, № 1. – S. 52-54.
7. Grankin E.A. *Vlijanie uslovij electrolisa i termicheskoj obrabotki na vnutrennee trenie I korrozionnuju stojkost, jelectroliticheskogo hroma:*



Защита металлов. - 2004. - Т. 40, № 1. - С. 52-54.

7. Гранкин Э.А. Влияние условий электролиза и термической обработки на внутреннее трение и коррозионную стойкость электролитического хрома: дис. ... канд. техн. наук / Э.А. Гранкин. - Воронеж: ВПИ, 1973. - 116 с.

8. Шалимов Ю.Н. Влияние тепловых и электрических полей на электрохимические процессы при импульсном электролизе: дис. ... докт. техн. наук / Ю.Н. Шалимов. - Воронеж, 2006. - 360 с.

9. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах / В.С. Постников. - Москва: Металлургия, 1969. - 332 с.

10. Кудряш В.И. Водородные технологии в альтернативной энергетике / В.И. Кудряш, М. Лутовац, С.А. Соколов, В.И. Федянин, Ю.Н. Шалимов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России №3(15). - 2015. С. 66-74.

11. Горшков И.О. Сравнительная оценка возможности использования электрохимических генераторов в качестве первичных источников электропитания систем охраны / И.О. Горшков, В.И. Кудряш // Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем Всероссийская научно-практическая конференция: сб научн. тр. - Воронеж, 2015. - С.64-66.

diss. ... kand. tehn. nauk // E.A. Grankin. - Voronezh. - 1973. - 116 s.

8. Shalimov Y.N. Vlijanie teplovyh i jelektricheskikh polej na jelektrohimicheskie processy pri impulsnom jelektrolize: diss. ... dok. tehn. Nauk // Y.N. Shalimov. - Voronezh, 2006. - 360 s.

9. Postnikov V.S. Vnutrennee trenie v metallah. M.: Metallurgija, 1969. - 332 s.

10. Kudrjash V.I., Lutovats M., Sokolov S.A., Fedyanin V.I., Shalimov Y.N. Vodorodnye tehnologii v alternativnoj jenergetike // Vestnik of Voronezhskogo Instituta GPS MChS Rossii №3(15). - 2015. S. 66-74.

11. Gorshkov I.O. Sravnitel'naja ocenka vozmozhnosti icpol'zovanija jelektrohimicheskikh generatorov v kachestve pervichnyh istochnikov jelektropitanija systems ohrany / I.O. Gorshkov, V.I. Kudrjash // Aktual'nye voprosy jekspluatatsii sistem ohrany i zashishjonnyh telekommunikacionnyh system. Vse-Rossijskaja nauchnaja I prakticheskaja konferencija. Voronezh, -2015. S.64-66.

## ON THE PROSPECTS OF CREATING AUTONOMOUS POWER SUPPLIES FOR RADIO ENGINEERING DEVICES USING ELECTROCHEMICAL SYSTEMS BASED ON STRUCTURED THIN ALUMINUM FILMS

*The paper considers the main issues related to the possibilities and prospects of use of structured thin aluminum films for storing hydrogen in a hydride form and its use in an autonomous power supplies. It considers the methods and regimes of the electrochemical formation of the surface structure and the volume of the film power supply are considered.*

**Keywords:** electrochemical systems, hydride storage of hydrogen, formation of structure.

**Жуков Михаил Михайлович,**  
кандидат технических наук,  
начальник кафедры радиотехники и электроники,  
Воронежский институт МВД России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-908-137-65-51,  
e-mail: mzhukov24@mvd.ru,  
**Zhukov M.M.,**  
Candidate of Technical Sciences,  
head of the department,  
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia,  
Russia, Voronezh.

**Кудряш Владлен Иванович,**  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры радиотехники и электроники, ,  
Воронежский институт МВД России,  
Россия, г. Воронеж,

телефон: 8-920-400-08-06,  
e-mail: kudrjash\_vi@mail.ru,

**Kudrjash V.I.,**  
*Candidate of Sciences (Physics and Mathematics),  
Assistant Professor,  
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia,  
Russia, Voronezh.*

**Шалимов Юрий Николаевич,**  
*доктор технических наук, профессор,  
научный руководитель НПП «ЛУЧ»  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-905-053-45-73,  
e-mail: shalimov\_yn@mail.ru,*

**Shalimov Yu.N.,**  
*Ph. D., Professor,  
Scientific supervisor of NPP "LUCH",  
Russia, Voronezh.*

**Мальцев Александр Владимирович,**  
*доцент, кандидат технических наук,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-920-460-30-92  
e-mail: fastmen@list.ru*

**Maltcev A.V.,**  
*associate professor, Candidate of Technical Sciences,  
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.*

## ПОЖАРЫ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ И АНАЛИЗ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

*А.В. Мальцев, А.В. Кочегаров, Д.В. Зубков*

*Проанализированы места возможного распространения пожаров на нефтеперерабатывающих заводах, основные причины пожаров на нефтеперерабатывающих заводах, проанализированы свойства обрабатываемых веществ, что позволяет сделать вывод, что целый ряд представляют опасность суммарного действия, являясь взрывными, пожароопасными, токсичными, вредными и опасными веществами. Повреждение оборудования и транспортировочных механизмов, участвующих в техпроцессе, может привести к выбросу токсичных, вредных и опасных веществ в воздух с возникновением облаков топливовоздушных смесей.*

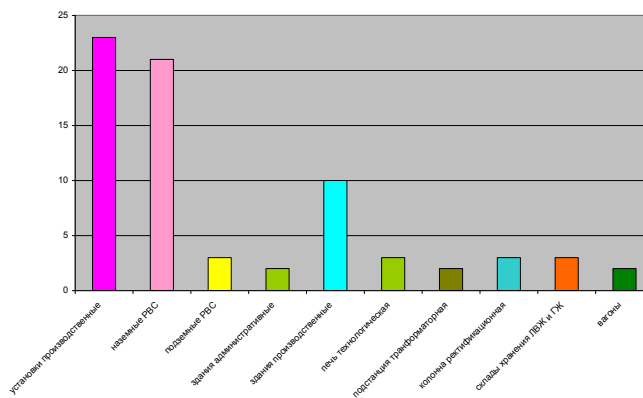
**Ключевые слова:** пожар, место возникновения и причины пожаров, анализ свойств опасных веществ.

Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) – это огромный взрывопожароопасный объект, который имеет большое количество резервуаров. В нем происходит много сложных, а зачастую трудно вообразимых технологических процессов. Часть нефтеперерабатывающих заводов находятся на краю города, недалеко от жилых домов, что может привести к более катастрофическим последствиям, чем, например, землетрясение или оползень [1].

Пожары на таких нефтеперерабатывающих заводах развиваются в непредсказуемых условиях с распространением огня на огромных скоростях на

ближайшие агрегаты и участки, и, как правило, имеют характер катастрофы с труднооценимым материальным ущербом. На больших заводах имеются огромные объемы жидкости (легковоспламеняющие и горячие), которые в случае пожара способствуют значительному увеличению размера пожара [2].

Проанализированные имеющиеся российские и международные данные о пожарах говорят о том, что за последние десять лет на НПЗ произошло 70 (семьдесят) пожаров.



**Рис. 1.** Места возникновения пожаров

Как видно на рисунке 1, наиболее распространенные места возникновения пожаров – это установки производства и наземные резервуары. Практика показывает, что пожары, которые происходят в таких резервуарах, как правило, начинаются с периода возникновения и протекания взрыва, это приводит выходу из строя автоматизированных установок для тушения пожара. Из этого следует, что для тушения пожара потребуется много воды для защиты горящего резервуара, и в случае достаточно близкого расстояния необходимо также проливать соседние

резервуары. Для этого потребуется большое количество как личного состава, так и пожарной техники [3].

Пожары на нефтеперерабатывающих заводах в вертикальных стальных резервуарах (РВС) очень трудно тушимы и, как правило, имеют затяжной характер. Данная ситуация приводит к значительным экономическим и умственным затратам. Проанализировав данные пожаров и выбрав основные из них, можно выделить следующие группы причин, которые представлены на рисунке № 2.

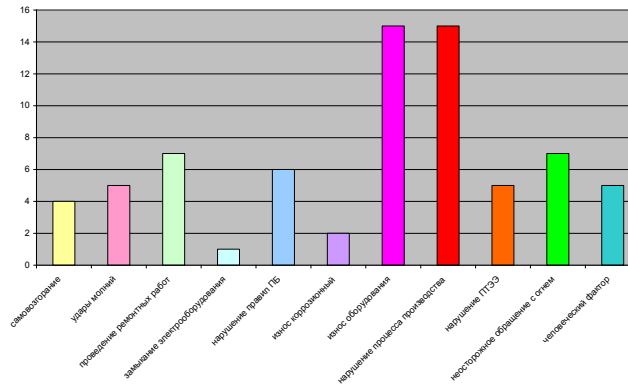


Рис. 2. Основные причины пожаров

Эти данные говорят о том, что наиболее часто встречаемые причины возникновения пожаров это:

- амортизация (изнашивание) производственного оборудования;
- несоблюдение техпроцесса, связанного с производством.

Необходимо выделить также причину, связанную с человеческим фактором [4].

Анализ показывает, что при наличии трудного технологического процесса, при котором еще и отсутствует достаточный контроль со стороны задействованного персонала за установленными регламентом значениями и своевременным принятием против развития, а в случае развития, то немедленная ликвидации формажорных ситуаций, возможен вывод параметров за опасные значения, разгерметизация оборудования (как от частичной, так и до полной) и выброс вредных веществ[5].

Необходимо сказать и о причинах, связанных с ошибками при выполнении операций, представляющие переходные режимы, связанные с пуском и остановкой оборудования, при сливных и наливных, ремонтных и прочих работах, связанных с аномальными режимами, высвобождением и заполнением оборудования недопустимыми веществами[6].

Все явления и факторы, участвующие в возникновении пожара на НПЗ, можно выделить в следующие группы, характеризующие свойства

участвующих веществ; имеющимся оборудованием, участвующим в техпроцессе; условиями района, связанного с геологией и климатом, в котором находится объект.

Рассматривая свойства вредных и наиболее опасных веществ, приходим к выводу, что имеется ряд причин представляют опасность суммарного характера, являясь взрывными, пожароопасными и токсичными вредными веществами. Повреждение оборудования, участвующего в техпроцессе и транспортировочных элементах, может спровоцировать выброс токсичных веществ в воздух, который приведет к возникновению взрывопожароопасных смесей.

Факторы возникновения пожара в резервуарных парках НПЗ:

- если имеются в резервуарном парке НПЗ пожаровзрывоопасные жидкости, такие как: бензин и дизтопливо, то возникает опасность неконтролируемого выброса огромного количества вредных и опасных веществ при повреждении системы и, как правило, возникновения пожаров;

- если имеются большие объемы технологического оборудования, соединений, разветвлений транспортировочных сетей с большими запирающими и контролирующими арматурами, увеличивается возможность случайной разгерметизации агрегатов и механизмов парка.

Ниже представлены и проанализированы причины и места возникновения пожаров на ПАО «Саратовский НПЗ».

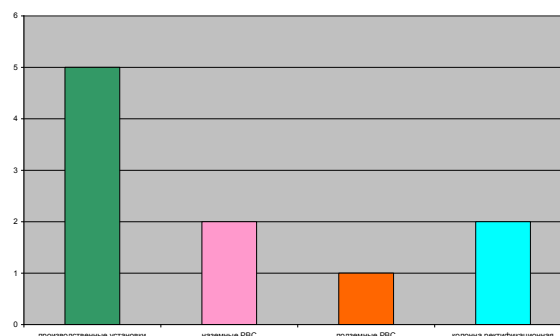


Рис. 3. Места возникновения пожаров

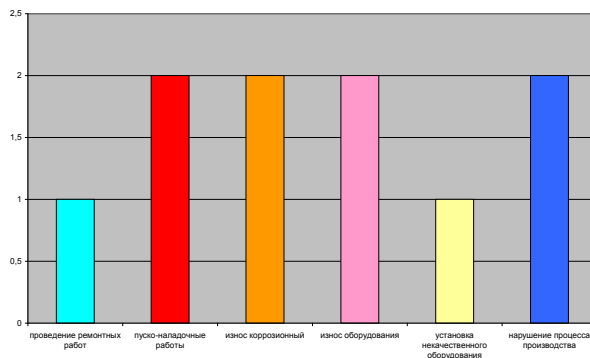


Рис. 4. Основные причины пожаров

Причинами частичного (полного) повреждения оборудования и выбросов токсичных, вредных и опасных веществ являются следующие:

- образование коррозии и механических сквозных повреждений;
- фактический физический износ;
- высокотемпературная деформация

оборудования, связанного с техпроцессом, и транспортировочных элементов;

- нарушение соединений (сварных, фланцевых и прочих);
- отказ уплотнений насосного оборудования и запорной арматуры.

#### Библиография

1. Котляровский В.А., Забегаев А.В. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 3. / Под редакцией В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. - М.; Изд-во АСВ, 1998 - 416 с.
2. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учебное пособие / Под ред. А.И.Попова. - Саратов: Саратов.гос.ун-т, 2000. - 124 с.
3. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: РД 03-418-01. - введ.01.10.2001. - М., 2001. - 25 с.
4. Прусенко Б.Е., Мартынюк В.Ф. Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе России: Учеб. пособие / Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф.Мартынюка. - М.: ООО "Анализ опасностей", 2002. - 309 с.
5. РИА новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/spravka/20130822/957868347.html> - Россия сегодня.
6. Энциклопедия безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://protivpozgara.ru/tipologija/teorija/pozhary-i-vzryvy-na-vzryvopozharoopasnyx-obektax> - Против пожара.

#### References

1. Kotlyarovskij V.A., Zabegaev A.V. Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidaciya posledstvij. Uchebnoe posobie. Kniga 3. / Pod redakcij V.A. Kotlyarevskogo i A.V. Zabegaeva. - M.; Izd-vo ASV, 1998 - 416 s.
2. Kozlitin A.M., Yakovlev B.N. CHrezvychajnye situacii tekhnogennogo haraktera. Prognozirovanie i ocenka. Determinirovannye metody kolichestvennoj ocenki opasnostej tekhnosfery: Uchebnoe posobie / Pod red. A.I.Popova. - Saratov: Sarat.gos.un-t, 2000. - 124 s.
3. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: RD 03-418-01. - vved.01.10.2001. - M., 2001. - 25 s.
4. Prusenko B.E., Martynyuk V.F. Analiz avarij i neschastnyh sluchaev v neftegazovom komplekse Rossii: Ucheb. posobie / Pod red. B.E. Prusenko, V.F.Martynyuka. - M.: ООО "Анализ опасностей", 2002. - 309 s.
5. RIA novosti [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ria.ru/spravka/20130822/957868347.html> - Rossiya segodnya.
6. EHnciklopediya bezopasnosti [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://protivpozgara.ru/tipologija/teorija/pozhary-i-vzryvy-na-vzryvopozharoopasnyx-obektax> - Protiv pozhara.

## THE FIRES AT OIL REFINERIES AND THE ANALYSIS OF THEIR CONSEQUENCES

*The analysis of places of distribution of the fires in oil refineries is given. The main reasons for the fires at oil refineries are analysed. The analysis of properties of the turned dangerous substances allows to draw a conclusion that a number from them constitute danger of the combined action, being fire and explosion hazardous and toxic dangerous substances, a number of substances belongs to flammable gases, a number of substances are combustible and to flammable liquids, some of them treat caustic substances. Depressurization of processing equipment and pipelines can lead to emission of dangerous substances in the environment with formation of clouds of fuel-air mixes with a possibility of the subsequent ignition and explosion or emergence of the fire of the poured flammable liquid.*

**Key words:** *fire, place of emergence and reason of the fires, analysis of properties of dangerous substances.*

**Мальцев Александр Владимирович,**  
*доцент, кандидат технических наук,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-920-460-30-92,  
e-mail: [fastmen@list.ru](mailto:fastmen@list.ru)*

**Maltcev A.V.,**  
*associate professor,  
Candidate of Technical Sciences  
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.*

**Кочегаров Алексей Викторович**  
*профессор, доктор технических наук, доцент  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-903-850-55-59,  
e-mail: [kochiegarov77@mail.ru](mailto:kochiegarov77@mail.ru),*

**Kochiegarov A.V.,**  
*Professor, doctor of technical sciences, docent  
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh*

**Зубков Дмитрий Вячеславович**  
*Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-964-849-87-66,  
e-mail: [zubkovdmit@yandex.ru](mailto:zubkovdmit@yandex.ru),*

**Zubkov D.V.,**  
*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСТРЕННЫХ ОПЕРАТИВНЫХ СЛУЖБ В РАМКАХ СИСТЕМЫ-112

*А.В. Мальцев, А.А. Шокаров, А.Р. Дзгоев*

*Подробно проанализирован процесс функционирования службы вызова экстренных оперативных служб по единому номеру 112 на территории Российской Федерации. Рассмотрены характерные опасности для территории РФ. Внесены предложения по выбору оптимальной схемы построения Системы-112. Приведен математический аппарат для моделирования процесса функционирования Системы-112 и определения численности экстренных оперативных служб для муниципального образования.*

**Ключевые слова:** экстренные аварийно-спасательные службы (ЭАСС), Система-112, время диспетчеризации.

Возникновение необходимости преобразования действующих технических решений с целью приспособления к новым функционально-эксплуатационным и информационно-телекоммуникационным показателям и требованиям за счет реструктуризации и дополнительного обучения дежурно-диспетчерских служб обусловлено процессом разработки системы взаимодействия экстренных оперативных служб (далее – ЭОС) при реагировании на происшествия и чрезвычайные ситуации. Для эффективного решения поставленных задач требуется комплексная или частичная (выборочная) реконструкция системы управления ЭОС. Приведение реконструируемой системы управления в соответствие с действующим нормативно-правовым стандартом в данном случае будет являться технико-экономическим обоснованием комплексной реконструкции системы управления ЭОС.

Перечень опасностей, характерных для субъектов Российской Федерации, включает пожары, химические и бактериологические заражения, а также информационные, социально-экономические (включая правонарушения, террористические акты) и многие другие. Обеспечение безопасности и устойчивого функционирования всех процессов и систем (противопожарные службы, поисково-спасательные отряды, службы скорой и неотложной медицинской помощи, службы общественной безопасности, аварийно-ремонтные службы и др.) решает Система-112.

Финансовое обеспечение этих служб ложится серьезным грузом на расходные части федеральных и субъектов бюджетов и доходит до десятков процентов бюджетов территориальных единиц за отчетные периоды. Актуальность же проблемы разработки каждой ЭОС (обоснование ее рациональных размеров, структуры и оснащенности), не имеющей удовлетворительных решений до недавнего времени, обусловлена

отсутствием определенного научного инструментария в администрациях субъектов Российской Федерации.

Этапами разработки подобного инструментария можно считать прежде всего детальное изучение, во-первых, процесса возникновения происшествий и чрезвычайных ситуаций разного рода, во-вторых, процесса реагирования на них заинтересованных служб. Проведение крупномасштабных исследований деятельности ЭОС в различных субъектах позволит разносторонне изучить этот вопрос. [1-4].

Все ЭОС службы функционируют, в сущности, по одной и той же схеме, в одном и том же режиме, оперативно реагируя на возникающие на территории субъекта (объекта) различные происшествия и чрезвычайные ситуации. Отсюда следует, что совокупность всех ЭОС образует специфический класс сложно устроенных социально-экономических систем, функционирование которых является однотипным сложным пространственно-временным случайным процессом. Чтобы спроектировать рациональные структуры ЭОС, необходимо знать реальный объем работы этих служб и их динамику, порядок распределения вызовов их подразделений по времени и по территории субъекта, закономерности использования различных технических средств при обслуживании вызовов, разнообразные временные характеристики процесса функционирования ЭОС (время следования подразделений к месту вызова, время работы на месте вызова, общее время занятости подразделений обслуживанием одного вызова) и др.

Потоки вызовов оперативных подразделений ЭАСС удовлетворительно описываются законом Пуассона (стационарным или нестационарным), т.е. в простейшем случае вероятность  $P_k(\tau)$  того, что за время  $\tau$  поступит ровно  $k$  вызовов подразделений той или иной ЭАСС, равна:



$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – среднее число вызовов в единицу времени.

Потоки выездов подразделений можно описать эмпирическим распределением:

$$P\{\chi = r\} = a_r \quad (2)$$

где  $\chi$  – случайная величина, означающая число выезжающих по вызову специальных автомобилей данного типа,  $a_r$  – эмпирическая вероятность того, что по вызову поедут  $r$  таких автомобилей.

Основные временные характеристики процесса функционирования ЭОС – время диспетчеризации, время следования к месту вызова, время боевой работы на месте вызова, время занятости подразделений (от момента выезда из депо до момента возвращения и включения в боевой расчет). Все эти (и другие) временные характеристики являются непрерывными случайными величинами и удовлетворительно описываются законом Эрланга того или иного порядка. Например, для времени занятости имеем:

$$P\{\tau_{зан} < \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau} \sum_{k=0}^r [(\mu\tau)^k / k!] \quad (3)$$

где  $P\{\tau_{зан} < \tau\}$  – вероятность того что время занятости  $\tau_{зан}$  меньше какого-то значения  $\tau$ ;  $r$  – порядок закона Эрланга;

$\mu = (r+1) / \tau_{ср.зан}$  – параметр закона Эрланга;

$\tau_{ср.зан}$  – среднее значение времени занятости подразделений.

Критические состояния в процессе функционирования любой ЭОС создаются тогда, когда подразделениям ЭОС одновременно приходится обслуживать сразу несколько вызовов. Поэтому необходимо уметь прогнозировать подобные ситуации.

Вероятность  $P_m$  того что в любой момент времени в городе подразделения данной ЭАСС одновременно будут обслуживать  $m$  вызовов, вычисляется так:

$$P_m = (\lambda\tau_{ср.зан})^m e^{-\lambda\tau_{ср.зан}} / m! \quad (4)$$

где  $\lambda$  – среднее число вызовов в единицу времени,  $\tau_{ср.зан}$  – средняя продолжительность обслуживания одного вызова (предполагается, что поток вызовов подчиняется закону Пуассона с параметром  $\lambda$ ).

Исходя из этой модели, можно найти суммарную продолжительность  $T_m$  одновременного обслуживания  $m$  вызовов за какое-то время  $T$ , частоту таких случаев и ряд других характеристик исследуемого процесса.

Наиболее важной для обоснования числа специальных автомобилей определенного типа той или иной ЭОС является математическая модель одновременной занятости этих автомобилей обслуживанием поступивших вызовов. Суть процесса функционирования ЭОС города представлена графическими моделями на рис. 1 и на рис. 2.

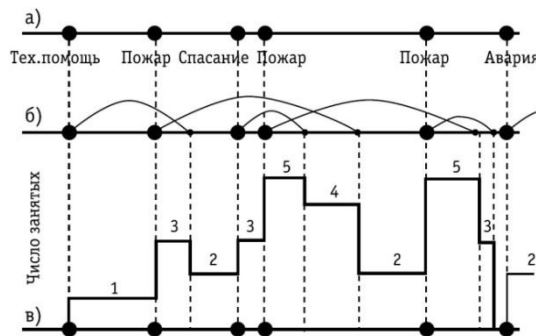


Рис. 1. Модели потока вызовов (а), времени обслуживания вызовов (б) и работы подразделений ЭАСС (в)

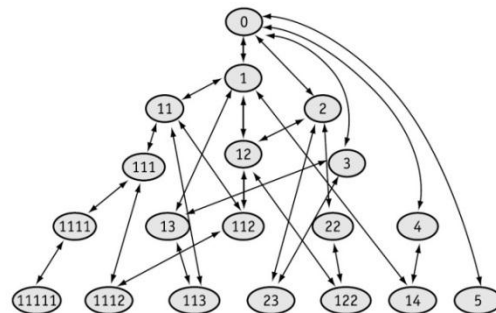


Рис.2. Состояние ЭАСС для пяти отделений

При этом на рис. 2 изображен график состояний только для пяти однотипных отделений некоторой ЭОС (без указания интенсивностей всех

возможных переходов). Из этой схемы видно насколько сложен процесс функционирования ЭОС даже для пяти отделений, а в любом крупном

городе их десятки.

В предположении, что выполнены все положения предыдущих пунктов, можно показать, что для этого процесса справедливы формулы:

$$P_0 = e^{-\lambda\tau_{\text{ср.зан}}} \quad (5)$$

$$P_j = \frac{\lambda\tau_{\text{ср.зан}}}{j} \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) a_{j-i} P_i \quad (6)$$

где  $P_j$  – вероятность того что в любой момент времени в городе одновременно заняты  $j$  специальных автомобилей (оперативных отделений) данного типа, а смысл всех других обозначений разъяснялся выше.

Тогда для того чтобы определить вероятность того, что в городе одновременно может быть использовано более  $N$  однотипных отделений данной ЭАСС, нужно использовать формулу:

$$P_{>N} = 1 - \sum_{j=0}^N P_j \quad (7)$$

Указанные подходы позволяют определить обоснованное нормирование подразделений любой ЭАСС в городах.

На основе результатов, полученных выше, можно приблизительно определить необходимое городу количество подразделений различных ЭОС. Понимание определения в последующем количества пунктов постоянной дислокации этих подразделений (подстанций скорой медицинской помощи, пожарных частей, стационарных пунктов ГИБДД и др.) Их количество должно, в первую очередь, обеспечить установленное время прибытия подразделений ЭОС к месту вызова.

Также необходимо учитывать параметры городской среды и параметры, влияющие на оперативную обстановку в городе относительно данной ЭОС, т.е. реальные условия ее функционирования в этом городе [4-6].

### Библиография

- 1 Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Коломиец Ю.И., Науменко А.П., Соколов С.В., Вагнер П. Автоматизированное проектирование и стратегическое управление системами обеспечения безопасности больших городов // Проблемы управления безопасностью сложных систем. - Москва: ИПУ РАН, 1999. - 245 с.
- 2 Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Коломиец Ю.И., Соколов С.В., Вагнер П. Автоматизированное проектирование систем обеспечения безопасности больших городов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, вып. 7. - Москва: ВИНТИ, 1997. - 44 с.
- 3 Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Вагнер П. Управление проектами систем жизнеобеспечения и безопасности больших городов // Материалы международной практической конференции. - М.: РАЕН, 1997.
- 4 Кочегаров А.В., Плаксицкий А.Б., Денисов М.С., Сайко Д.С., Математическая модель оптимизации прибытия пожарного подразделения с использованием информационных систем мониторинга транспортной логистики города Воронежа // Вестник ВГУИТ. - 2016. - №3 - С. 116-122. doi: 10.20914/2310-1202-2016-116-122.
- 5 Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Коломиец Ю.И., Соколов С.В., Вагнер П. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. - Москва: ФАЗИС, 2004. - XII. - 172 с.
- 6 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ.

### References

- 1 Alekhin E.M., Brushlinskij N.N., Kolomiec YU.I., Naumenko A.P., Sokolov S.V., Vagner P. Avtomatizirovannoe proektirovanie i strategicheskoe upravlenie sistemami obespecheniya bezopasnosti bol'shikh gorodov // Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem. - Moskva: IPU RAN, 1999. - 245 s.
- 2 Alekhin E.M., Brushlinskij N.N., Kolomiec YU.I., Sokolov S.V., Vagner P. Avtomatizirovannoe proektirovanie sistem obespecheniya bezopasnosti bol'shikh gorodov // Problemy bezopasnosti pri chrezvychajnykh situatsiyah, vyp. 7. - Moskva: VINITI, 1997. - 44 s.
- 3 Alekhin E.M., Brushlinskij N.N., Sokolov S.V., Vagner P. Upravlenie proektami sistem zhizneobespecheniya i bezopasnosti bol'shikh gorodov // Materialy mezhdunarodnoj prakticheskoy konferencii. - M.: RAEN, 1997.
- 4 Kochegarov A.V., Plaksickij A.B., Denisov M.S., Sajko D.S., Matematicheskaya model' optimizacii pribytiya pozhnogo podrazdeleniya s ispol'zovaniem informacionnykh sistem monitoringa transportnoj logistiki goroda Voronezha // Vestnik VGUIT. - 2016. - №3 - S. 116-122. doi: 10.20914/2310-1202-2016-116-122.
- 5 Alekhin E.M., Brushlinskij N.N., Kolomiec YU.I., Sokolov S.V., Vagner P. Bezopasnost' gorodov. Imitacionnoe modelirovanie gorodskih processov i sistem. - Moskva: FAZIS, 2004. - XII. - 172 s.
- 6 Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozhnogo bezopasnosti: Federal'nyj zakon ot 22.07.2008 №123-FZ.

## **MODELING OF THE PROCESS OF OPERATION OF EXTREME OPERATIONAL SERVICES IN THE SYSTEM-112 SYSTEM**

*The process of functioning of emergency services emergency call service by a single number 112 in the territory of the Russian Federation is analyzed in detail. The characteristic dangers for the territory of the Russian Federation are considered. Proposals have been made for the selection of the optimal scheme for the construction of Sistema-112. A mathematical apparatus for modeling the process of functioning of Sistema-112 and determining the number of emergency operational services for the municipality is given.*

**Key words:** *Emergency Rescue Services (EAS), Sistema-112, dispatch time.*

**Мальцев Александр Владимирович,**

*доцент, кандидат технических наук,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-920-460-30-92,  
e-mail: fastmen@list.ru,*

**Maltcev A.V.,**

*associate professor,  
Candidate of Technical Sciences,  
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.*

**Шокаров Алим Анатольевич**

*Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-962-747-65-75,  
e-mail: shokarov.a@mail.ru,*

**Shokarov A.A.,**

*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh,*

**Дзгоев Ахарбек Русланович**

*Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8-928-488-51-84,  
e-mail: dzgoviev.ahsar@mail.ru.*

**Dzгоеv A.R.,**

*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh.*

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПРОГРЕВА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГО ПОЖАРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ELCUT 6.2

*Д.Ю. Минкин, А.А. Кузьмин, Н.Н. Романов, Д.А. Минкин*

*В статье представлена методика расчета температурного режима пожара на объектах нефтегазового комплекса. Для автоматизации процесса вычислений разработан циклический алгоритм, учитывающий возможность моделирования различных условий газообмена в процессе горения нефтепродуктов, параметров теплообмена между продуктами горения и ограждающими конструкциями. Программная реализация осуществляется в виде макроса Visual Basic for Applications среды Microsoft Office Excel и программного комплекса ELCUT 6.2. Достоверность результатов расчета температурных полей и оценки огнестойкости несущих конструкций в условиях внутреннего пожара проверена путем сопоставления с результатами огневых испытаний.*

**Ключевые слова:** *нефтегазовый комплекс; несущие конструкции; огнестойкость; температурный режим; пожарная нагрузка; ограждающая конструкция; конвективный коэффициент теплоотдачи.*

Предприятия нефтегазового комплекса составляют один из наиболее важных экспортно-ориентированных и бюджетно-образующих секторов экономики России. В его состав входят предприятия по добыче, транспортировке, хранению, переработке и сбыту нефти, природного и попутного газов, а также продуктов их переработки. Разумеется, безопасное функционирование такого сложного конгломерата предприятий предполагает разработку специального комплекса мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на этапах строительства, расширения, реконструкции и их технического перевооружения.

Специфика работы предприятий нефтегазового комплекса предполагает наличие на производственных площадках различных пожаровзрывоопасных конечных продуктов, а также поступающего сырья, что предполагает наличие потенциальной опасности развития серьезных техногенных аварий и даже катастроф, которые в силу специфики технологических процессов могут сопровождаться пожарами и взрывами, что подтверждается статистикой подобных аварий, приведенной в [1]. Поэтому повышение пожаровзрывобезопасности технологических процессов на объектах нефтегазового комплекса, а также локализация последствий пожаров на зданиях и сооружениях таких объектов становится важнейшим условием защищенности персонала предприятий от техногенных и экологических угроз.

В процессе проектирования зданий и сооружений объектов нефтегазового комплекса используются следующие виды строительных конструкций:

– колонны и балки, выполненные из конструкционной стали;

– стены и перегородки, выполненные из кирпичей различных сортов и природного камня;

– перекрытия, колонны и стены, выполненные из монолитного и армированного железобетона.

Действующие в нашей стране нормативные документы, например, ГОСТ 30247.1-94, предполагают, что предел огнестойкости таких конструкций должен быть не менее 0,75 часа, однако в случае использования незащищенных стальных конструкций уже через 15...20 мин от начала пожара они могут прогреться до температур, превышающих 400÷500 °С, что ведет к потере их несущей способности с последующим разрушением сооружения. Этого можно избежать, по крайней мере, на начальном этапе пожара, если применить один из способов огнезащиты: например, обетонирование колонны, монтаж огнезащитной облицовки стены, нанесение огнезащитного покрытия на металлическую конструкцию [2, 3]. В свою очередь огнестойкость балок и плит определяется видом рабочей арматуры и толщиной защитного слоя бетона, а огнестойкость монолитных железобетонных стен и перегородок - их толщиной, видом и сортом используемого бетона [4].

Таким образом, одной из необходимых задач, решаемых в ходе проектирования зданий и сооружений объектов нефтегазового комплекса, является оценка огнестойкости строительных конструкций в условиях развития пожара на основе учета различных теплофизических свойств применяемых материалов и геометрических размеров конструкций, а также особенностей сферы их эксплуатации.

В настоящий момент существует несколько программных комплексов, например Ansys, Comsol и др., которые предполагают поддержку численных

методов при расчете параметров температурного режима конструкций промышленных объектов, в том числе в условиях развития пожара [5, 6]. Подобные программные комплексы позволяют моделировать мультифизические процессы с одновременным расчетом параметров процесса горения, при этом результаты решения тепловой и гидродинамической задачи позволяют оценить мощность тепловыделения, скорость перемещения продуктов горения и распределение температуры в пространстве, интенсивность лучистой составляющей процесса теплообмена, и, самое главное, решить нелинейную задачу теплопроводности при прогреве несущих конструкций и т.д. [7 - 9] Однако полное использование существующего потенциала таких программных комплексов требует от пользователя серьезной подготовки по вопросам теории тепло-, массообмена, гидрогазодинамики, численного моделирования, химии горения, что предполагает его узкую специализацию и тем самым ограничивает круг пользователей из числа практических работников Федеральной противопожарной службы (ФПС).

#### **Цели и задачи**

Целью настоящей работы является разработка упрощенной методики проведения инженерных расчетов температурных полей и оценки огнестойкости несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать структуру и провести программную реализацию алгоритма расчета температурного режима внутреннего пожара на объектах нефтегазового комплекса, который бы учитывал условия процесса горения нефтепродуктов и характеристики процесса теплообмена между продуктами горения и ограждающими конструкциями;

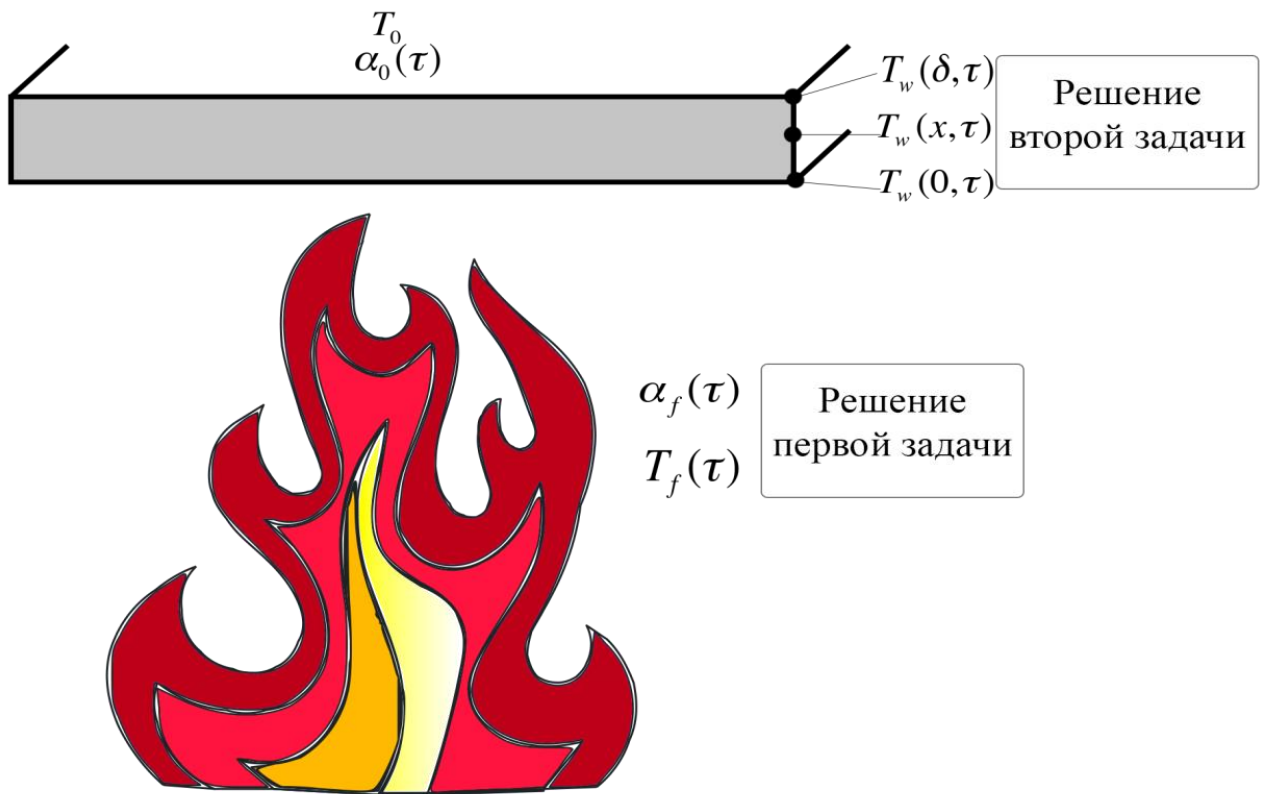
- обеспечить возможность передачи результатов расчета среднеобъемных температур в качестве исходных параметров работы программного комплекса для расчета тепловых полей при прогреве несущих конструкций;

- разработать алгоритм расчета тепловых полей при прогреве несущих конструкций любой конфигурации и выбрать из множества предлагаемых продуктов программный комплекс, наиболее соответствующий поставленной задаче по оценке огнестойкости несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса с позиций надежности полученных решений и доступности его использования.

#### **Методика расчета**

Для оценки огнестойкости несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара в зависимости от их геометрических размеров, используемых конструкционных материалов и защитных слоев, температур воздействия необходимо разработать методику расчета, на основе которой можно определить параметры элементов конструкции, которые позволят обеспечить требуемые тепловые характеристики.

В результате пожара в помещении выделяется тепловой поток, который расходуется на нагрев продуктов горения и внутреннего объема помещения и передается на обогреваемые поверхности несущих элементов ограждающих конструкций. Перенос теплоты при этом происходит за счет теплового излучения и конвекции, в результате чего поверхности нагреваются. Далее тепловой поток проходит через ограждающую конструкцию за счет теплопроводности и рассеивается с необогреваемой поверхности в окружающую среду за счет конвекции и излучения, как показано на тепловой модели, представленной на рис. 1.



**Рис.1.** Тепловая модель для расчета температурного режима при пожаре в помещении

Таким образом, расчет конструкций на огнестойкость по теплоизолирующей способности сводится к решению двух совместных теплофизических задач:

– расчет среднеобъемных температур при пожаре в помещении и формирование граничных условий на поверхностях несущей конструкции;

– расчет распределения температуры по толщине несущей конструкции в зависимости от времени воздействия пожара.

Для решения этих задач разработан алгоритм расчета температурного режима при пожаре на объектах нефтегазового комплекса, представленный на рис.2.

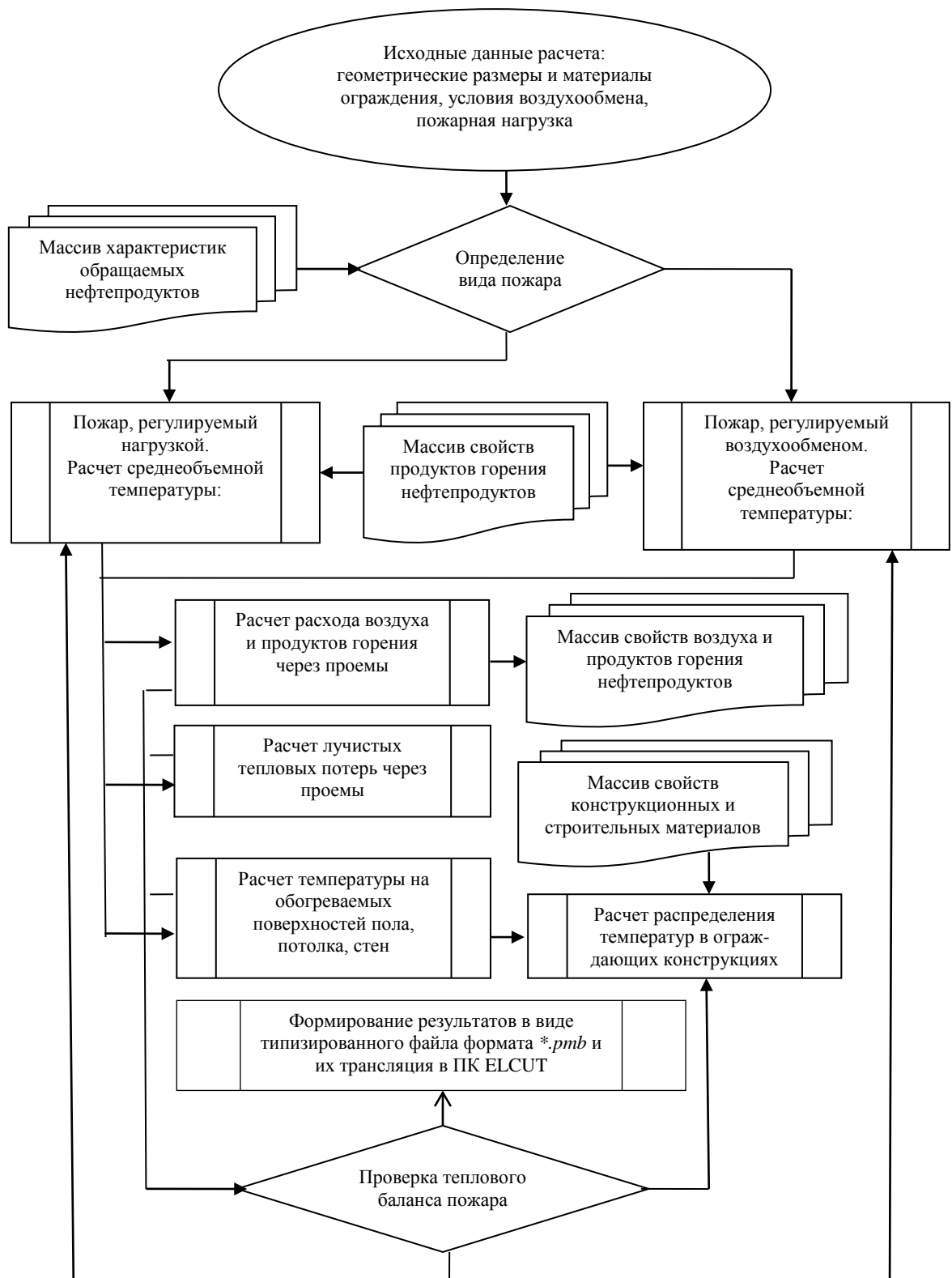


Рис.2. Алгоритм расчета температурного режима при пожаре на объектах нефтегазового комплекса

На основании представленного алгоритма был создан специальный модульный программный продукт, работающий в среде Microsoft Office Excel с применением Visual Basic for Applications.

При решении первой задачи использовались рекомендации [10], полученные на основе физических и численных экспериментов, для случая неизменности площади пожара и если в качестве пожарной нагрузки выступают горючие

вещества в жидкой фазе. Основное допущение, позволившее составить уравнение теплового баланса внутреннего пожара на объектах нефтегазового комплекса и найти его решение, заключается в том, что нестационарный процесс тепловыделения и теплообмена, происходящий на пожаре, представлен как квазистационарный (предполагается, что в небольшие промежутки времени площадь пожара, массовая скорость выгорания и условия газообмена остаются постоянными).

В зависимости от размеров объекта, характеристик режима воздухообмена, количества и вида пожарной нагрузки можно выделить два вида объемного пожара: пожар, регулируемый нагрузкой, и пожар, регулируемый условиями воздухообмена, при этом порядок расчета температурного режима объемного пожара, регулируемого нагрузкой, аналогичен расчету пожара, регулируемого условиями воздухообмена, кроме определения величины тепловыделения.

Уравнение теплового баланса внутреннего пожара, используемое для расчета температурного режима, имеет вид [10]:

$$Q_{II} = Q_{\kappa} + Q_{\lambda} + Q_{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $Q_{II}$  – тепловой поток, выделяемый при пожаре в помещении, Вт;  $Q_{\kappa}$  – тепловой поток, передаваемый из зоны горения конвекцией на обогреваемые поверхности ограждающих конструкций, Вт;  $Q_{\lambda}$  – лучистые тепловые потери через оконные и дверные проемы в ограждающей поверхности помещения, Вт;  $Q_{\varepsilon}$  – тепловой поток, идущий на нагревание продуктов горения, Вт.

Величину теплового потока, выделяемого при пожаре в помещении, можно найти из соотношения:

$$Q_{II} = \eta M Q_H^P F, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания, для нефтепродуктов  $\eta=0,9$ ;  $M$  – массовая скорость выгорания жидкости, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $Q_H^P$  – низшая теплота сгорания жидкости, Дж/кг;

Тепловой поток, передаваемый из зоны горения конвекцией, вычисляется по формуле:

$$Q_{\kappa} = \alpha_f [T_f(\tau) - T_i(0, \tau)] F, \quad (3)$$

где  $\alpha_f$  – коэффициент конвективной теплоотдачи между продуктами горения углеводородов и  $i$ -той ограждающей конструкцией, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $F$  – площадь ограждающей конструкцией, м<sup>2</sup>;  $T_f(\tau)$  – температура продуктов горения в момент времени  $\tau$ , К;  $T_i(0, \tau)$  – температура на  $i$ -ой обогреваемой поверхности конструкции, К;

Лучистые тепловые потери через оконные и дверные проемы в ограждающей поверхности помещения вычисляются из соотношения:

$$Q_{\lambda} = C_0 \varepsilon_{np} \left[ \left( \frac{T_f(\tau)}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right] F, \quad (4)$$

где  $T_0$  – температура воздуха, К;  $\varepsilon_{np} = 1 / [1 + 0,0022(T_f(\tau) - 273)]$  – приведенная степень черноты между излучающей поверхностью факела и теплопоглощающей поверхностью соседних ограждающих конструкций;  $C_0 = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Тепловой поток, идущий на нагревание продуктов горения, находится из соотношения:

$$Q_{\varepsilon} = \eta M V_{\varepsilon} c_p (T_f(\tau) - T_0) F, \quad (5)$$

где  $V_{\varepsilon} = V_{\varepsilon}^o + V_0(\gamma_m - 1)$  – приведенный действительный объем продуктов горения, образующихся при сгорании 1 кг жидкости,  $V_{\varepsilon}^o$  – объем продуктов горения, образующихся при сгорании 1 кг горючей жидкости и теоретически необходимом количестве воздуха, м<sup>3</sup>/кг,  $V_0$  – количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг горючей жидкости, м<sup>3</sup>/кг;

$\gamma_m = \frac{V_{\varepsilon}}{V_0}$  – коэффициент избытка воздуха;  $c_p$  – объемная теплоемкость продуктов горения при постоянном давлении, Дж/(м<sup>3</sup>·К), равная:

$$c_p = 1250 + [0,12 + 0,1/(0,25 + \gamma_m)] T_f(\tau). \quad (6)$$

В итоге формула для определения искомой среднеобъемной температуры принимает вид:

$$T_f(\tau) = 0,66 T_a (\eta M c_p V_{\varepsilon} / c_0 10^{-8} \varepsilon_{np} T_a^3)^{0,17}, \quad (7)$$

где  $T_a$  – температура продуктов горения, К, вычисляемая по формуле:

$$T_a = (\eta Q_H^P / c_p V_{\varepsilon}) + 273 \quad (8)$$

Для расчета среднеобъемной температуры в помещении при пожаре необходимо знать приведенную степень черноты  $\varepsilon_{np}$  и объемную теплоемкость  $c_p$ , а значения этих физических величин, как видно, являются функцией искомой температуры. Такие задачи решаются методом последовательных приближений. Решение данной задачи по определению температурного режима в помещении было реализовано в виде макроса Visual Basic for Applications среды Microsoft Office Excel, что позволило выстроить интерфейс, дружественный широкому кругу пользователей из числа практических работников ФПС [11].

Полученный массив среднеобъемных температур продуктов горения документируется в форме типизированного файла формата \*.pmb, который может быть считан соответствующим программным комплексом для дальнейшего расчета температурного поля в теле несущей конструкции.

Для расчета распределения температуры в несущей конструкции необходимо решение нестационарной задачи теплопроводности.

При решении нелинейных задач дифференциальное уравнение теплопроводности может быть представлено в одном из видов [12, 13]:

– в плоском случае:



$$c(T_w)\rho \frac{\partial T_w}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial z} \right); \quad (9)$$

– в осесимметричном случае:

$$c(T_w)\rho \frac{\partial T_w}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda(T_w) r \frac{\partial T_w}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial z} \right). \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10)  $T_w$  – температура в теле несущей конструкции, К;  $\tau$  – время, с;  $\lambda(T_w)$  – коэффициент теплопроводности материала конструкции, как функция температуры, Вт/(м·К);  $c(T_w)$  – теплоемкость материала конструкции, как функция температуры, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, нахождение распределения температуры в ограждающей конструкции проводится с учетом меняющихся теплофизических свойств материалов от температуры и при нестационарном тепловом потоке. Для решения соответствующего дифференциального уравнения необходимо задать начальные и граничные условия (краевые условия), характеризующие каждую конкретную задачу. Например, в случае одностороннего равномерного прогрева плиты толщиной  $\delta$  краевые условия имеют вид:

– начальное условие:

$$T_w(x,0) = T_0; \quad (11)$$

– граничные условия на обогреваемой и необогреваемой поверхностях, соответственно:

$$-\lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_f(\tau) [T_f(\tau) - T_w(0, \tau)]; \quad (12)$$

$$-\lambda(T_w) \frac{\partial T_w}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_0(\tau) [T_w(\delta, \tau) - T_0], \quad (13)$$

где  $T_w(\delta, \tau)$  – температура на необогреваемой поверхности конструкции, К;  $\alpha_f(\tau)$  и  $\alpha_0(\tau)$  – коэффициенты теплоотдачи, соответственно со стороны продуктов горения и воздуха, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В условиях пожара, когда греющей средой являются продукты горения, суммарный коэффициент теплоотдачи  $\alpha_f(\tau)$  приближенно вычисляют по формуле:

$$\alpha_f(\tau) = 11,63 e^{0,0023T_f(\tau)} \quad (14)$$

Коэффициент теплоотдачи между необогреваемой поверхностью и воздухом определяется по уравнениям конвективного теплообмена при естественной конвекции в большом объеме. Расчетное соотношение для данного случая имеет вид:

$$\alpha_0(\tau) = C(G_r \cdot P_r)_m^n \frac{\lambda_0}{L}, \quad (15)$$

где  $Gr = \frac{g\beta L^3 (T_w(\delta, \tau) - T_0)}{\nu^2}$

критерий Грасгофа;  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;  $\beta = 1/[0,5(T_w(\delta, \tau) + T_0)]$  – коэффициент объемного расширения воздуха 1/К;  $L$  – определяющий размер поверхности теплообмена, м;  $a$  – коэффициент температуропроводности воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,

м<sup>2</sup>/с;  $Pr = \frac{\nu}{a}$  – критерий Прандтля;  $\lambda_0$  –

коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);  $C$  и  $n$  – опытные коэффициенты, значения которых приведены в [11].

В качестве программного продукта для решения второй задачи был выбран программный комплекс ELCUT 6.2, который позволяет применить метод конечных элементов. Этот выбор был обусловлен следующими обстоятельствами:

– доступностью программного комплекса (версия ELCUT 6.2 в сети Internet открыта для свободного пользования);

– возможностью импорта модели из внешних устройств (из САПРа – непосредственно, из других устройств – приведением к формату \*.pmb);

– уже существующей значительной библиотекой проанализированных моделей тепловых процессов;

– возможностью представления результатов проведенных расчетов процессов прогрева несущих конструкций в виде пространственно-масштабируемого отображения тепловых полей с цветовой градацией температур;

– наличием опций работы как с одномерными, двумерными, так и с трехмерными задачами в линейной и нелинейной постановках, а также переменными граничными условиями, что существенно расширяет номенклатуру анализируемых конструктивных решений в ходе проектирования объектов нефтегазового комплекса.

### Результаты

Правомерность использования разработанной методики расчетов температурных

полей и оценки огнестойкости несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара была проверена путем сопоставления результатов огневых испытаний железобетонных плит различной толщины и плотности при стандартном тепловом воздействии с результатами численных экспериментов, реализующих данную методику.

Расчет прогрева конструкций производился при воздействии стандартного температурного режима по ГОСТ 30247.0-94 по зависимости:

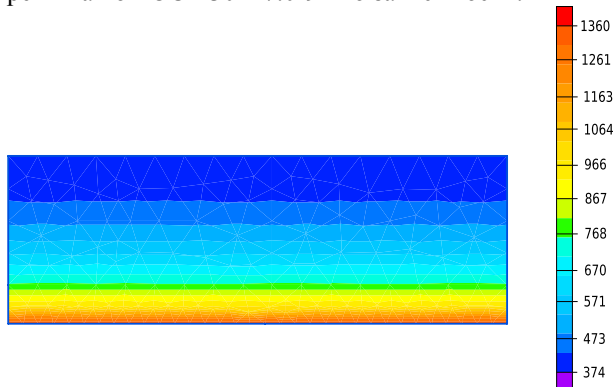


Рис.3. Распределение температуры в железобетонной плите с защитным слоем 35 мм через 150 минут

$$t_f = 345Lg(8\tau + 1) + t_0 \quad (16)$$

Для условий стандартного пожара с помощью Elcut 6.2 проведены численные расчеты распределения температуры в двух конструкциях: в железобетонной плите с защитным слоем бетона в 35 мм и для стеновой конструкции из бетонного камня ПК-160 толщиной 160 мм. В качестве примера на рис.3 приведены результаты расчета для железобетонной плиты с защитным слоем бетона в 35 мм для момента времени 150 минут.

В качестве экспериментальных данных взяты результаты из протокола огневых испытаний № 1447-13 от 11.09.13г., проведенных Независимым испытательным центром пожарной безопасности (НИЦ ПБ), функционирующем в составе Санкт-Петербургского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной безопасности (СПбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России) и протокола испытаний №507/ИЦ-14 от 16.05.14 Испытательным центром «ОПЫТНОЕ» МООУ РСЦ «ОПЫТНОЕ».

Результаты огневых испытаний и численных экспериментов, реализующих разработанную методику, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Сравнение результатов огневых испытаний ИЦ «ОПЫТНОЕ» (изменение температуры в железобетонной плите с защитным слоем бетона в 35 мм) с численным экспериментом**

Время, мин.	Средняя измеренная температура арматуры образца, °С	Результаты численного эксперимента, °С
0	16	16
10	34,2	25
20	98,5	60
30	112,8	100
40	149,9	139
50	194,3	200
60	238,7	250
70	283,0	292
80	316,4	327
90	345,8	357
100	372,1	383
110	397,8	407
120	421,2	428
130	445,4	447
140	471,1	464
150	493,9	481

**Сравнение результатов огневых испытаний «НИЦ ПБ» (изменение температуры необогреваемой поверхности стеновой конструкции из бетонного камня ПК-160 толщиной 160 мм) с численным экспериментом**

Время, мин.	Средняя измеренная температура необогреваемой поверхности образца, °С	Результаты численного эксперимента, °С
0	21	21
10	21	21
20	22	21
30	24	26
40	34	35
50	51	46
60	61	57
70	67	67
80	72	76
90	76	83
100	81	90
110	86	95
120	92	100
130	96	104
140	101	107
150	114	109

Анализируя представленные в таблице 1 результаты, следует отметить, что наибольшие расхождения экспериментально измеренных и расчетных значений температуры наблюдаются на начальном этапе (до 40 минут) процесса нагрева конструкции и составляют 30%. Начиная с сороковой минуты расхождения не превышают 10-15%. Сравнение результатов, представленных в таблице 2, показало, что расхождение значений не превышает 10-15 % на всем процессе нагрева.

Таким образом, сопоставление результатов вычислительного эксперимента и огневых испытаний подтверждает адекватность предложенной методики расчетов температурных полей и оценки огнестойкости несущих конструкций.

#### **Заключение**

В ходе работы разработана структура и проведена программная реализация алгоритма расчета температурного режима внутреннего пожара в виде макроса Visual Basic for Applications на основе использования среды Microsoft Office Excel, что позволило выстроить интерфейс, дружественный широкому кругу пользователей. При этом представленный алгоритм учитывает возможность различных условий газообмена в процессе горения нефтепродуктов и характеристики процесса теплообмена между продуктами горения и ограждающими конструкциями.

Реализована возможность передачи результатов расчета среднеобъемных и локальных

температур в качестве исходных параметров работы программного комплекса ELCUT 6.2 для расчета тепловых полей при прогреве несущих конструкций, для чего массив температур продуктов горения документируется в форме типизированного файла формата \*.pmb.

Разработан алгоритм расчета тепловых полей при прогреве несущих конструкций любой конфигурации применительно к особенностям применения программного комплекса ELCUT 6.2, который наиболее соответствует поставленной задаче по оценке огнестойкости несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса с позиций надежности полученных решений и доступности его применения.

Сравнение результатов его использования с данными, приведенными в отчетах об испытаниях Испытательного центра «ОПЫТНОЕ» и «НИЦ ПБ», показали удовлетворительную сходимость.

Реализованная концепция использования интерфейса электронной таблицы EXCEL в процессе ввода параметров объекта расширяет возможности использования практически всеми работниками ФПС предлагаемого программного продукта при прогнозировании поведения несущих конструкций в условиях пожара на объектах нефтегазового комплекса, для подбора материала и вида конструкций, выбора огнезащитных покрытий и толщины защитного слоя.

**Библиография**

1. Информация об авариях, произошедших на предприятиях, подконтрольных территориальным органам Федеральной службы по экологическому, технологическому, атомному надзору. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.rostehnadzor.ru/chronicle.html>.
2. Страхов В.Л. Огнезащита строительных конструкций / В.Л. Страхов, А.М. Крутов, Н.Ф. Давыдкин; под ред. Ю.А. Кошмарова. — М.: Информационно-издательский центр "ТИМР", 2000. — 433 с.
3. Roitman V.M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich. ETH. 1995.—P. 135-136
4. Еналеев Р.Ш. Огнестойкость элементов конструкций при пожарах на предприятиях нефтегазового комплекса / Р.Ш. Еналеев, Э.Ш. Теляков, О.А. Тучкова, Л.Э. Осипова // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. — 2010. — № 11-12. — С. 23 – 34.
5. Зайцев А.М., Бологов В.А. Численное моделирование прогрева строительных конструкций для определения коэффициента теплоотдачи при пожарах. Вестник воронежского института ГПС МЧС России. №1 2015 с. 19-26.
6. Abdrakhimov V., Abdrakhimova E., Semenychev V. Study of heat and mass transfer during firing of heat insulation objects based on burnt rocks and beidellite clay. Refractories and Industrial Ceramics, Vol. 52, No. 2. (1 July 2011), Pp. 133-135, doi:10.1007/s11148-011-9381-2
7. Sakai S., & Miyagi, N. (2014). Numerical study of fire whirlwind taking into account radiative heat transfer. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (1 ed., Vol. 10). Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/10/1/012031
8. Andrej Horvat, Yehuda Sinai & Piotr Tofilo (2009) Semi-Analytical Treatment of Wall Heat Transfer Coupled to a Numerical Simulation Model of Fire, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 55:6, 517-533, DOI: 10.1080/10407780902821128
9. Novozhilov V. Non-Linear Dynamical Model of Compartment Fire Flashover / V. Novozhilov // Journal of Engineering Mathematics. — 2010. — Vol. 67, No 4. — P. 387–400.
10. Молчадский И.С. Пожар в помещении. — М.: ВНИИПО, 2005. — 456 с.
11. Kuzmina T.A. Application of informative technologies and calculative methods in the forensic normative expertise and in professional education of forensic experts // S.F. Kondratyev, N.V. Petrova, A.A. Voroncova, T.A. Kuzmina / 4th International Scientific Conference on Safety Engineering and 14th International Conference on Fire and Explosion Protection. Republic of Serbia, Novi Sad: 2014. С. 110-118 (0,6/0,25 p.l.)
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. A heat transfer textbook. — 3rd ed. — Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2008.
13. Пашковский П.С. Математическая модель тепломассообменных процессов при пожаре в здании / П.С. Пашковский, И.Н. Зинченко, А.М. Богомаз // Научный вестник НИИГД «Респиратор» Вып. 52, Донецк, 2015 — С. 51-59.

**References**

1. Informaciya ob avariayah, proizoshedshih na predpriyatiyah, podkontrol'nyh territorial'nyh organam Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu, atomnomu nadzoru. [EHlektronnyj resurs]: Rezhim dostupa: <http://www.rostehnadzor.ru/chronicle.html>.
2. Strahov V.L. Ogneshchita stroitel'nyh konstrukcij / V.L. Strahov, A.M. Krutov, N.F. Davydkin; pod red. YU.A. Koshmarova. — M.: Informacionno-izdatel'skij centr "TIMR", 2000. — 433 s.
3. Roitman V.M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich. ETH. 1995.—P. 135-136
4. Enaleev R.SH. Ognestojkost' ehlementov konstrukcij pri pozharah na predpriyatiyah neftegazovogo kompleksa / R.SH. Enaleev, EH.SH. Telyakov, O.A. Tuchkova, L.EH. Osipova // Izvestiya VUZov. Problemy ehnergetiki. — 2010. — № 11-12. — S. 23 – 34.
5. Zajcev A.M., Bologov V.A. CHislennoe modelirovanie progreva stroitel'nyh konstrukcij dlya opredeleniya koehfficienta teplootdachi pri pozharah. Vestnik voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. №1 2015 s. 19-26.
6. Abdrakhimov V., Abdrakhimova E., Semenychev V. Study of heat and mass transfer during firing of heat insulation objects based on burnt rocks and beidellite clay. Refractories and Industrial Ceramics, Vol. 52, No. 2. (1 July 2011), Pp. 133-135, doi:10.1007/s11148-011-9381-2
7. Sakai S., & Miyagi, N. (2014). Numerical study of fire whirlwind taking into account radiative heat transfer. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (1 ed., Vol. 10). Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/10/1/012031
8. Andrej Horvat, Yehuda Sinai & Piotr Tofilo (2009) Semi-Analytical Treatment of Wall Heat Transfer Coupled to a Numerical Simulation Model of Fire, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 55:6, 517-533, DOI: 10.1080/10407780902821128
9. Novozhilov V. Non-Linear Dynamical Model of Compartment Fire Flashover / V. Novozhilov // Journal of Engineering Mathematics. — 2010. — Vol. 67, No 4. — P. 387–400.
10. Molchadskij I.S. Pozhar v pomeshchenii. — M.: VNIPO, 2005. — 456 s.
11. Kuzmina T.A. Application of informative technologies and calculative methods in the forensic normative expertise and in professional education of forensic experts // S.F. Kondratyev, N.V. Petrova, A.A. Voroncova, T.A. Kuzmina / 4th International Scientific Conference on Safety Engineering and 14th International Conference on Fire and Explosion Protection. Republic of Serbia, Novi Sad: 2014. S. 110-118 (0,6/0,25 p.l.)
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. A heat transfer textbook. — 3rd ed. — Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2008.
13. Pashkovskij P.S. Matematicheskaya model' teplomassoobmennyyh processov pri pozhare v zdanii / P.S. Pashkovskij, I.N. Zinchenko, A.M. Bogomaz // Nauchnyj vestnik NIIGD «Respirator» Вып. 52, Doneck, 2015 — S. 51-59.

## **HEATING MODES CALCULATION OF THE CARRYING CONSTRUCTIONS OIL AND GAS COMPLEX OBJECTS IN CONDITIONS OF INTERNAL FIRE WITH USING THE ELCUT 6.2 SOFTWARE COMPLEX**

*Calculation procedure of fire thermal regime for the objects of oil and gas complex is suggested in article. For automation of calculations cyclical algorithm is developed. Program implementation is realized with help of Visual Basic macros for Applications Microsoft Office Excel and Elcut 6.2 software. The validity of temperature field calculations and fire resistance estimation of load-bearing structures in conditions of internal fire is checked by comparison with flame test results.*

**Keywords:** *oil and gas complex, bearing structures, fire resistance, temperature regime, fire load, enclosing structure, convective heat transfer coefficient.*

**Минкин Денис Юрьевич,**

*д-р техн. наук, профессор,*

*директор Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

**Minkin D.Y.,**

*Dr. Tech. Sciences, Professor,*

*director of the Petersburg Institute of Nuclear Physics. B.P. Konstantinova National Research Center «Kurchatov Institute»,*

*Russia, Saint-Petersburg*

**Кузьмин Анатолий Алексеевич,**

*канд. пед. наук, доцент,*

*доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

**Kuzmin A.A.,**

*Cand. ped. Sci., Associate Professor,*

*the senior lecturer of faculty of physical and technical bases of maintenance of fire safety, Saint Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Saint-Petersburg.*

**Романов Николай Николаевич,**

*канд. техн. наук, доцент,*

*доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

**Romanov N.N.,**

*Cand. tech. Sci., Associate Professor,*

*the senior lecturer of faculty of physical and technical bases of maintenance of fire safety, Saint Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, Saint-Petersburg*

**Минкин Дмитрий Алексеевич,**

*канд. техн. наук, доцент,*

*доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

*e-mail: mindim-spb@mail.ru,*

*+7 911 296 34 49*

**Minkin D.A.,**

*Cand. tech. Sci., Associate Professor,*

*the senior lecturer of faculty of physical and technical bases of maintenance of fire safety, Saint Petersburg University of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*Russia, St. Petersburg.*

## АДАПТАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО ВРЕМЯПРОЛЁТНОГО СПЕКТРОМЕТРА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*С.В. Ширококов, Е.В. Русских, Л.Г. Макарова, А.В. Кулагин, Т.В. Булдакова*

*В данной статье приводится описание метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Описан способ адаптации рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра авторской конструкции к решению задач пожарной безопасности. Приведено краткое описание основных узлов времяпролетного спектрометра, включающих рентгеновскую трубку, времяпролетный энергоанализатор, технологическую приставку чистки образца в условиях вакуума и принципов их работы. Применение принципа агрегатирования элементов спектрометра позволяет улучшить характеристики прибора и упрощает адаптацию метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии к решению задач в области пожарно-технической экспертизы.*

**Ключевые слова:** *рентгеновский спектрометр, рентгеновская трубка, фотоэлектронный спектр, вакуумная система, короткое замыкание, пожарно-техническая экспертиза, времяпролетный энергоанализатор.*

При расследовании причин пожаров назначение пожарно-технической экспертизы относится к числу первоначальных следственных действий, поскольку ее производство нередко связано с экспертным осмотром места пожара и необходимостью быстрого исследования некоторых объектов. Указанная экспертиза требуется в подавляющем большинстве случаев, особенно когда причина пожара неизвестна. Эксперты в своей работе используют различные химические и физические методы. Среди методов, нашедших широкое применение в различных областях, - метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Метод основан на физическом явлении - внешнем фотоэффекте, суть которого состоит в том, что под действием излучения из вещества выбиваются фотоэлектроны, имеющие определенную кинетическую энергию  $E_{кин}$ , величина которой зависит от энергии квантов возбуждающего излучения  $h\nu$  [1,2,3].

Способы исследования твердых продуктов горения.

Одной из возможных причин возникновения пожаров является короткое замыкание (КЗ) узлов электрической цепи, которое приводит к возгоранию находящейся в непосредственной близости от точки возникновения короткого замыкания контактной группы вследствие существенного локального перегрева проводника электрического тока и (или) возникновения электрической дуги.

Если электрическая дуга возникает до пожара или на начальной его стадии, то в условиях содержания в окружающей атмосфере кислорода, близкого к нормальному (первичное КЗ), в зоне оплавления медного проводника образуется преимущественно диоксид меди ( $Cu_2O$ ). На стадии же развившегося пожара, при относительном недостатке кислорода и в присутствии в атмосфере

окислов углерода (вторичное КЗ), в значительном количестве образуется оксид меди ( $CuO$ ). В случае алюминиевой проводки известно, что при вторичном КЗ расплавленный дугой алюминий активно взаимодействует с окислами углерода, в результате чего содержание углерода в зоне оплавления алюминия в 2-5 раз больше при первичном КЗ. Существует критерий оценки первичности-вторичности КЗ на медных проводниках - величина соотношения концентрации меди и оксида меди в двух зонах - непосредственно рядом с оплавлением и на определенном расстоянии от него [4].

В испытательных пожарных лабораториях для рентгеноструктурного анализа используются в основном рентгеновские дифрактометры. Анализу подвергаются два участка изъятого на пожаре провода: непосредственно рядом с оплавлением (участок 1) и на расстоянии 30-35 мм от него (участок 2).

В обоих случаях определяется площадь дифракционных максимумов соответствующих фаз  $J_{Cu}$  и  $J_{Cu_2O}$ . Затем рассчитывается их соотношение на участке 1 и участке 2.

$$\frac{J_{Cu_2O}}{J_{CuO}} > 2 \frac{J_{Cu_2O}}{J_{CuO}} \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется, то это свидетельствует о первичном КЗ. При обратном соотношении считается, что оплавление имеет признаки вторичного КЗ. Менее существенные различия не являются достаточно надежным дифференцирующим признаком. В этом случае образцы подвергаются металлографическому исследованию.

Применение метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Реализация метода РФЭС на фотоэлектронных спектрометрах позволяет

проводить эксперимент от момента препарации образца до расшифровки фотоэлектронного спектра и определения парциальных концентраций присутствующих на исследуемой поверхности атомов химических элементов и их соединений за 1-2 часа. Таким образом, используя метод РФЭС можно определить отношение концентраций диоксида меди к чистой меди  $C[Cu_2O]/C[Cu]$  на участках 1 и 2:

$$\frac{C[Cu_2O]}{C[Cu]} > 2 \frac{C[Cu_2O]}{C[Cu]} \quad (2)$$

Условие (2) является эквивалентным условию (1) что, в свою очередь, позволяет применять данную оценку в качестве критерия для определения типа КЗ. Как уже было отмечено, в случае менее существенных различий в условии (1) или (2) необходимо проводить дополнительные исследования. Эмпирически определено, что для вторичного КЗ характерно наличие газовых пор и взрывов; при первичном КЗ они, как правило, отсутствуют. Эти данные позволяют отличить первичное и вторичное КЗ и по содержанию кислорода в меди в месте оплавления. При первичном КЗ оно составляет 0,06-0,39 %, при вторичном КЗ – менее 0,06 %. При использовании метода РФЭС определяются концентрации всех химических элементов, присутствующих в поверхностном слое исследуемого образца.

В случае алюминиевой электрической проводки метод РФЭС не имеет привилегий над методом рентгеноструктурного анализа, так как в обоих случаях для определения первичности-вторичности КЗ необходимо производить сравнительный анализ концентраций углерода на исследуемом и эталонном образцах.

В случае медной электрической проводки применение метода РФЭС позволяет одновременно определить физические величины для проверки выполнения двух условий (соотношение концентраций двуокиси меди и меди в точке возникновения КЗ и на расстоянии от нее; концентрация кислорода в месте оплавления контакта) для установления причинно-следственной связи между возникновением короткого замыкания и возгоранием электрической проводки. Применение метода РФЭС освобождает процедуру экспертизы установления первичности-вторичности КЗ от проведения трудоемкого металлографического анализа.

Реализация метода РФЭС для установления причинно-следственной связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки возможна на разработанном рентгеновском времяпролетном фотоэлектронном спектрометре [5].

Методика проведения эксперимента

Получение высокого и сверхвысокого вакуума довольно длительный, энергозатратный процесс, проведение эксперимента по исследованию образцов и подготовительные к

эксперименту операции для рентгеновского фотоэлектронного спектрометра требуют высокой квалификации узконаправленного специалиста. Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии сильно чувствителен к атомарному загрязнению, и потому его невозможно реализовать без эффективной вакуумной чистки поверхности образца. В условиях сравнительно невысокого вакуума поверхность образца за короткий промежуток времени ( $\sim 1c$ ) покрывается несколькими монослоями адсорбированных частиц, которые существенно искажают фотоэлектронный спектр [6]

Возникает задача упрощения исследовательской работы для реализации экспертизы причин возгораний. Авторская идея заключается в реализации метода РФЭС в импульсном режиме получения спектров на времяпролетном энергоанализаторе.

Для регистрации спектров предлагается использовать способ импульсной регистрации спектров [7]. В данном способе поверхность образца облучается наносекундным ( $10^{-9}$  с) импульсом рентгеновского излучения и полученный при этом пучок фотоэлектронов сепарируется по энергиям во времяпролетном анализаторе. Через 20 мкс самые медленные из них достигают микроканальной пластины, используемой в качестве детектора. В результате общая продолжительность второго этапа исследовательского цикла составляет доли миллисекунды. При этом давление остаточной атмосферы в спектрометре поддерживается на уровне  $10^{-9}$  Торр, что необходимо для стабильной работы микроканальной пластины.

Недостатком данного способа является то, что он не устраняет необходимость в механической обработке образца, прогрев и откачку исследовательской камеры до  $10^{-10} - 10^{-9}$  Торр, что ограничивает дальнейшее сокращение продолжительности подготовительного этапа.

Авторская идея реализуется следующим образом:

После подготовки образца и помещения его в прибор проводится откачка до давления  $10^{-6}$  Торр. Поверхность образца в течение 0,1 секунды очищается механическим скребком. Сразу после окончания чистки образец подвергается воздействию импульсов ионизирующего излучения. Чувствительность фотоэлектронного спектрометра к наличию примесей, составляющая доли монослоя, заметно не ухудшится, если длительность импульса будет не более 0,03 секунды.

В качестве источника ионизирующего излучения используется авторская рентгеновская трубка с длительностью импульса рентгеновского излучения -  $10^{-10} - 10^{-3}$  с. [8] Чистка образца осуществляется технологической приставкой, описанной далее. Для сепарации фотоэлектронов по энергиям используется времяпролетный

энергоанализатор [9] с металлическим коллектором, обладающим развитой изохронной поверхностью.

Получение спектров осуществляется с помощью времяпролетного энергоанализатора авторской конструкции. Во времяпролетных энергоанализаторах с беспольным пространством время пролета фотоэлектронов рассчитывается по формуле

$$T = 1.69 * 10^{-6} * E^{-1/2} \quad (3)$$

где  $E$  – кинетическая энергия фотоэлектронов измеряется в электрон-вольтах, а пролетная база равна 1 м. Фотоэлектроны, обладающие энергией от 0 до 1000 эВ, прилетают на коллектор во временном интервале

$$T = (1.69 \div 0.053) * 10^{-6} \text{ с}$$

Таким образом, беспольные энергоанализаторы позволяют достаточно просто установить связь между кинетической энергией электронов и временем их прилета на коллектор. Но они не позволяют использовать большую апертуру вследствие отражения и поглощения электронов стенками пролетной трубы.

На рисунке 1 схематически представлены основные компоненты энергоанализатора, не содержащего указанного недостатка. В нем образец и коллектор находятся под одинаковым потенциалом, отличным от потенциала стенки пролетной трубы при такой конфигурации потенциалов электроны не поглощаются стенками прибора [6].

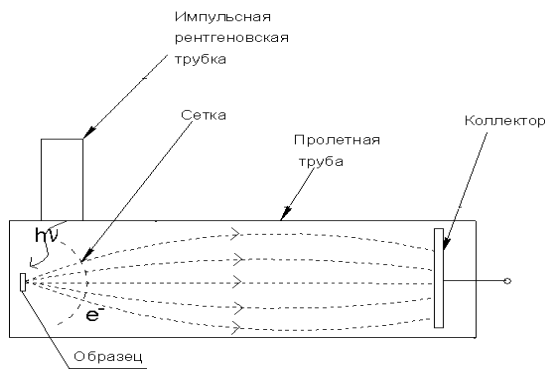


Рис. 1. Схема рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра с полемым пространством

Рентгеновская трубка.

На рисунке 2 приведен схематичный вид рентгеновской трубки в разрезе. Внутри кожуха 1 размещен анод 2, имеющий углубление в виде сферического пояса на внутренней стороне, катод в виде кольца 3, помещенный в торроидальный, прямоугольного сечения, бокс 4, напротив образцедержателя 5, внутри которого на керамическом изоляторе зафиксирован образец 6. Образцедержатель закреплен металлическими винтами через керамические трубчатые изоляторы 7 внутри анода.

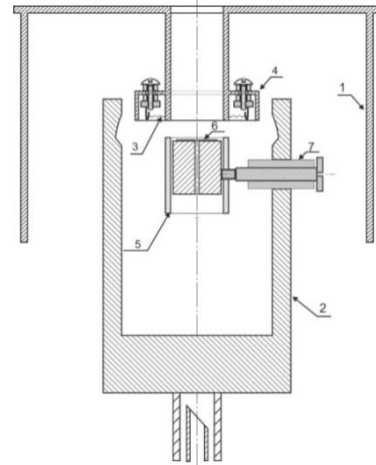


Рис. 2. Схематичное изображение рентгеновской трубки в разрезе: 1 – кожух; 2 – анод; 3 – катод в виде кольца; 4 – торроидальный бокс прямоугольного сечения; 5 – образцедержатель; 6 – образец; 7 – керамические трубчатые изоляторы

Рентгеновская трубка работает следующим образом. Электроны, испускаемые катодом в результате термоэмиссии, ускоряются электростатическим полем и, бомбардируя анод 2, вызывают как характеристическое, так и тормозное излучение. Основная часть тормозного излучения отсекается щелью, созданной образцедержателем и боксом катода, в то время как большая часть характеристического излучения проходит через эту щель и, благодаря особой геометрии углубления на внутренней поверхности анода, направляется на образец. При этом образцедержатель и бокс катода предотвращают движение фотоэлектронов образца на анод, экранируя электростатическое поле анода, не уменьшая тем самым регистрируемый фототок с поверхности образца. Особенность формы поверхности анода, взаимное расположение образцедержателя и бокса катода обеспечивают повышение интенсивности характеристического излучения, направленного на образец, а также уменьшению фонового тока [9].

Технологическая приставка

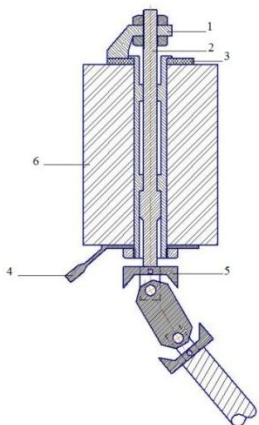
Основное назначение технологической приставки – фиксация образца с последующей периодической чисткой его поверхности.

Устройство технологической приставки схематично приведено на рисунке 3. Вся конструкция помещается внутри цилиндрического анода и крепится к образцедержателю (см. элемент 5 на рисунке 2). Твёрдосплавный резец (1) приводится во вращение посредством стержня (2) и спаренного кардана (5), состоящих из нержавеющей стали 9Х18Н10Т. Среднее звено изготовлено из керамики для электрической развязки корпуса вакуумной камеры и образца. Ввод вращения в вакуумную камеру производится через фторопластовое уплотнение. Образец (3) фиксируется полый развальцованной трубкой из меди, которая создаёт пару трения с нержавеющей сталью с коэффициентом трения 0,3. К трубке прикреплено устройство для подачи напряжения – высоковольтный коннектор (4).

Использование предложенного способа позволяет уменьшить время анализа на



фотоэлектронном спектрометре до 60 минут без ухудшения спектральных характеристик [9].



**Рис. 3.** Схематическое изображение технологической приставки: 1 - твердосплавный резец; 2- стальной стержень; 3- образец; 4- высоковольтный коннектор; 5- двойной (спаренный) кардан; 6- керамический изолятор

### Библиография

1. Зигбан К. Электронная спектроскопия / К. Зигбан, К. Нордлинг, А. Фальман, и др.; Пер. с англ. под ред. И.Б. Боровского. – М.: Мир, 1971. – 493 с.
2. Ширококов С.В. Импульсная рентгеновская трубка для 100-см рентгеноэлектронного магнитного спектрометра (Обзорная глава): Дисс. ... к-та техн. наук: 01.04.01: защищена 27.12.03: утв. 14.05.04 / Ширококов Сергей Валентинович. - Ижевск, Удмуртский университет, 2004. - 114 с.
3. Трапезников В.А. Новые автоматизированные магнитные спектрометры: спектрометры с технологическими приставками и манипуляторами и спектрометр для исследования расплавов. / Трапезников В.А., Шабанова И.Н., Варганов Д.В. и др.; - Известия АН СССР. Сер. физическая, 1986, т.50, №9, с.1677-1682.
4. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. – 330 с.
5. Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для установления причинно-следственной связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки / Е.С. Корляков, Е.В. Русских, С.В. Ширококов // Предупреждение. Спасение. Помощь (современность и инновации): материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. науч.-пед. состава и обучающихся, 9 марта 2011 г.: (сб. тез.). - Химки: АГЗ МЧС России. 2011. - С. 73-75.
6. Автоматизация обработки времяпролетных рентгеноэлектронных спектров, полученных в полевом пространстве. / Ширококов С.В., Ивков М.А., Русских Е.В. и др. // Актуальные проблемы экономической и социально-экономической безопасности Поволжского региона: Сб. ст. по материалам межвузовской научно-практической конференции. / Под ред. Н.Н. Даяновой. – М.: РГОТУПС, 2008. - с.79-83.

### Заключение

Применение метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для решения задач пожарно-технической экспертизы является оправданным. Предложенный авторами способ адаптации рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра позволяет с высокой точностью и достаточно быстро выявить химический состав образцов с места пожара и определить причинно-следственные связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки.

Приведена методика проведения эксперимента, использование метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии может позволить уменьшить экономические затраты на проведение экспертизы для выявления причин пожаров.

### References

1. Zigban K. EHlektronnaya spektroskopiya / K. Zigban, K. Nordling, A. Fal'man, i dr.; Per. s angl. pod red. I.B. Borovskogo. – М.: Mir, 1971. – 493 s.
2. SHirobokov S.V. Impul'snaya rentgenovskaya trubka dlya 100-sm rentgenoehlektronnogo magnitnogo spektrometra (Obzornaya glava): Diss. ... k-ta tekhn. nauk: 01.04.01: zashchishchena 27.12.03: utv. 14.05.04 / SHirobokov Sergej Valentinovich. - Izhevsk, Udmurtskij universitet, 2004. - 114 s.
3. Trapeznikov V.A. Novye avtomatizirovannye magnitnye spektrometry: spektrometry s tekhnologicheskimi pristavkami i manipulyatorami i spektrometr dlya issledovaniya rasplavov. / Trapeznikov V.A., SHabanova I.N., Varganov D.V. i dr.; - Izvestiya AN SSSR. Ser. fizicheskaya, 1986, t.50, №9, s.1677-1682.
4. CHeshko I.D. Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov: metod. posobie / I.D. CHeshko – М.: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2002. – 330 s.
5. Metod rentgenovskoj fotoehlektronnoj spektroskopii dlya ustanovleniya prichinno-sledstvennoj svyazi vozniknoveniya korotkogo zamykaniya i vozgoraniya ehlektricheskoy provodki / E.S. Korlyakov, E.V. Russkih, S.V. SHirobokov // Preduprezhdenie. Spasenie. Pomoshch' (sovremennost' i innovacii): materialy XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. nauch.-ped. sostava i obuchayushchihya, 9 marta 2011 g.: (sb. tez.). - Himki: AGZ MCHS Rossii. 2011. - S. 73-75.
6. Avtomatizaciya obrabotki vremyaproletnyh rentgenoelektronnyh spektrov, poluchennyh v polevom prostranstve. / SHirobokov S.V., Ivkov M.A., Russkih E.V. i dr. // Aktual'nye problemy ehkonomicheskoy i social'no-ehkonomicheskoy bezopasnosti Povolzhskogo regiona: Sb. st. po materialam mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. / Pod red. N.N. Dayanovoj. – М.: RGOTUPS, 2008. - S. 79-83.
7. Harada T., Development of Time-of-Flight X-ray Photoelectron Spectrometer. / Harada T., Iwamoto T., Morihisa Y., etc. // Analytical sciences, 2001. Vol.17, pp.1269-1272.
8. Pat. 2603846 Rossijskaya Federaciya, MPK H01J 35/22. Rentgenovskaya trubka / Zozulya O.V., Russkih

7. Harada T., Development of Time-of-Flight X-ray Photoelectron Spectrometer. / Harada T., Iwamoto T., Morihisa Y., etc. // Analytical sciences, 2001. Vol.17, pp.1269-1272.

8. Пат. 2603846 Российская Федерация, МПК H01J 35/22. Рентгеновская трубка / Зозуля О.В., Русских Е. В., Ширококов С. В. заявитель и патентообладатель ООО «ИжРapid». - 2015124995/07 заявл. 24.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

9. Корляков Е.С. Анализ возможных причин искажения фотоэлектронного спектра, полученного с помощью рентгеновского времяпролетного фотоэлектронного спектрометра / Е.С. Корляков, Е.В. Русских, С.В. Ширококов // Вестник Ижевского государственного технического университета. - 2011. - № 1. - С. 94-96.

Е. В., Ширококов С. В. заявитель и патентообладатель ООО «ИжРapid». - 2015124995/07 заявл. 24.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

9. Korlyakov E.S. Analiz vozmozhnyh prichin iskazheniya fotoelektronnoy spektra, poluchennogo s pomoshch'yu rentgenovskogo vremyaproletnogo fotoelektronnoy spektrometra / E.S. Korlyakov, E.V. Russkikh, S.V. SHirobokov // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2011. - № 1. - S. 94-96.

## ADAPTATION OF THE X-RAY PHOTOELECTRONIC TIME-OF-FLIGHT SPECTROMETER FOR THE SOLUTION OF FIRE SAFETY OBJECTIVES

*This article describes the method of X-ray photoelectron spectroscopy. The method of adaptation of the X-ray photoelectron time-of-flight spectrometer of the author's design to solving fire safety problems is described. A brief description of the main components of the time-of-flight spectrometer, including an X-ray tube, a time-of-flight energy analyzer, a technological attachment for cleaning a sample under vacuum conditions and the principles of their operation are given. The application of the principle of aggregation of the elements of the spectrometer makes it possible to improve the characteristics of the instrument and simplifies the adaptation of the method of X-ray photoelectron spectroscopy to solving problems in the field of fire and technical expertise.*

**Keywords:** *x-ray spectrometer, X-ray tube, photoelectron spectrum, vacuum system, short circuit, fire-technical examination, time-of-flight energy analyzer*

**Ширококов Сергей Валентинович,**

*к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой,  
Удмуртский государственный университет,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89127636113,  
e-mail: sergirt@mail.ru,*

**Shirobokov S.V.,**  
*Ph.D., Associate Professor,  
Head of the Department,  
Udmurt State University,  
Russia, Izhevsk.*

**Русских Евгений Валерьевич,**

*Старший преподаватель,  
Удмуртский государственный университет,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89127527654,  
e-mail: rev3@list.ru,*

**Russkikh E.V.,**  
*Senior Lecturer,  
Udmurt State University,  
Russia, Izhevsk.*

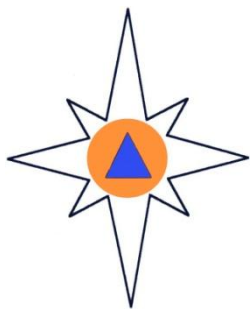
**Макарова Людмила Геннадьевна,**

*к.ф.-м.н., доцент,*

*Удмуртский государственный университет,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89501771601,  
e-mail: [lyuda\\_izh@mail.ru](mailto:lyuda_izh@mail.ru)  
**Makarova L.G.**,  
Ph.D.,  
Udmurt State University,  
Russia, Izhevsk.*

***Кулагин Андрей Владимирович**,  
к.т.н., доцент,  
Удмуртский государственный университет,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89199065795,  
e-mail: [rekfuby2@rambler.ru](mailto:rekfuby2@rambler.ru)  
**Kulagin A.V.**,  
Ph.D.,  
Udmurt State University,  
Russia, Izhevsk.*

***Булдакова Татьяна Владимировна**,  
Удмуртский государственный университет,  
Россия, г. Ижевск,  
тел. 89120550252,  
e-mail: [tatjanka-18@mail.ru](mailto:tatjanka-18@mail.ru)  
**Buldakova T.V.**,  
Udmurt State University,  
Russia, Izhevsk.*



## МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

УДК 001.894: [614.8 : 315.861]

### АНАЛИЗ ПАТЕНТНО-АССОЦИИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ В МИРЕ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПОЖАРОВ (2005–2014 ГГ.)

*В.И. Евдокимов, Т.Г. Горячкина, Т.Н. Эриванцева*

*Дана рубрикация класса А62 «Спасательная служба; противопожарные средства» Международной патентной классификации (МПК). Показан алгоритм поиска патентно-ассоциированных документов (поданных заявок, выданных патентов на изобретения и полезные модели) в российском сегменте Интернет-сервиса esp@cenet (ru.espacenet.com, база данных – Worldwide), локализуящемся на сервере Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент). Предположили, что найденные патентные документы будут отражать развитие исследуемой отрасли знания. Поиск позволил выявить 67 106 откликов на патентные документы, соотношенные с классом А62 МПК в 2005–2014 гг. Ежегодно в мире регистрировались по  $(6700 \pm 300)$  патентных документов. Выявлена динамика увеличения патентной активности в мире. 45,1% документов было по подклассу А62В МПК «Способы и устройства для спасения жизни», 42% – А62С «Противопожарная техника», 12,9% – А62D «Химические средства тушения пожаров ...». Наибольшая патентная активность по классу А62 МПК наблюдалась в Китае и США. Доля обнародованных документов национальными ведомствами стран составила 29,7 и 14,1 % соответственно, доля заявителей – 6,8 и 15,3 % в мире. Отмечается снижение интереса специалистов этих стран к проведению исследований по указанной тематике. Выявлена динамика увеличения патентно-ассоциированных документов в России (4,4 и 1,9 % соответственно). Этот массив занимает 6-е место в мире. Проведен анализ структуры и динамики патентных документов по обобщенным рубрикам класса А62 МПК в мировом массиве и по ведущим странам.*

**Ключевые слова:** *чрезвычайная ситуация, пожар, инновация, изобретение, международная патентная классификация, база данных, Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), Европейское патентное ведомство.*

#### **Введение**

Объективной оценкой развития отрасли знания является анализ изобретений в отрасли, или инноваций – новшеств, внедренных в практику. Установлено, что изучение патентно-ассоциируемых документов (поданных заявок в патентные ведомства, выданных патентов на изобретения и полезные модели, далее – патентных документов) отражает интеллектуальную деятельность в научно-технической сфере, по которой можно судить о ее развитии и проводить прогнозирование [2, 4, 6, 7].

Изобретение – техническое решение в любой области, относящееся к продукту (в частности, к устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных) или способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств) [3]. Изобретению предоставляется правовая охрана и выдается патент, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо. Полезная модель – техническое решение, относящееся к устройству. Полезной

модели предоставляется правовая охрана и выдается патент, если она является новой и промышленно применимой [3].

Для выдачи патентов изобретения и полезные модели в патентные ведомства страны подается заявка. В течение регламентированного времени патентные ведомства проводят экспертизу изобретений (полезных моделей) на новизну, оценивают изобретательский уровень и промышленную применимость и выдают охранные документы [1]. Изобретение и полезная модель являются промышленно применимыми, если они могут быть использованы в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении, других отраслях экономики или в социальной сфере. Датой приоритета действия изобретения (полезной модели) является дата подачи заявки в патентное ведомство.

Патентные отношения в России регулируются 72-й главой «Патентное право» IV раздела Гражданского кодекса [3]. Регистрацию и экспертизу заявок, выдачу и учет патентов в России

осуществляет Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Срок действия патента на изобретение составляет 20 лет с момента регистрации заявки, полезной модели – 10 лет.

Патенты классифицируются при помощи Международной патентной классификации (МПК). С 01.01.2009 г. действует 9-я редакция МПК, в которой имеется два уровня – базовый (укрупненный) и расширенный (более подробный) [5]. Раздел МПК обозначается заглавной буквой латинского алфавита от А до Н. Заголовок раздела приблизительно отражает его содержание. Каждый раздел делится на классы. Индекс класса состоит из индекса раздела и двузначного числа. Заголовок класса отражает его содержание. Каждый класс МПК содержит один или несколько подклассов. В табл. 1 сгруппированы подклассы способов и устройств изобретений по предупреждению и ликвидации ЧС и пожаров, а также соотношение их аналогов с другими рубриками МПК.

Таблица 1

**Извлечения из рубрикации класса А62 «Спасательная служба; противопожарные средства» МПК [5]**

Под-класс	Группа	Название
A62B		<b>Способы и устройства для спасения жизни</b> (клапаны, специально предназначенные для медицинских целей – А61М39/00; составы химических веществ, используемых в респираторах, газовых масках, дыхательных аппаратах или т. п. – А62D; спасение с гор или деревьев – А63В27/00, А63В29/00; для спасения на воде – В63С9/00; водолазные костюмы – В63С11/00; в воздухе, например, парашюты, катапультируемые сиденья – В64D; в шахтах – E21F11/00) <i>Спасение, например при пожарах</i>
	1/...	Устройства для спуска людей из зданий и т. п.
	3/00	Устройства и приспособления, облегчающие выход из зданий и т. п., например щиты, защитные экраны; переносные устройства, предотвращающие проникновение дыма в отдельные части зданий
	5/00	Прочие устройства для спасения при пожарах (лестницы – E06C)
	31/00	Газозащитные контейнеры или переносные установки для обезвреживания или защиты от химических отравляющих веществ
	33/00	Устройства, позволяющие людям, оказавшимся в состоянии «мнимой смерти», спастись или привлечь к себе внимание
		<i>Дыхательные аппараты; противогазы с дыхательными аппаратами; устройства для защиты от химических отравляющих веществ</i>
		<b>Виды:</b>
	7/...	дыхательные аппараты (для медицинских целей – А61М16/00)
	18/...	дыхательные маски или шлемы, например для защиты от химических веществ или для использования на больших высотах (наркозные маски – А61М16/00)
		<b>Конструктивные элементы:</b>
	9/...	составные части респираторных или дыхательных устройств
		<b>Патроны, устройства для получения кислорода из химических веществ, фильтры:</b>
	19/00	патроны с адсорбирующими веществами для респираторов
	21/00	устройства в респираторах для получения кислорода из химических веществ
	23/...	фильтры для защиты дыхательных органов (газовые фильтры вообще – B01D)
		<b>Устройства для хранения и испытания:</b>
	25/00	устройства для хранения респираторных или дыхательных устройств
	27/00	способы и устройства для испытания респираторных или дыхательных устройств (аппаратура для испытания на газонепроницаемость вообще – G01M)
		<i>Коллективные средства защиты органов дыхания от ядовитых или отравляющих веществ</i>
		<b>Кондиционирование воздуха и вентиляция в герметически закрытых помещениях:</b>
	11/00	устройства для регенерации воздуха в герметически закрытых помещениях (химическая очистка, дезинфекция или стерилизация воздуха – А61L)
	13/00	специальные устройства для вентиляции газоубежищ
		<b>Прочие средства защиты:</b>
	15/00	устройства для защиты от ядовитых и вредных веществ, в частности, с индивидуальными респираторами (для зданий – E04H9/00)
	29/00	устройства для защиты от химических отравляющих веществ

Под-класс	Группа	Название
	17/...	<i>Защитная одежда, спасательные ремни:</i> защитная одежда от теплового воздействия или химических отравляющих веществ или используемая на больших высотах (защитная рабочая или спортивная одежда А41D13/00; спасательная одежда, используемая на море – В63; водолазные костюмы – В63С11/02; летные костюмы – В64D10/00)
	35/00	спасательные ремни или пояса безопасности; подобные приспособления для ограничения отклонения тела человека при резком изменении скорости движения (детские пассажирские сидения – В60N2/24; ремни или пояса безопасности наземных транспортных средств – В60R22/00; разъемные крепления – F16B)
		<i>Прочие устройства для спасения жизни</i>
	99/00	Тематика, не предусмотренная в других группах данного подкласса
A62C		<b>Противопожарная техника</b> (огнегасительные составы, использование химических веществ для тушения пожаров – А62D1/00; распыление, нанесение жидкостей и других текучих материалов на поверхности вообще – В05; пожарные самолеты – В64D1/00; устройства подачи сигналов тревоги – G08B, например, сигналы пожароопасности, вызываемые наличием дыма или газов, – G08B17/10)
		<i>Предотвращение пожаров или сдерживание огня</i>
	2/...	Способы и устройства для предотвращения пожара или сдерживания огня
	3/...	Предупреждение пожаров, сдерживание огня или тушение пожаров на особых объектах или местностях (на ядерных реакторах – G21C9/00)
	4/...	Огнеуловители для задержания огня или взрывной волны с приспособлениями для свободного прохождения газа
	5/...	Приготовление огнегасительных материалов непосредственно перед использованием
		<i>Ручные средства гашения огня</i>
	8/...	Ручные инструменты или вспомогательные принадлежности, специально предназначенные для борьбы с огнем, например, ящики для инструмента
	11/00	Переносные огнетушители с насосами, приводимыми в действие вручную
	13/...	Переносные огнетушители, которые находятся постоянно под давлением или накачиваются непосредственно перед использованием
	15/00	Огнетушители переносные, ранцевые (рюкзаки, каркасы для ношения рюкзаков и ранцев на корпусе человека – А45F3/00)
	17/00	Ручные огнетушители в виде пистолетов или ружей
	19/00	Ручные огнетушители, в которых огнегасительное вещество выбрасывается с помощью взрыва; взрывные баллоны, бросаемые в огонь
	25/00	Переносные огнетушители с насосами, снабженными механическим приводом
		<i>Противопожарные транспортные средства</i> (пожарные самолеты – В64D1/00)
	27/00	Пожарные наземные транспортные средства (аспекты, связанные с транспортными средствами, см. в соответствующих подклассах классов – В60–В64, например пожарные самолеты – В64D1/00)
	29/00	Пожарные суда или подобные плавучие средства (аспекты, связанные с транспортными средствами, см. в соответствующих подклассах классов – В63)
	31/...	<i>Подача огнегасительного состава</i>
	33/...	<i>Вспомогательные приспособления для пожарных рукавов</i>
	35/...	<i>Стационарное оборудование</i> (для образования водяных завес – А62С2/00)
	37/...	<i>Управление противопожарным оборудованием</i> (термочувствительные устройства – G01K)
	39/00	Способы борьбы с огнем, оборудование или вспомогательные принадлежности, не отнесенные к группам А62С2/00–А62С37/00
A62D		<b>Химические средства тушения пожаров;</b> способы обезвреживания или уменьшения вредности химических отравляющих веществ путем их химического изменения; состав материалов для укрытий или одежды, защищающих от отравляющих химических агентов; состав материалов для прозрачных частей противогазов, респираторов, кислородных мешков или шлемов; состав химических материалов, используемых в дыхательных аппаратах
	1/...	Огнегасительные составы; использование химических веществ для тушения пожаров (огнеупорные краски – С09D5/18; огнестойкие материалы – С09K21/00)
	3/...	Способы обезвреживания или уменьшения вредности химических отравляющих веществ путем их химического изменения (уничтожение вредных газов сжиганием – F32G7/06)
	5/00	Состав материалов для защитных укрытий или одежды, предохраняющих от воздействия химических отравляющих веществ
	7/...	Состав материалов для прозрачных частей противогазов, респираторов, кислородных мешков, шлемов (составы для сведения к минимуму количества водяных капель или льда – С09R3/18)
	9/00	Состав химических веществ, используемых в дыхательных аппаратах (получение химических соединений, выделяющих кислород вообще, способы получения кислорода из химических веществ вообще – С01В13/00, С25В1/00)



Цель исследования – показать алгоритм поиска и проанализировать патентно-ассоциированные документы в мире по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров за 10 лет (2005–2014 гг.) по отраслевым рубрикам.

### Материалы и методы

Объект исследования составила база данных (БД) Espacenet, поддерживаемая Европейским патентным ведомством и представляющая пользователям свыше 75 млн патентных документов из более 90 стран и международных организаций [6]. Предметом исследования явились патентно-ассоциированные документы в мире, соотношенные с классом А62 МПК с 2005 по 2014 г.

В БД Espacenet представлены заявки для выдачи охранных документов на изобретения и полезные модели. Не по любой заявке выдается патент, а если подана международная заявка, то она будет продублирована несколько раз под разными номерами. Далее в БД попадают патенты на изобретения и полезные модели. Таким образом, большой массив документов Espacenet позволяет анализировать патентно-ассоциированные

документы, по которым можно изучать инновационную активность заявителей из разных стран и вероятно судить о развитии определенной отрасли знания.

Для объективизации полученных показателей провели анализ документов, обнародованных национальными патентными ведомствами и заявителями, которые могут являться по отношению к стране патентного ведомства ее жителями или иностранцами. При этом патентные документы могут иметь более одного заявителя, а заявитель – являться и автором изобретения (полезной модели).

Через опцию «Информационные ресурсы», расположенной справа на главной странице Роспатента (<http://www.rupto.ru/>), открывали окно патентно-информационных ресурсов Роспатента и переходили на страницу общих сведений о российском сегменте Интернет-сервиса [esp@cenet](mailto:esp@cenet), которая имеет русифицированный интерфейс и обучающую брошюру «Введение в базу данных идей» в формате PDF, практические задания и тесты, которые позволяют овладеть основными навыками работы с БД [esp@cenet](mailto:esp@cenet).

**Расширенный поиск**

Выберите базу данных для поиска: Worldwide - полная коллекция опубликованных патентных документов из более чем 90 стран

Введите ключевые слова: hair

Введите номера документов, код страны не обязателен: WO2008014520

Введите одну или несколько дат, либо диапазон дат: 2014-12-31 or 20141231

Введите один или несколько индексов классификации: H03M1/12 A62C2/06

**СПИСОК РЕЗУЛЬТАТОВ**

Приблизительно 108 документ(ов) найдено в базе данных Worldwide для запроса: US в поле номера публикации AND 2005-2014 в поле даты публикации AND A62C2/06 для индекса(ов) МПК

№	ИЗобретатель:	Заявитель:	СРС:	МПК:	Информация о публикации:	Дата приоритета:
2.	WEDOWSKI MICHAEL [DE]	CHS GMBH [DE]	A62C3/07 A62C3/08 A62C3/14 (*7)	A62C2/06 A62C3/07 A62C3/08 (*1)	US 2014 360739 (A1) 2014-12-11 US 9573005 (B2) 2017-02-21	2012-01-10

**Библиографические данные: US 2014 360739 (A1) — 2014-12-11**

**PROTECTION DEVICE**

Изобретатель(и): WEDOWSKI MICHAEL [DE] ±

Заявитель(и): CHS GMBH [DE] ±

Номер заявки: US201214371635 20121220

**Реферат документа US2014360739 (A1)**

Перевести этот текст: русский

русский **patenttranslate** powered by EPO and Google

A protection device, in particular a fire protection device on a motor vehicle. The device includes a fire fighting device having at least one container which is filled with an extinguishing agent and which can be paired with a body of a vehicle or an airplane or with a building wall or ceiling and comprising at least one outlet device which is to be closed by a temperature-controlled first valve, and/or the device includes at least one temperature-resistant tank which

Рис. 1. Алгоритм поиска патентных документов заявителей США по рубрике А62С2/06 МПК

Далее открывали окно поисковых режимов esp@cenet (рис. 1, п. 1). Поиск можно проводить по ключевым словам, авторам, физическим или юридическим лицам заявителей. Следует выбрать сервер из перечня БД, представленного во всплывающем окне (см. рис. 1, п. 2). Если БД не указывать, то поиск будет проводиться по «всемирной» БД (Worldwide). Поисковые условия (слова, индексы МПК – не более четырех в каждом поле) следует соединять при помощи операторов. Поисковый оператор ИЛИ (OR) позволяет находить в искомым документах перечисленные условия отдельно или вместе, тем самым расширяет режим поисковых откликов, оператор И (AND) – группирует документы, которые в обязательном порядке должны содержать указанные условия, оператор НЕ (NOT) – исключает документы, которые будут содержать условия поиска, указанные после оператора. Сокращать поисковые условия можно, используя подстановочные символы, например, ? – позволяет проставить одиночный символ (пожар? – пожар, пожары), \* – неограниченное число символов – (пожар\* – пожары, пожаровзрывобезопасность), # – обязательный(е) символ(ы) (пожар# – пожарный, но не пожар) и пр.

При расширенном поиске допускается комбинирование различных поисковых условий (см. рис. 1, п. 2). Поиск патентных документов можно провести за конкретный период (год), по стране, издавшей патентный документ, заявителю документа (для чего используется двузначный код) и т.д., по словам, содержащимся в названии или реферате документа. В представленном примере поля поисковых условий указаны не полностью.

В нашем исследовании для поиска использовали 10-летний период времени (2005:2014 гг.), страну, национальным ведомством которой были обнародованы патентно-ассоциированные документы и с которой были аффилированы заявители патентных документов в мире, и рубрики класса А62 МПК. Использовали опцию «Номер публикации» (см. рис. 1, п. 2). Номер патентного документа в обязательном порядке начинается с двухзначного кода страны (Россия – RU, Великобритания – GB, Германия – DE, Китай – CN и т.д.) и, этим самым, выявляли массив документов национальных патентных ведомств. Поля поисковых условий на схеме указаны не все (см. рис. 1, п. 2).

После нажатия на кнопку «поиск» открывается страница «Список результатов» (см. рис. 1, п. 3). В представленном примере было найдено приблизительно 108 патентных документов на изобретения по подгруппе А62С2/06 МПК по способам и устройствам для предотвращения или сдерживания огня, опубликованных в 2005–2014 гг. патентным ведомством США. Список результатов можно сортировать по дате приоритета, авторам изобретений, заявителям патентов.

В БД esp@cenet при поиске бывает невозможно точно рассчитать результат. Количество документов указывается приблизительно (см. рис. 1, п. 3) – несколько большим, чем при просмотре массива выведенных данных. При просмотре будут исключены дублирующие документы (заявки и патенты аналоги) одного и того же заявителя.

Активировав название документа, открывали страницу его библиографических данных, которая содержит фамилию и имя автора, заявителя, номер заявки, дату ее публикации (приоритета), номера патентов в других патентных ведомствах, если таковые имеются, и прочие сведения. В представленном примере патентное ведомство США выдало патент автору (изобретателю) и заявителю из Германии (см. рис. 1, п. 4). Здесь же имеется реферат с возможностью его автоматизированного перевода на русский язык, схемы и рисунки (см. рис. 1, п. 5).

Результаты проверили на нормальность распределения признаков. В статье представлены средние арифметические величины и их ошибки. Количественную динамику и прогнозирование показателей проводили при помощи анализа динамических рядов программы Excel, для чего использовали полиномиальный тренд второго порядка.

#### Результаты и их обсуждение

Электронный поиск позволил выявить мировой массив из 67 106 откликов на патентные документы, соотнесенные с классом А62 МПК в 2005–2014 гг. Полиномиальный тренд при высоком коэффициенте детерминации ( $R^2 = 0,92$ ) показывает рост активности заявителей (рис. 2). Ежегодно в мире регистрировались по  $(6700 \pm 300)$  патентных документов по классу А62 МПК.

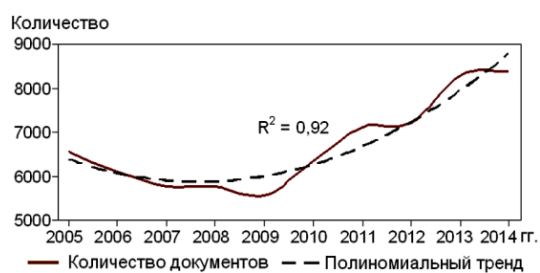


Рис. 2. Динамика количества патентных документов в мире по классу А62 МПК

Полиномиальный тренд патентных документов при значимом коэффициенте детерминации ( $R^2 = 0,73$ ) по подклассу А62В «Способы и устройства для спасения жизни» напоминает пологую U-кривую с минимальными показателями в 2008–2009 гг. (рис. 3), по подклассу А62С «Противопожарная техника» показывает их рост ( $R^2 = 0,98$ ), по подклассу А62D «Химические средства тушения пожаров ...» – тенденцию незначительного уменьшения ( $R^2 = 0,24$ ).



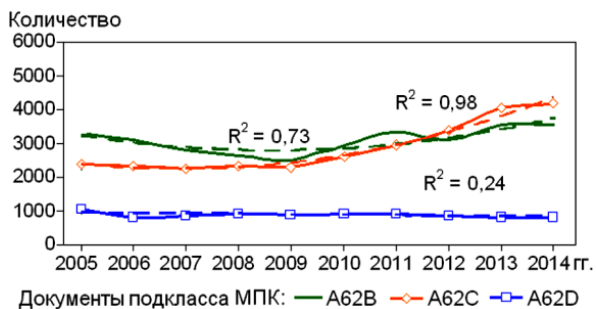


Рис. 3. Динамики количества патентных документов по подклассам МПК в мире

На рис. 4 представлена динамика структуры патентных документов класса А62 МПК. Отчетливо видно уменьшение доли патентных документов по подклассам А62В и А62D и увеличение – по подклассу А62С. Публикаций, соотношенных с подклассом А62В, было 45,1 %, с А62С – 42 %, с А62D – 12,9 %.

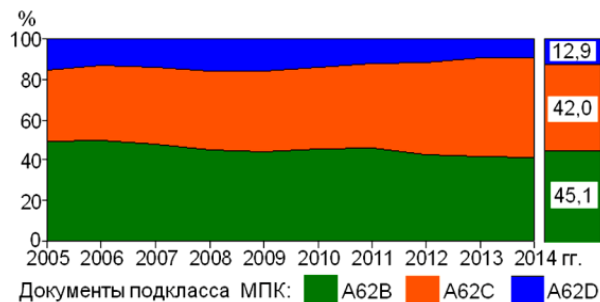


Рис. 4. Структура динамики количества патентных документов по подклассам МПК в мире

В табл. 2 сведены страны с высоким уровнем заявленных документов национальными патентными ведомствами стран и большим количеством заявителей по классу А62 МПК. Вклад опубликованных патентно-ассоциированных документов национальными патентными ведомствами указанных 20 стран составил около 85 %, стран-заявителей – 53 % от общего массива патентных документов данного класса в мире. Ранг патентной активности страны высчитан путем суммирования количества документов патентных ведомств и заявителей, так как они могли подавать заявки не только в национальные, но и в другие патентные ведомства мира. По сумме патентно-ассоциированных публикаций Роспатента (4,4 %) и заявителей (1,9 %) Россия занимает 6-е место в мире.

Таблица 2

Рейтинг стран с высоким уровнем патентной активности по классу А62 МПК (2005–2014 гг.)

Ранг	Страна (код)	Доля документов патентных ведомств (заявителей), %	Ранг	Страна (код)	Доля документов патентных ведомств (заявителей), %
1-й	Китай (CN)	29,7 (6,8)	11-й	Австралия (AU)	2,1 (1,4)
2-й	США (US)	14,1 (15,3)	12-й	Австрия (AT)	1,7 (0,5)
3-й	Южная Корея (KR)	8,0 (5,6)	13-й	Испания (ES)	1,4 (0,7)
4-й	Япония (JP)	10,0 (2,0)	14-й	Украина (UA)	0,7 (0,6)
5-й	Германия (DE)	3,5 (6,0)	15-й	Швейцария (CH)	0,1 (1,1)
6-й	Россия (RU)	4,4 (1,9)	16-й	Бразилия (BR)	0,8 (0,4)
7-й	Тайвань (TW)	2,1 (2,0)	17-й	Польша (PL)	0,5 (0,5)
8-й	Канада (CA)	2,7 (1,4)	18-й	Нидерланды (NL)	0,3 (0,6)
9-й	Великобритания (GB)	1,0 (2,6)	19-й	Швеция (SE)	0,1 (0,6)
10-й	Франция (FR)	0,9 (2,6)	20-й	Финляндия (FI)	0,1 (0,6)

Ежегодно патентные ведомства Китая публиковали по (2000 ± 410) патентных документов по классу А62 МПК, США – по (930 ± 70), Германии – по (240 ± 30), России – по (300 ± 14). Документы, аффилированные с национальным патентным ведомством Китая, составили около 30 % мировых. На рис. 5 представлена динамика количества патентных документов, обнародованных национальными патентными ведомствами. Полиномиальные тренды показывают уменьшение количества патентно-ассоциированных документов, публикуемых патентными ведомствами США и Германии (коэффициенты детерминации 0,88, 0,96 соответственно) и их увеличение в Китае и России

(коэффициенты детерминации 0,99 и 0,77 соответственно).

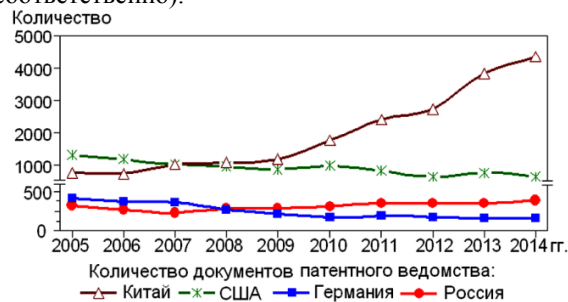


Рис. 5. Динамика количества патентных документов по классу А62 МПК патентных ведомств некоторых стран

Ежегодно заявители из США публиковали по (1020 ± 40) патентных документов по классу А62 МПК, из Китая – по (450 ± 130), из Германии – по (400 ± 20), из России – по (130 ± 12) патентов. Отмечается выраженная вариабельность годового количества патентных документов у заявителей из Китая.

На рис. 6 показана динамика количества патентных документов заявителей из некоторых стран. Полиномиальные тренды свидетельствуют об уменьшении патентной активности в США, Германии и Китае – коэффициенты детерминации 0,77, 0,90 и 0,53, соответственно. Резкий спад количества документов заявителей из Китая в БД Worldwide с 2010 г. следует проанализировать дополнительно. Полиномиальный тренд при значимом коэффициенте детерминации ( $R^2 = 0,76$ ) отмечает увеличение патентной активности заявителей из России.



Рис. 6. Динамика количества патентных документов по классу А62 МПК заявителей из некоторых стран

Структура патентных документов по обобщенным рубрикам подкласса А62В МПК по патентным ведомствам стран и заявителей представлена в табл. 3. Устройства для проведения спасательных работ и спасения жизни (группы 1/..., 3/00, 5/00, 31/00 и 33/00) составили 21,7 % от общего количества использованных рубрик в подклассе А62В МПК. Публикаций по индивидуальным дыхательным маскам (аппаратам) и респираторам (группы 7/..., 9/..., 18/..., 15/00, 19/..., 21/00, 23/..., 25/00 и 27/00) было 55,6 %, в том числе по их конструктивным элементам (группы 9/..., 19/..., 21/00 и 23/...) – в 34,1 %, устройствам испытания и хранения (группы 25/00 и 27/00) – в 2,3 %.

Таблица 3

Структура патентных документов по подклассу А62В МПК в мире, доля национальных патентных ведомств и заявителей из некоторых стран\* (%)

Раздел подкласса А62В МПК	БД Worldwide	Страна			
		Китай	США	Германия	Россия
Устройства для проведения спасательных работ	21,7	48,9 (11,0)	19,3 (6,8)	9,7 (4,1)	3,1 (1,8)
Дыхательные аппараты, респираторы, из них:	55,6	26,1 (4,5)	41,1 (25,2)	7,6 (4,9)	2,4 (0,8)
- конструктивные элементы:	34,1	37,2 (2,4)	39,6 (8,1)	8,7 (1,5)	1,9 (0,3)
- устройства для хранения и испытания	2,3	19,7 (0,09)	35,8 (0,3)	22,6 (0,2)	6,5 (0,04)
Коллективные средства защиты органов дыхания	0,9	42,9 (15,1)	14,9 (9,7)	19,8 (4,6)	13,4 (7,7)
Защитная одежда и пояса безопасности	17,5	24,3 (4,9)	30,0 (18,9)	10,3 (7,4)	3,6 (0,6)
Прочие устройства для спасения жизни	4,3	43,7 (9,1)	10,6 (4,1)	10,4 (6,1)	5,6 (1,4)
Всего	100,0	33,5 (6,3)	32,9 (19,1)	8,7 (5,2)	3,0 (1,1)

\*Здесь и в табл. 3–4. В колонке «Worldwide» представлена доля публикаций раздела в подклассе А62В МПК в мире, в колонках «Страна» – доля страны в разделе подкласса в мире, круглых скобках – доля заявителей в разделе подкласса в мире.

Патентные документы на коллективные средства защиты органов дыхания от ядовитых или отравляющих веществ (группы 11/00, 13/00 и 29/00) составили 0,9 %, защитная одежда, спасательные ремни и пояса безопасности (группы 17/... и 35/00) – 17,5 %. Следует отметить, что химический состав тканей защитной одежды патентовался по другим рубрикам, о чем будет указано далее. Прочие устройства для спасения жизни (группа 99/00) соотносились с 4,3 % документов подкласса А62В (см. табл. 3).

Несмотря на высокую публикационную активность патентного ведомства Китая (33,5 % от массива документов по подклассу А62В), выявлен

невысокий уровень патентной активности у китайских заявителей (6,3 % от всех заявителей по подклассу). Высокий уровень патентной активности по подклассу выявлен у патентного ведомства (32,9 %) и заявителей (19,1 %) из США (см. табл. 3)

Самыми многочисленными патентно-ассоциированными публикациями в подклассе А62С МПК (табл. 4) были способы и устройства (группа 3/...) по предотвращению или тушению пожаров на особых объектах или местностях (18,2 %), что вполне адекватно. Способы и устройства по предотвращению пожара или сдерживанию огня (огнеуловители) (группы 2/... и 4/...) составили в 11,8 % документов, приготовление огнетушащего материала непосредственно перед использованием (группа 5/...) – в 3,9 % документов. Химический состав огнетушащего материала относится к другим группам, о чем будет изложено далее.

Таблица 4

**Структура патентных документов по подклассу А62С МПК в мире, доля национальных патентных ведомств и заявителей из некоторых стран (%)**

Раздел подкласса А62С МПК	БД Worldwide	Страна			
		Китай	США	Германия	Россия
Предотвращение пожаров, огнеуловители	11,9	13,8 (4,0)	12,9 (11,5)	6,8 (11,9)	5,1 (2,3)
Предотвращение или тушение пожаров на особых объектах или местностях	18,2	29,1 (4,9)	9,9 (11,8)	5,9 (9,6)	6,6 (3,0)
Приготовление огнетушащего материала	3,9	24,0 (4,3)	20,0 (23,2)	2,5 (5,4)	5,2 (2,2)
Первичные средства пожаротушения	13,0	30,7 (6,4)	17,3 (13,3)	3,1 (4,4)	4,7 (1,3)
Мобильные средства пожаротушения	6,0	54,8 (9,5)	7,3 (6,9)	2,4 (3,0)	6,8 (1,6)
Установки пожаротушения	16,5	22,0 (5,1)	10,9 (14,9)	3,6 (5,7)	5,1 (1,2)
Пожарное оборудование	15,3	37,8 (7,0)	12,7 (12,0)	3,3 (4,4)	5,3 (3,8)
Пожарная автоматика и сигнализация	15,2	39,2 (6,0)	9,5 (14,4)	2,3 (3,7)	3,7 (1,3)
Всего	100,0	29,6 (5,7)	10,5 (13,0)	3,3 (6,3)	4,8 (2,3)

Первичные средства пожаротушения, переносные и передвижные огнетушители (группы 8/..., 11/00, 13/..., 15/00, 17/00, 19/00 и 25/00) соотносились с 13 % патентных документов подкласса (см. табл. 3), мобильные средства пожаротушения (группы 27/00 и 29/00) – с 6 %. Публикации на пожарные автомобили составили 97 % от общего количества патентных документов по мобильным средствам пожаротушения, пожарные суда – 3 %.

Установки пожаротушения – совокупность стационарных технических средств тушения пожара путем выпуска огнетушащего вещества (группа 35/00) были обнаружены в 16,5 % патентных документах подкласса А62 МПК, пожарное оборудование – специальные технические средства, предназначенные для комплектации пожарных машин, систем противопожарного водоснабжения, средств специальной связи, управления и иных средств предупреждения и тушения пожаров, для обучения

и тренировки пожарных, а также средства технического обслуживания, ремонта, эксплуатации и испытания этого оборудования (группы 8/..., 31/00, 33/00 и 39/00) – в 15,3 % документах (см. табл. 4).

Способы и устройства пожарной автоматики и сигнализации (группа 37/00), в том числе снабженные чувствительными термoeлементами и автономными разбрызгивателями, соотносились с 15,2 % патентными документами в мире по подклассу А62 МПК (см. табл. 4).

Среди документов подкласса А62D МПК (табл. 5) самыми представительными были способы по обезвреживанию или уменьшению вредности химических отравляющих веществ путем изменения их химического состава (группа 3/...) – 69,1 % от общего количества использованных рубрик и способы создания огнетушащих составов с использованием химических веществ (группа 1/...) – 24,3 %.

Таблица 5

**Структура патентных документов по подклассу А62D МПК в мире, доля национальных патентных ведомств и заявителей из некоторых стран (%)**

Раздел подкласса А62D МПК	БД Worldwide	Страна			
		Китай	США	Германия	Россия
Химический состав огнетушащих материалов	24,3	21,7 (8,5)	11,3 (22,0)	2,2 (5,3)	7,4 (4,8)
Способ обезвреживания химических веществ	69,1	25,5 (5,9)	15,5 (16,3)	2,3 (2,9)	2,5 (1,7)
Материалы для защитных укрытий или одежды	5,1	8,0 (3,1)	15,6 (24,9)	10,2 (22,0)	3,6 (1,8)
Состав материалов для дыхательных аппаратов	0,3	36,4 (22,7)	18,2 (9,1)	22,7 (13,6)	4,5 (0,0)
Состав химических веществ в респираторах	1,2	14,5 (6,4)	15,5 (16,4)	18,2 (19,1)	20,9 (17,3)
Всего	100,0	23,6 (4,7)	14,5 (18,1)	3,0 (6,4)	4,0 (2,6)

Состав материалов для защитных укрытий или одежды, предохраняющих от воздействия химических отравляющих веществ (группа 5/00), соотносился с 5,1% обнаруженных патентных документов, для прозрачных частей противогазов,

респираторов, кислородных мешков и шлемов (группа 7/...) – с 0,3 %, состав химических веществ, используемых в дыхательных аппаратах (группа 9/00), – с 1,2 % документов (см. табл. 5).

В структуре общего массива патентных

документов по классу А62 МПК в мире наибольший вклад (рис. 7) имели сведения по дыхательным аппаратам и респираторам (25,1 %), по устройствам для проведения спасательных работ

(9,8 %), по предотвращению или тушению пожаров на особых объектах или местностях (8,1 %), защитной одежде, спасательным ремням и поясам безопасности (7,9 %).



Рис. 7. Структура массива патентных документов в мире по классу А62 МПК (2005–2014 гг.)

Как и следовало ожидать, самый большой вклад в структуре патентных документов мира по рубрикам класса А62 МПК имели заявители из США (см. табл. 3–5). Выявлены также некоторые региональные особенности патентования. Например, у заявителей из Китая больше всего было зарегистрированных патентных документов по устройствам при проведении спасательных работ (см. табл. 3) и пожарным автомобилям (см. табл. 4), у заявителей из России отмечается низкая изобретательская активность по дыхательным аппаратам и респираторам (см. табл. 3). В Китае с большой территорией страны и выраженным разнообразием климато-географических условий, развитой сетью «опасных» производств имеется недостаточный уровень патентных документов по предотвращению или тушению пожаров на особых объектах или местностях (см. табл. 4) и т.д.

#### Заключение

Поиск в базе данных [www.espacenet.com](http://www.espacenet.com) (опция Worldwide) позволил найти 67 106 откликов на патентно-ассоциированные документы, соотнесенные с классом А62 МПК в 2005–2014 гг. Ежегодно регистрировались по  $(6700 \pm 300)$  патентных документов. Выявлена динамика относительной стабильности патентной активности в мире по подклассу А62В «Способы и устройства для спасения жизни», увеличения – по подклассу А62С «Противопожарная техника» и

незначительного уменьшения – по подклассу А62D «Химические средства тушения пожаров ...». В структуре класса документов по подклассам было 45,1, 42 и 12,9 % соответственно.

Наибольшая патентная активность по классу А62 МПК наблюдалась в Китае (1-е место) и США (2-е место). Доля выданных документов национальными ведомствами стран составила 29,7 и 14,1 % соответственно, доля заявителей – 6,8 и 15,3 % в мире. Массив документов Роспатента составил 4,4 %, заявителей из России – 1,9 %. Выявлена динамика увеличения патентно-ассоциированных документов России, объем которых занимает 6-е место в мире.

В структуре общего массива патентных документов по классу А62 МПК наибольший вклад имели способы и устройства по дыхательным аппаратам и респираторам (25,1 %), по проведению спасательных работ (9,8 %), по предотвращению или тушению пожаров на особых объектах или местностях (8,1 %), защитной одежде, спасательным ремням и поясам безопасности (7,9 %).

Российский сегмент Интернет-сервиса [esp@cenet.ru](http://esp@cenet.ru) Роспатента ([www.espacenet.com](http://www.espacenet.com)) в настоящее время имеет русскоязычный интерфейс и включает свыше 75 млн документов патентной информации из 90 патентных ведомств мира, что открывает большие возможности научным работникам и специалистам по проведению патентного поиска изобретений и полезных моделей.

### Библиография

1. Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации изобретения и выдаче патента на изобретение, его дубликата: утв. приказом Министерства экономического развития России от 25.05.2016 г. № 315. – URL: <http://www.rupto.ru/search/> (дата обращения 17.09.2017 г.).
2. Бобровников Г.Н., Амосов С.А. Проведение информационных исследований при оценке и прогнозировании технического уровня. – М.: Акад. нар. хоз-ва, 1984. – 101 с.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая): Федер. закон от 18.12.2006 г. № 230-ФЗ (ред. от 06.04.2015 г. № 82-ФЗ) // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 25.12.2006. № 52, ч. 1, ст. 5496.
4. Евдокимов В.И., Горячкина Т.Г. Методические рекомендации авторам инновационных разработок по оценке функционального состояния человека-оператора. – М.; Воронеж: Истоки, 2005. – 131 с.
5. Международная патентная классификация: базовый уровень, 9-я ред.: в 5 т. – М., 2009. – Т. 5: Руководство к МПК. – 54 с.
6. Скорняков Э.П., Горбунова М.Э. Патентные исследования на основе баз данных, представленных в Интернете. – М.: Патент, 2014. – 160 с.
7. Яковец Ю.В., Кузык Б.Н., Кулиш В.И. Прогноз инновационного развития России на период до 2050 года с учетом мировых тенденций // Инновации. – 2005. – № 1. – С. 44–53; № 2. – С. 19–28.

### References

1. Administrativnyj reglament predostavleniya Federal'noj sluzhboj po intellektual'noj sobstvennosti gosudarstvennoj usluge po gosudarstvennoj registracii izobreteniya i vydache patenta na izobretenie, ego dublikata: utv. prikazom Ministerstva ehkonomicheskogo razvitiya Rossii ot 25.05.2016 g. № 315. – URL: <http://www.rupto.ru/search/> (data obrashcheniya 17.09.2017 g.).
2. Bobrovnikov G.N., Amosov S.A. Provedenie informacionnyh issledovanij pri ocenke i prognozirovanii tekhnicheskogo urovnya. – M.: Akad. nar. hoz-va, 1984. – 101 s.
3. Grazhdanskij kodeks Rossijskoj Federacii (chast' chetvertaya): Feder. zakon ot 18.12.2006 g. № 230-FZ (red. ot 06.04.2015 g. № 82-FZ) // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. – 25.12.2006. № 52, ch. 1, st. 5496.
4. Evdokimov V.I., Goryachkina T.G. Metodicheskie rekomendacii avtoram innovacionnyh razrabotok po ocenke funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora. – M.; Voronezh: Istoki, 2005. – 131 s.
5. Mezhdunarodnaya patentnaya klassifikaciya: bazovyy uroven', 9-ya red.: v 5 t. – M., 2009. – T. 5: Rukovodstvo k MPK. – 54 s.
6. Skorniyakov E.P., Gorbunova M.Eh. Patentnye issledovaniya na osnove baz dannyh, predstavlennyh v Internetе. – M.: Patent, 2014. – 160 s.
7. YAkovec YU.V., Kuzyk B.N., Kulish V.I. Prognoz innovacionnogo razvitiya Rossii na period do 2050 goda s uchetom mirovyh tendencij // Innovacii. – 2005. – № 1. – S. 44–53; № 2. – S. 19–28.

## ANALYSIS OF PATENT-ASSOCIATE DOCUMENTS IN THE WORLD FOR PREVENTION AND ELIMINATION OF EMERGENCY SITUATIONS AND FIRES (2005–2014)

*The main statistical indicators of emergency situations and fires that occurred in Russia in 2005–2014 are presented. Categorization of class A62 Rescue service; fire-prevention means"of International patent classification (IPC) is given. The algorithm of searching for patents for inventions in Russian segment of the Internet service esp@cenet (ru.espacenet.com, Worldwide database), localized on the server of the Federal service for intellectual property (Rospatent) is shown. It is assumed, that the discovered documents will reflect the development of the research branch of knowledge. The search allowed to reveal 67 106 response to patent documents in the world correlated with the IPC A62 class and issued by the patent offices of countries in 2005–2014. Annually (6700 ± 300) patents of documents for inventions were registered in the world. There were 45.1 % patents correleated with the IPC A62B subclass Methods and devices for saving lives," 42 % – with the IPC A62C subclass Fire-prevention equipment," 12,9 % – with the IPC A62D subclass Chemical means of fire extinguishing ...." The greatest patent activity in the IPC class A62 was shown by the applicants from China and the USA. The proportion of the published documents by the national administrations of these countries amounted to 29.7 % and 14.1 % respectively, the share of applicants – 6.8 % and 15.3 % in the world. The reduction of the interest of specialists of these countries in conducting research on the indicated topic is observed. The dynamics of increase of the array of the patent-associated documents in Russia is revealed (4.4 % and 1.9 % respectively). This array accounts for the*



*6th place in the world. The structure and dynamics of patents for inventions by generalized entries of the IPC A62 class in global array and by leading countries are analyzed.*

**Keywords:** *emergency situations, fire, innovation, invention, International Patent Classification, database, the Federal Service for Intellectual Property (Rospatent), the European Patent Office.*

**Евдокимов Владимир Иванович,**

*профессор, д-р мед. наук,*

*профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, экстремальной и радиационной медицины,*

*Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России,*

*Россия, г. Санкт-Петербург,*

*e-mail: 9334616@mail.ru,*

**Evdokimov V.I.,**

*Prof., Dr. Med. Sci.,*

*Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of EMERCOM of Russia, Russia, St. Petersburg.*

**Горячкина Татьяна Георгиевна,**

*канд. техн. наук,*

*руководитель центра ЗАО «ПСО "Система-Галс"»,*

*Россия, г. Москва,*

*e-mail: goriachkina\_t@ifst.ru;*

**Gorjachkina T.G.,**

*PhD Techn. Sci.,*

*Head of Department, ZAO PSO "Systeme-Gals",*

*Russia, Moscow.*

**Эриванцева Татьяна Николаевна,**

*канд. мед. наук,*

*главный государственный патентный эксперт, заведующий отделом Федерального института промышленной собственности Роспатента,*

*Россия, г. Москва,*

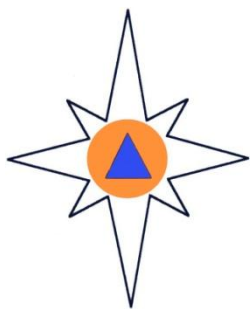
*e-mail: ru-patent@mail.ru;*

**Erivantseva T.N.,**

*PhD Med. Sci.,*

*Head of Department, Federal Institute of Industrial Property, Rospatent,*

*Russia, Moscow.*



## ОХРАНА ТРУДА

УДК 62-762.649, 614.846.5

### МАГНИТОЖИДКОСТНЫЙ АМОРТИЗАТОР ДЛЯ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

*М.А. Колбашов, А.П. Сизов, В.С. Еловский, В.А. Комельков, А.Н. Бочкарев*

*Предложен магнитожидкостный амортизатор для гашения колебаний, который может быть использован как устройство для гашения колебаний различного рода объектов, в частности, двигателя внутреннего сгорания. Устройство содержит корпус, заполненный магнитной жидкостью, шток с магнитной системой, подвижный в осевом направлении и размещенный в корпусе, дросселирующие каналы, соединяющие полости корпуса, постоянные магниты, создающие магнитный поток в дросселирующих каналах.*

**Ключевые слова:** магнитожидкостный амортизатор, магнит, дросселирующий элемент.

Разработанное авторами устройство относится к машиностроению и может быть использовано как магнитожидкостный амортизатор для гашения колебаний различного рода объектов, в частности, двигателя внутреннего сгорания. Магнитожидкостные амортизаторы содержат корпус, в котором установлена магнитная система, создающая магнитный поток, воздействующий на магнитовосприимчивую жидкость, являющуюся диссипативным элементом при её течении и деформации под действием сил, возникающих при колебаниях защищаемого объекта.

Известен также магнитожидкостный амортизатор [2] для гашения колебаний, содержащий корпус из двух жестко закрепленных коаксиальных цилиндрических элементов, внутренний из которых выполнен в виде сплошного цилиндра, с образованием открытой полости и размещенной в ней с возможностью осевого и вращательного перемещения поршня, причем зазоры между корпусом и поршнем заполнены магнитоактивной жидкостью, а цилиндрические элементы корпуса и поршня закреплены на магнитных переходниках, а поршень выполнен в виде набора сопряженных цилиндрических элементов, представляющих собой магнитопроводы, и обмотка возбуждения магнитного поля, расположенная между последними. При этом с торцов во внутреннем цилиндрическом элементе выполнены полости, образованные вращением вокруг его оси криволинейной образующей, один конец, который лежит на торцах цилиндра, а второй - в точках

пересечения оси поперечным сечениям, проходящим через внутренние края внешних цилиндрические элементов при соответствующих положениях поршня.

Недостатком известного устройства является сложность осуществления работы при восприятии статической нагрузки из-за необходимости работы с магнитной жидкостью, имеющей высокий предел текучести, обеспечивающий компенсирование статической нагрузки.

С целью исключения указанного недостатка и усиления демпфирующего эффекта при восприятии демпфером статической нагрузки, обусловленной массой защищаемого объекта при его колебаниях, предлагается в конструкцию магнитожидкостного амортизатора для гашения колебаний ввести элемент, обеспечивающий компенсирования статической нагрузки, обусловленной массой защищаемого объекта с одновременным гашением колебаний объекта.

Указанная цель достигается тем, что магнитожидкостный амортизатор, содержащий корпус, заполненный магнитной жидкостью, шток с магнитной системой, подвижный в осевом направлении, и размещенные в корпусе дросселирующие каналы, соединяющие полости корпуса, постоянные магниты, создающие магнитный поток в дросселирующих каналах.

Целью изобретения является увеличение демпфирующих характеристик магнитожидкостного амортизатора. Указанная цель достигается тем, что в магнитожидкостном

амортизаторе в корпусе, заполненном магнитной жидкостью, шток с магнитной системой, подвижный в осевом направлении и размещенный в корпусе, дросселирующие каналы, соединяющие полости корпуса, постоянные магниты, создающие магнитный поток в дросселирующих каналах, шток с магнитной системой, подвижной в осевом направлении на штоке, выполненном из немагнитного материала, установлен эластичный элемент, воспринимающий статическую нагрузку, постоянным магнитом и в корпусе демпфера установлен другой постоянный магнит противоположной полярности с введенным в него магнитным шунтом.

На рис. 1 представлена схема предлагаемого устройства. В корпусе 1, выполненном из немагнитного материала установлен шток 2 и статический демпфер 3, выполненный из эластичного материала. На штоке 2 установлен постоянный магнит 4, фиксированный на штоке от осевых перемещений с помощью шайбы 5 и гайки 6. В корпусе 1 установлена дросселирующая шайба 7, разделяющая пространства в корпусе 1 на две полости, А и Б, и выполненная из магнитных материалов, между торцевой и поверхностью магнита 4 и шайбы 7 образован неравномерный зазор  $\delta$ . В корпусе 1 установлен постоянный магнит 8, намагниченный в осевом направлении полярности противоположному магниту 4.

Полости А и Б и зазор  $\delta$  заполнены магнитной жидкостью 9. Защищаемый объект 10 устанавливается на шток 2.

Амортизатор работает следующим образом. При установке на штоке 2 объекта, подлежащего защите от колебаний, статическая нагрузка, определенная массой объекта, компенсируется за счет жесткости эластичного элемента 3. При возникновении колебаний защищаемого объекта 10 происходит деформация статического демпфера 3 и возникает колебания внутри эластичного элемента, которые передаются на шток 2, закрепленный жестко в элементе 3. Эти же колебания передаются на магнитную жидкость 10, которая начинает перетекать через зазоры дросселирующей шайбы 7, пронизанные магнитным потоком от совместного взаимодействия постоянных магнитов 4 и 8. В результате перетекания магнитной жидкости через отверстия, образованные в дросселирующей шайбе,

происходит диссипация энергии, выделяющейся при колебаниях объекта 10.

Диссипация энергии при колебаниях объекта защиты способствует также изменению формы распределения магнитного потока, созданного совместным действием магнитов 4 и 8, имеющих встречную полярность. Намагничивание магнитов 4 и 8 встречной полярности способствует изменению жесткости статического демпфера 3, который также становится энергопоглощающим за счет изменения длины молекул вещества, образующего эластичный материал статического демпфера. Осевое перемещение штока 2 не ограничивается жесткостью связью дросселирующей шайбы 7 и штока 2 путем создания торцевого зазора  $\delta$ , между постоянным магнитом 4 и дросселирующей шайбой 7 и этот зазор выполнен неравномерно для увеличения перепада давления, действующего на его магнитную жидкость при ее перетекании через отверстия в дросселирующей шайбе в плоскости, перпендикулярной оси.

Таким образом, использование предлагаемого устройства обеспечивает увеличение диапазона изменения силовой характеристики магнитожидкостного амортизатора за счет увеличения максимальной напряженности магнитного поля в областях с протекающей магнитной жидкостью и повышение эффективности гашения колебаний за счет перпендикулярной ориентации линий магнитного поля и направления течения магнитной жидкости.

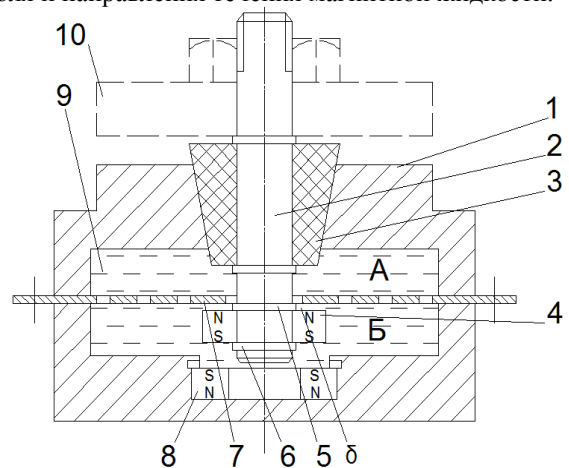


Рис. Магнитожидкостный амортизатор



### **Библиография**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.
2. Топоров А.В. Разработка комбинированных магнитожидкостных уплотнений и исследование их трибологических характеристик: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2004. - 18 с.
3. Патент на изобретение № 2582718 «Комбинированное уплотнение вала» /Сизов А.П., Еловский В.С., Колбашов М.А. и др. Оpubl. 2016. Бюл. № 6.А.П., Еловский В.С., Колбашов М.А. и др. Оpubl. 2016. Бюл. № 6.
4. Колбашов М.А., Еловский В.С., Сизов А.П., Комельков В.А. Комбинированное уплотнение вала // Сб. статей VII Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием "Пожарная безопасность: проблемы и перспективы". - 2016. - С. 41 -44.

### **References**

1. *Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Federal'nyj zakon RF ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ.*
2. *Toporov A.V. Razrabotka kombinirovannyh magnitozhidkostnyh uplotnenij i issledovanie ih tribologicheskikh harakteristik: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Ivanovo, 2004. - 18 s.*
3. *Patent na izobretenie № 2582718 «Kombinirovanное uplotnenie vala» /Sizov A.P., Elovskij V.S., Kolbashov M.A. i dr. Opubl. 2016. Byul. № 6.A.P., Elovskij V.S., Kolbashov M.A. i dr. Opubl. 2016. Byul. № 6.*
4. *Kolbashov M.A., Elovskij V.S., Sizov A.P., Komel'kov V.A. Kombinirovanное uplotnenie vala // Sb. statej VII Vseross. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem "Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy". - 2016. - S. 41 -44.*

## **MAGNETIC-LIQUID AMORTIZOR FOR SOLVING THE OSCILLATIONS**

*A magneto-liquid shock absorber is proposed for damping vibrations, which can be used as a device for damping vibrations of various kinds of objects, in particular an internal combustion engine. The device contains a body filled with a magnetic fluid, a rod with a magnetic system movable in the axial direction and located in the body of the drozing channels connecting the body cavities, permanent magnets creating a magnetic flux in the throttling channels.*

**Key words:** *Magneto-liquid shock absorber, magnet, throttling element.*

### **Колбашов Михаил Александрович,**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение»),  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Россия, г. Иваново,  
89303450683, kolbashov@mail.ru,*

### **Kolbashov M.A.,**

*candidate of technical sciences,  
senior lecturer of the department of operation of fire technics, communication facilities and small mechanization (in the educational-scientific complex «Fire fighting»)  
Ivanovo Fire Rescue Academy of The State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Ivanovo.*

### **Сизов Александр Павлович,**

*доктор технических наук, профессор,  
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
профессор пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК  
«Государственный надзор»),  
Россия, г. Иваново,  
89605076117, kafppv@mail.ru;*

### **Sizov A.P.,**

*doctor of technical sciences, senior researcher,  
Ivanovo Fire Rescue Academy of The State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
professor of the department of fire safety in protective objects (in the educational-scientific complex «State supervision»),  
Russia, Ivanovo.*

### **Еловский Василий Сергеевич,**

*старший преподаватель пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор»),*

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

*89050597764, [ivingps@yandex.ru](mailto:ivingps@yandex.ru);*

***Elovskiy V.S.,***

*senior lector of the department of fire safety in protective objects (in the educational-scientific complex «State supervision»),*

*Ivanovo Fire Rescue Academy of The State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Ivanovo*

***Комельков Вячеслав Алексеевич,***

*кандидат технических наук,*

*начальник кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор»),*

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

*89203414141, [kotelkov@rambler.ru](mailto:kotelkov@rambler.ru)*

***Kotelkov V.A.,***

*candidate of technical sciences*

*Ivanovo Fire Rescue Academy of The State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,*

*head of the department of fire safety in protective objects (in the educational-scientific complex «State supervision»),*

*Russia, Ivanovo.*

***Бочкарев Артем Николаевич,***

*преподаватель кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение»),*

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

*89158246231, [artem\\_bochkarev\\_82@bk.ru](mailto:artem_bochkarev_82@bk.ru)*

***Bochkarev A.N.,***

*lecturer of the department of operation of fire technics, communication facilities and small mechanization (in the educational-scientific complex «Fire fighting»)*

*Ivanovo Fire Rescue Academy of The State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Ivanovo.*

## ОЦЕНКА ДИСПЕРСНОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЫЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТЛИВОК НА УЧАСТКАХ ДРОБЕСТРУЙНЫХ АППАРАТОВ И ВЫБИВНЫХ РЕШЕТОК

*В.Я. Манохин, Е.И. Головина, И.А. Иванова*

*Предметом исследования в работе являются опасные и вредные факторы литейного производства, к которым относится высокое содержание вредных веществ, выделяющихся на различных этапах технологического процесса. Цель работы заключается в оценке дисперсного и элементного состава пыли промышленного производства. Результаты работы определяют гигиеническое состояние рабочей зоны литейного производства. Использовался метод дисперсионного (гранулометрического) анализа, в основе которого лежит зависимость между размером (массой) и скоростью движения тела в вязкой среде (газе или жидкости) под действием гравитационных или центробежных сил. Дисперсный состав пыли определяет гигиеническое состояние рабочей зоны литейного производства, по мнению специалистов, наличие в воздухе пыли размером менее 10 мкм увеличивает опасность получения профзаболеваний, таких как пневмокониоз (силикоз), бронхит, дерматит, конъюнктивит. Представлены данные рентгеноспектрального микроанализа по элементному составу пыли.*

**Ключевые слова:** *рабочая зона, концентрация, пыль, дисперсный (гранулометрический) анализ, литейное производство, элементный состав пыли, рентгеноспектральный микроанализ.*

В рабочей зоне литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах содержатся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами железа и марганца, пары углеводородов. Состояние воздушной среды литейного производства, как правило, не соответствует требованиям к санитарно-гигиеническим нормам. Это определяется сложностью производственных процессов в целом [1].

Вредные вещества образуются в процессе плавки металла. Образование загрязняющих веществ, химический состав пыли и отходящих газов при этом различен и зависит от состава металлозавалки и степени ее загрязнения, а также от технологии очистки литья. Особо вредные вещества выделяются при плавке сплавов цветных металлов: пары цинка, кадмия, свинца, бериллия, хлор и хлориды, водорастворимые фториды [3].

Актуальностью исследования является изучение промышленной безопасности литейного производства в связи с тем, что процессы литья сопровождаются выделением значительного количества вредных газов и пыли [2].

Задачей данной работы является оценка дисперсного и элементного состава пыли, определяющего микроклимат рабочей зоны литейного цеха на участках дробеструйных аппаратов и выбивных решеток.

Экологическая безопасность определяется микроклиматом в зоне дробеструйной установки и выбивных решеток. Технологический процесс на участках выбивных решеток сопровождается выделением значительного количества пылевых

частиц [7]. В соответствии с этим во всех случаях литейного производства должна устраиваться, кроме общеобменной вентиляции цеха, местная обеспыливающая вентиляция. На участке выбивных решеток на 1 м<sup>2</sup> площади выделяется до 45-60 кг/ч пыли, 5-6 кг/ч оксида углерода, до 3 кг/ч аммиака. Большим количеством выделения пыли сопровождаются процессы очистки и обрубки литья. Пескоструйные и дробеструйные работы сопровождаются интенсивным выделением пыли с медианным размером 20 – 60 мкм. Содержание пыли в рабочей зоне, отводимой от камер и барабанов, составляет 2 – 15 мг/м<sup>3</sup> [9].

Содержание пыли зависит главным образом от характера литейного производства и при литье в сырые формы в несколько раз меньше, чем при литье в сухие формы. Кроме того, при выбивке горячих отливок количество выделяемой в воздушную среду пыли значительно больше, чем при выбивке холодных отливок. Экспериментальные данные показывают, что при обычном удельном воздухообмене в 20000 – 25000 м<sup>3</sup>/ч не удастся достигнуть средней запыленности ниже 10 мг/м<sup>3</sup>, если выбиваются массивные отливки, залитые «по-сырому» [6].

Увеличение выброса загрязняющих веществ в рабочую зону является относительно кратковременным, так как обычно продолжительность технологического процесса составляет не более 1,5 – 2 ч в смену. Поэтому при устройстве общеобменной вентиляции приходится ограничиваться приведенной выше нормой в 25000 м<sup>3</sup>/ч, рассчитывая на непрерывное действие вентиляции в течение всей смены. При

производстве отливок относительно небольшой массы (несколько десятков килограмм) производительность вентиляции значительно ниже 1500-5000 м<sup>3</sup>/ч [8].

Дробеструйные аппараты основаны на использовании в производстве кинетической энергии металлических частиц (песка, дроби), выбрасываемых с большой скоростью из сопла дробеструйного аппарата струей сжатого воздуха. Дробеструйные установки, как правило, состоят из следующих узлов: струйного аппарата; рабочей камеры; транспортного механизма, подающего отливку в рабочую зону; системы возврата отработанной дроби или песка для повторного использования; системы очистки и сепарации дроби [3].

В связи с тем что условия и характер труда в зависимости от вредных и опасных факторов на

рабочих местах определяются для установления приоритетности в проведении оздоровительных мероприятий [4] и в целях улучшения условий труда при этом особенно важно не допустить проникновения мелкодисперсной пыли в зону дыхания рабочих, занятых у выбивной решетки и дробеструйных камер.

В работе использовались два метода анализа пыли: метод дисперсионного анализа и рентгеноспектральный микроанализ.

Определение дисперсного состава предоставленной пробы порошка производилось методом лазерной дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISLETTE 22» (рис. 1) с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control, в соответствии с требованиями ISO 13320-2009.

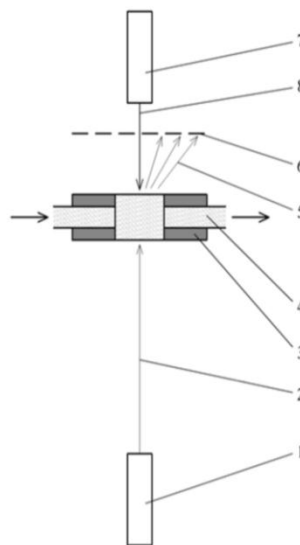


Рис. 1. Оптическая часть лазерного анализатора частиц Analysette-22 NanoTec:

1 – передний лазер; 2 – луч переднего лазера; 3 – измерительная ячейка; 4 – дисперсная среда, содержащая образец; 5 – рассеянное образцом лазерное излучение; 6 – детектор; 7 – задний лазер; 8 – луч заднего лазера

Для исследования частиц в анализаторе используется принцип дифракции лазерного излучения на дисперсных образцах. В работе использовалась модель Фраунгофера. Данная модель используется только для образцов с

частицами крупнее 0,1 мкм (100 нм).

По результатам проведенного анализа определен гранулометрический состав представленных проб. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Гранулометрический состав пробы на участках дробеструйных аппаратов, %-ое содержание частиц определенного размера**

Выделенные фракции, %	Размер частиц, мкм	Выделенные фракции, %	Размер частиц, мкм	Выделенные фракции, %	Размер частиц, мкм
5.0%	<= 19.285 мкм	10.0%	<=26.295 мкм	15.0%	<=30.679 мкм
20.0%	<=34.802 мкм	25.0%	<=38.617 мкм	30.0%	<=42.615 мкм
35.0%	<=46.354 мкм	40.0%	<=50.105 мкм	45.0%	<=53.895 мкм
50.0%	<=57.549 мкм	55.0%	<=61.440 мкм	60.0%	<=65.570 мкм
65.0%	<=70.497 мкм	70.0%	<=75.998 мкм	75.0%	<=82.355 мкм
80.0%	<=89.220 мкм	85.0%	<=97.614 мкм	90.0%	<=115.049 мкм
95.0%	<=162.398 мкм	99.0%	<=189.947 мкм		

В таблице 1 фиксирован размер частиц на участках дробеструйных аппаратов, в результате получено 85 % пробы меньше 100 мкм, 15 % составляют тяжелые частицы размером более 100 мкм. Частицы такого размера являются опасными для здоровья человека, так как вызывают

пневмокониозы, а при наличии пленки SiO<sub>2</sub> - силикозы.

Отбор пыли в выбивных решетках показывает значительное количество мелкодисперсной пыли, не осевшей в пылеуловителе [7,8].

Таблица 2

**Гранулометрический состав пробы на участках выбивных решеток, % -ое содержание частиц определенного размера**

Место выделения пыли	Весовое процентное содержание фракций со средним диаметром частиц, мкм						
	До 5	5-10	>10-20	>20-40	>40-60	>60-100	Более 100
Выбивные решетки	6,2	8,3	30,0	18,2	11,1	12,0	14,2

Низкая эффективность сухого способа пылеулавливания требует докомплектации существующих систем пылеулавливания оборудованием для улавливания пыли мокрым способом, например, скруббером Вентури.

На следующем этапе эксперимента производилось уточнение дисперсного состава пыли рентгеноспектральным микроанализом,

который заключается в определении скорости осаждения частиц суспензии под действием силы тяжести [10]. В таблице 3, 4 представлен элементный состав пыли рентгеноспектрального анализа, уловленной от участков дробеструйной обработки литья и выбивных решеток, полученный на дифрактометре Радиян ДР-02 с функцией рентгенофлуоресцентного анализа [5].

Таблица 3

**Данные рентгеноспектрального анализа образца на оборудовании «Bruker S8 Tiger»**

Имя образца	Na (%)	Al (%)	Si (%)	S (%)	Cl (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (%)	Zr (%)	Mo (%)	Ce (%)
Пыль от дробеструйных установок	0.141	21.295	27.94	0.04	0.056	0.183	0.143	0.095	0.511	0.712	48.535	0.139	0.05	0.014	0.022	0.014	0.072	0.038

Таблица 4

**Элементный состав пыли от выбивных решеток**

Элемент	Весовой, %	Атомный, %
O K	33,29	55,42
Na K	1,41	1,63
Mg K	0,45	0,49
Al K	15,54	15,34
Si K	4,00	3,80
S K	4,43	3,68
Ca K	0,86	0,57
Ti K	0,66	0,37
Cr K	0,43	0,22
Mn K	0,56	0,27
Fe K	37,16	17,72
Zn K	1,20	0,49

Рентгеноспектральный анализ показал более точное процентное соотношение элементов в образце и преобладание фазы железа (Fe). Остальные элементы имеют малое процентное значение.

Выводы.

1. Изучение структуры пыли, образующейся на дробеструйном участке в процессе дисперсного (гранулометрического) анализа, показало: 85 % выделяемой пыли имеет размер фракций менее 100 мкм, т.е. относится к средней и тонкой пыли.

2. Анализ данных эксперимента на участках от выбивных решеток показывает значительное наличие частиц диаметром от 25-200 мкм. На участке выбивных решеток количество «легочной» (мелкодисперсной) пыли составляет 44,5%.

3. Результаты анализа показывают, что в литейных цехах имеет место наличие дисперсной пыли менее 10 мкм, при этом на

дробеструйном участке в пыли присутствует 78% железа (Fe). Также анализ концентрации пыли в рабочей зоне оператора выявил значительные превышения ПДК рабочей зоны.

4. В выбросах литейных цехов, кроме пыли, присутствуют вредные газы: окислы серы (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), Окислы азота (NO<sub>2</sub>, NO) Окислы углерода CO и CO<sub>2</sub>, Фенол (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH), Формальдегид (HCHO), Бенз(а)пирен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>).

### Библиография

1. Азаров В.Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий: автореф. дис. д-ра техн. наук / В.Н. Азаров. – Ростов-на-Дону, 2004. – 47 с.
2. Белов С.В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
3. Болдин А.Н. Литейное производство с точки зрения экологии / А.Н. Болдин // Литейное производство. – 2005. - № 3. - С. 33-34.
4. Головина Е.И. Опасные и вредные факторы литейного производства и их влияние на состояние атмосферы в рабочей зоне / Вестник технологического университета / – 2016. – Т.19, № 23 – С. 126–131.
5. Головина Е.И., Иванова И.А., Исков С.А. Оценка рентгенофазового анализа пыли от дробеструйных установок литейного производства // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т.9, № 2. выпуск 2 (39).
6. Головина Е.И., Иванова И.А., Манохин М.В. Защита рабочей зоны литейных цехов машиностроительного производства Вестник Донского государственного технического университета. 2017. - Т. 17. № 2 (89). - С. 141-148.
7. Иванова И.А. Определение коэффициента экологической опасности литейного производства / И.А.Иванова // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №3 (46). – С. 406–409.
8. Иванова И.А. Оценка дисперсного состава пыли участка черного литья / И.А. Иванова, В.Я. Манохин // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10, №2 (45). – С. 200–204.
9. Иванова И.А., Мурзинов В.Л., Манохин В.Я. Модель идентификации процесса запыленности воздуха рабочей зоны в литейном производстве // Научный журнал КубГАУ. – №74(10) – 2011.
10. Мурзинов В.Л., Манохин В.Я., Головина Е.И. Построение эмпирической зависимости гранулометрического состава пыли литейного производства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2017. - № 130. - С. 155-172.

### References

1. Azarov V.N. Kompleksnaya ocenka pylevoj obstanovki i razrabotka mer po snizheniyu zapylennosti vozduшной среды промышленных предприятий: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk / V.N. Azarov. – Rostov-na-Donu, 2004. – 47 s.
2. Belov S.V. Ohrana okruzhayushchej sredy / S. V. Belov. – 2-e izd. – M.: Vyssh. shk., 1991. – 319 s.
3. Boldin A.N. Litejnoe proizvodstvo s točki zreniya ehkologii / A.N. Boldin // Litejnoe proizvodstvo. – 2005. - № 3. - S. 33-34.
4. Golovina E.I. Opasnye i vrednye faktory litejnogo proizvodstva i ih vliyanie na sostoyanie atmosfery v rabochej zone / Vestnik tekhnologicheskogo universiteta / – 2016. – T.19, № 23 – S. 126–131.
5. Golovina E.I., Ivanova I.A., Ivkov S.A. Ocenka rentgenofazovogo analiza pyli ot drobestruijnyh ustanovok litejnogo proizvodstva // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2017. – T.9, № 2. vypusk 2 (39).
6. Golovina E.I., Ivanova I.A., Manohin M.V. Zashchita rabochej zony litejnyh cekhov mashinostroitel'nogo proizvodstva Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. - T. 17. № 2 (89). - S. 141-148.
7. Ivanova I.A. Opredelenie koehfficienta ehkologicheskoy opasnosti litejnogo proizvodstva / I.A.Ivanova // Vestnik DGTU. – 2010. – T.10, №3 (46). – S. 406–409.
8. Ivanova I.A. Ocenka dispersnogo sostava pyli uchastka chernogo lit'ya / I.A. Ivanova, V.YA. Manohin // Vestnik DGTU. – 2010. – T.10, №2 (45). – S. 200–204.
9. Ivanova I.A., Murzinov V.L., Manohin V.YA. Model' identifikacii processa zapylennosti vozduha rabochej zony v litejnom proizvodstve // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – №74(10) – 2011.
10. Murzinov V.L., Manohin V.YA., Golovina E.I. Postroenie ehmpiricheskoj zavisimosti granulometricheskogo sostava pyli litejnogo proizvodstva // Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2017. - № 130. - S. 155-172.

## **ESTIMATION OF DISPERSE AND ELEMENT COMPOSITION OF DUST WHEN PROCESSING CASTINGS ON PLANTS OF DROBESTRUCTURAL APPARATUSES AND ELECTRIC GRIDES**

*The subject of research in the work are dangerous and harmful factors of the foundry, which include a high content of harmful substances emitted at various stages of the process. The aim of this work is to evaluate the dispersion and elemental composition of dust in industrial production. The results establish the hygienic state of the working area of the foundry. We used a method of dispersion (particle size) analysis, which is based on the relationship between the size (mass) and velocity of a body in a viscous fluid (gas or liquid) under the action of gravitational or centrifugal forces. Disperse composition of dust determines the hygienic condition of the working area of foundry production, according to experts, the presence in the air of dust smaller than 10  $\mu\text{m}$  increases the danger of getting occupational diseases such as pneumoconiosis (silicosis), bronchitis, dermatitis, conjunctivitis. The data presented x-ray microanalysis of the elemental composition of dust.*

**Keywords:** *work area, concentration, foundry, dust dispersion (particle size) analysis in foundry production, the elemental composition of the dust x-ray spectral microanalysis.*

**Манохин Вячеслав Яковлевич,**  
*д.т.н., профессор,  
профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности,  
Воронежский государственный технический университет,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8 (473)271-30-00,  
e-mail: manohinprof@mail.ru*

**Manohin V.Ya.,**  
*doctor of technical Sciences, Professor,  
Professor, Department of technosphere safety and fire safety,  
Voronezh state technical University,  
Russia, Voronezh.*

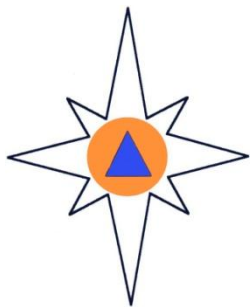
**Головина Елена Ивановна,**  
*старший преподаватель кафедры техносферной и пожарной безопасности,  
заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем и сооружений,  
Воронежский государственный технический университет,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8 (473)271-53-21,  
e-mail: u00111@vgasu.vrn.ru,*

**Golovina E.I.,**  
*senior lecturer in technosphere and fire safety, Deputy Dean on educational work of  
faculty of engineering systems and structures,  
Voronezh state technical University,  
Russia, Voronezh,*

**Иванова Ирина Александровна,**  
*к.т.н., доцент,  
доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности,  
Воронежский государственный технический университет,  
Россия, г. Воронеж,  
телефон: 8 (473)271-30-00,  
e-mail: ivanova-eco@mail.ru*

**Ivanova I.A.,**  
*candidate of technical Sciences, associate Professor,  
associate Professor of technosphere and fire safety,  
Voronezh state technical University,  
Russia, Voronezh.*





## ХИМИЧЕСКАЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ И БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 676.1.054.1

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУДНОВОСПЛАМЕНЯЕМЫХ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

*Д.В. Иванов, Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич*

*В работе рассматриваются проблемы снижения пожарной опасности древесноволокнистых плит, производимых мокрым способом. Основной проблемой при производстве трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит мокрого способа производства является равномерное распределение антипирена в толще формованного древесноволокнистого ковра. Для решения данной проблемы в работе предложено на второй ступени размола использование ножевой гарнитуры с новым рисунком и криволинейными ножами. В результате за счет уменьшения количества режущих кромок статора и ротора, увеличения секундной режущей длины и циклической элементарной длины размольной гарнитуры увеличивается степень помола и улучшается показатель средней длины волокна за счет увеличения внутреннего и наружного фибриллирования удельной поверхности отдельных волокон и увеличения удельной поверхности прессмассы в целом, тем самым улучшаются физико-механические свойства готовой древесноволокнистой плиты.*

**Ключевые слова:** *степень помола, средняя длина волокна, размалывающая гарнитуры, волокнистый полуфабрикат.*

#### **Введение**

Известно, что процесс снижения пожарной опасности древесных материалов, изготавливаемых методами горячего прессования, с одной стороны, требует достижения необходимой степени пожарной опасности материала, с другой, – заданных технико-эксплуатационных характеристик готовой продукции. В этом случае присутствие антипирена на стадии горячего прессования является обязательным, а это оказывает влияние на закономерности развития межволоконного взаимодействия при изготовлении такого материала, как древесноволокнистые плиты.

Согласно [1] снижение пожарной опасности листовых древесных материалов может осуществляться по нескольким направлениям: 1) нанесение вспучивающих покрытий для предотвращения нагревания материала; 2) нанесение фольги и других материалов, преграждающих доступ воздуха и затрудняющих выход летучих продуктов; 3) введение минеральных наполнителей для снижения доли горючих веществ в материале. Выбор способа определяется структурой материала. К средствам,

снижающим пожарную опасность, предъявляются требования эффективности, доступности, невысокой стоимости, безвредности, отсутствия отрицательного влияния на процесс изготовления и эксплуатации материала. Выбор конкретного состава или разработка новых рецептур тесно связаны со способом снижения пожарной опасности. Для крупного производства должен быть предложен способ, позволяющий сохранить объем выпускаемой продукции и использовать стандартное оборудование, при этом производство должно отвечать требованиям безопасности и экологичности. В работах Антонова А.В. [2, 3] предложена композиция для производства древесноволокнистых плит мокрым способом с пониженной пожарной опасностью и технологический процесс производства таких плит. Антонов А.В. в работе [2], решая задачу поиска оптимальных условий проведения процесса размола при производстве трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит мокрым способом, определяет величину массовой доли вспученного вермикулита в древесноволокнистой композиции в

размере 30% к а.с.в., варьируя только технологическими параметрами процесса размола.

Известно, что геометрия гарнитуры оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели работы мельниц и качество размола древесноволокнистой массы [4, 5], что в свою очередь сказывается на качестве готовой продукции. В настоящее время разработано большое количество различных типов гарнитур, отличающихся конфигурацией рисунка рабочей поверхности. Определяющими конфигурацию рисунка рабочей поверхности размалывающей гарнитуры параметрами являются: толщина ножей, ширина и глубина ножевых канавок, наличие перегородок, угол наклона режущих кромок к радиусу диска, направление их наклона и угол скрещивания [5].

На основании аналитического обзора литературы по теме [1, 2, 6] и результата патентного поиска [7-13] для размола древесноволокнистой массы в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом (вторая ступень размола - рафинатор) с пониженной пожарной опасностью предлагаем шестисегментную гарнитуру с закрытым периферийным выходом, криволинейными ножами и перегородками в межножевых канавках. При размоле волокна собираются слоями на передней кромке ножа размольной гарнитуры, образуя нависающий слой, где они подвергаются действию сил резанья, трения и сжатия. В результате происходит их сплющивание и закручивание, а на поверхности волокна образуется тонкая, способная к связеобразованию волокнистая структура (фибриллирование). Удержание массы в зоне размола осуществляется за счет межножевых перегородок. Это позволяет увеличить производительность размалывающего оборудования, увеличить срок эксплуатации гарнитуры, сократить энергозатраты на размол, улучшить качественные показатели размалываемых древесноволокнистых полуфабрикатов, что обеспечивает улучшение качества готового продукта.

Наиболее предпочтительным для определения влияния основных конструктивных и технологических параметров размольного оборудования на морфологические характеристики древесноволокнистой массы и для обеспечения достоверного математического описания объекта является многофакторный эксперимент, так как он позволяет при переходе к каждому последующему опыту варьировать все или почти все факторы одновременно.

В данной работе для построения математической модели процесса, проверки ее адекватности и для оценки влияния на процесс каждого учитываемого технологического фактора использован регрессионный анализ – метод, который позволяет устанавливать значения факторов и диапазоны их варьирования по своему усмотрению, не нарушая хода технологического

процесса, согласно техническим характеристикам применяемого оборудования, требованиям стандартов к готовой продукции и т.п.

#### Экспериментальная часть

Для подтверждения теоретических выводов был спланирован и проведен активный многофакторный эксперимент. Целью проведения такого эксперимента было определение влияния конструктивных и технологических параметров размола на качественные показатели древесной массы для производства древесноволокнистых плит со сниженной пожарной опасностью.

В качестве управляемых параметров экспериментальных исследований были выбраны:

- износ сегментов  $L/h$ ;
- зазор между дисками  $z$ , мм;
- концентрация древесноволокнистой массы перед рафинатором  $c$ , %;

Контролируемые параметры для многофакторного эксперимента были следующие:

- степень помола массы,  $ДС$ ;
- показатель средней длины волокна,  $l_{cp}$ .

Управляемые параметры, уровни и интервалы их варьирования (таблица 1) были выбраны на основании анализа литературных источников и опубликованных результатов ранее проведенных исследований [2, 14, 15].

Для описания свойств волокнистой массы и оценки ее качества недостаточно одной, пусть даже универсальной характеристики, например, степени помола. В связи с этим в работе рассмотрена и такая характеристика, как показатель средней длины волокна.

**Степень помола** показывает способность древесноволокнистой массы к обезвоживанию и является важнейшим показателем, определяющим поведение древесноволокнистой массы на сетке отливной машины. Степень помола может выражаться в различных единицах, в отечественной промышленности принято выражать в градусах Дефибратор-секунда (ДС). Принцип определения степени помола основан на разной скорости фильтрации воды через слой волокна определенной массы, но разной плотности и структуры. Плотность и структура этого слоя зависит как от размерности волокон, так и от степени разработки (жирности или садкости). В числовом выражении градус помола равен времени (в секундах), которое требуется для обезвоживания помещенной на сетку смеси из 128 грамм абсолютно сухой волокнистой массы и 10 литров воды (концентрация 1,28%).

Показатель средней длины волокна - важная характеристика волокнистой массы. С увеличением длины волокна увеличивается способность к переплетению, тем самым увеличивается прочность готовой древесноволокнистой плиты. Определяют среднюю длину волокна при помощи курвиметра.

Уровни и интервалы варьирования факторов для рафинатора

Наименование фактора	Уровни фактора			Интервал варьирования
	верхний	нижний	основной	
Износ сегментов $L/h$	10	2	6	4
Зазор между дисками $z$ , мм	0,15	0,05	0,1	0,05
Концентрация древесноволокнистой массы $c$ , %	3,5	2,5	3	0,5

Верхний, нижний и основной уровни варьирования фактора  $L/h$  соответствуют 90-, 10-, и 50-% износу сегментов гарнитуры размалывающих машин.

К неконтролируемым факторам эксперимента относятся не указанные выше геометрические и физико-механические характеристики процесса:

- 1) степень помола перед рафинатором – 14 ДС;
- 2) температура массы перед рафинатором  $T_m = 80$  °С;
- 3) кислотность массы перед рафинатором  $pH = 4,9$ ;
- 4) усилие гидроприжима дисков – 4,0 МПа;
- 5) давление в пропарочной камере  $P_k = 0,85$  МПа.

*Методика проведения эксперимента*

В производстве древесноволокнистых плит мокрым способом для оценки качества древесноволокнистой массы используется прибор «Дефибратор-секунда». Перед началом работы проверяется чистота сетки. Далее верхний цилиндр опускается на рамку с сеткой и его положение фиксируется зажимом. Отверстие трубки запираем спускным клапаном нажатием кнопки штока. Вентиль открываем, и вода заполняет сначала сифонную трубку, затем нижний цилиндрический бак и поднимается через сетку в верхний цилиндр. Прибор наполняем водой до уровня выше сетки на 5 мм. Древесноволокнистую массу, содержащую 128 г а. с. в., заливаем в верхний цилиндр, перемешиваем и разбавляем водой до достижения уровня риски. Вновь тщательно перемешиваем массу, открываем спускной клапан и одновременно включаем секундомер. Как только последняя

порция истекающей массы пересечет указатель уровня на сливной трубе, секундомер выключаем. Время истечения воды в секундах выражает степень помола в единицах ДС.

Среднеарифметическая длина волокна,  $l_{cp}$  в данной работе определялась по следующей формуле

$$l_{cp} = \frac{\sum \ell}{n}, \quad (1)$$

где  $\sum \ell$  - суммарная длина волокна, мм;  
 $n$  – число волокон, шт.

Суммарная длина волокон определялась с помощью прибора курвиметра КУ-А.

В результате полученные значения качественных показателей древесноволокнистого полуфабриката явились основанием для качественной оценки результатов эксперимента, построения статистическо-математических уравнений, адекватно описывающих исследуемый процесс, что позволило выполнить объективный анализ влияния технологических и конструктивных параметров гарнитуры на качественные показатели древесноволокнистой массы.

*Результаты эксперимента*

После обработки экспериментальных данных были получены статистическо-математические уравнения, описывающие исследуемый процесс и позволяющие установить количественные зависимости плитообразующих свойств древесноволокнистого полуфабриката, полученного на второй ступени размала. Адекватность уравнений подтверждена критерием Фишера, значимость коэффициентов уравнения определялась по t-критерию Стьюдента.

*Зависимость степени помола ДС от основных конструктивных и технологических параметров рафинатора:*

$$ДС = 24,8 - 2,1 \cdot (L/h) - 57 \cdot z - 5,4 \cdot c - 50 \cdot z^2 - 1,5 \cdot c^2 + 2,9 \cdot ((L/h) \cdot z) + 0,5 \cdot ((L/h) \cdot c) + 12 \cdot (z \cdot c) \quad (2)$$

Анализируя уравнение (2), влияние конструктивных и технологических параметров рафинатора на степень помола древесноволокнистой массы можно характеризовать следующим образом. Наибольшее влияние на степень разработанности массы оказывает варьирование зазора между размалывающими дисками. Вторым по влиянию фактором является концентрация древесной массы.

Для получения более наглядного представления о влиянии исследуемых факторов на степень помола массы по уравнению (2) были

построены графики (рисунки 1 и 2). Как видно на рисунках, графики представляют собой монотонно убывающую функцию с экстремумом вне диапазона варьирования факторов. Графические зависимости на рисунке 1 показывают, каким образом изменяются значения степени помола массы при различных значениях зазора между размалывающими дисками. Наибольших значений величина степени помола древесноволокнистой массы достигает при зазоре  $z = 0,05$  мм. Считается, что при увеличении зазора между размалывающими дисками происходит гидратация

волокон, уменьшается их укорочение, и тем самым происходит процесс фибриллирования. С другой стороны увеличение зазора приводит к уменьшению производительности машин и ухудшению фракционного состава массы, что отрицательно сказывается далее на технологическом процессе и качестве готовой продукции. Предложенный рисунок гарнитуры позволяет производить размол древесноволокнистой массы на небольших зазорах удовлетворительного качества со степенью помола

26 ДС и средней длиной волокна  $l_{cp} = 7,1$  мм (рисунок 3) при 50 %-ом износе сегментов.

Если сравнивать характер графических зависимостей на рисунках 1 и 2, то можно заметить, что увеличение концентрации массы, поступающей в рафинатор, увеличивает величину степени помола волокна при одних и тех же значениях износа сегментов и зазора между дисками с 24 ДС до 25 ДС. Это связано с тем, что по мере роста концентрации массы перед рафинатором увеличивается толщина волокнистой прослойки между ножами размалывающей гарнитуры.

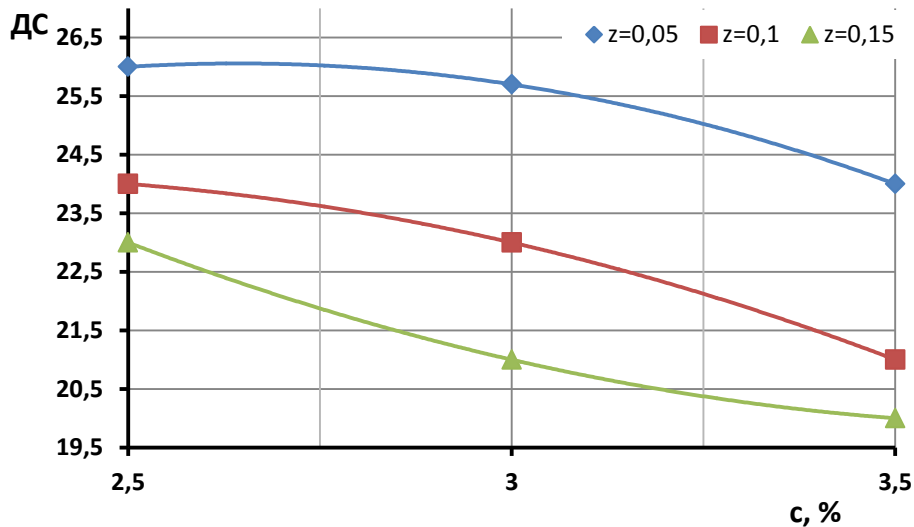


Рис. 1. Зависимость степени помола древесноволокнистой массы от концентрации массы при различных значениях величины зазора  $z$  и степени износа гарнитуры  $L/h = 2$

В этом случае каждому волокну соответствует меньшее удельное давление при размоле и большее взаимное трение волокон, которое способствует расчесыванию и

фибрилляции этих волокон. Таким образом, гораздо меньше волокон подвергается режущему воздействию, что, в свою очередь, «ужирняет» получаемый волокнистый полуфабрикат.

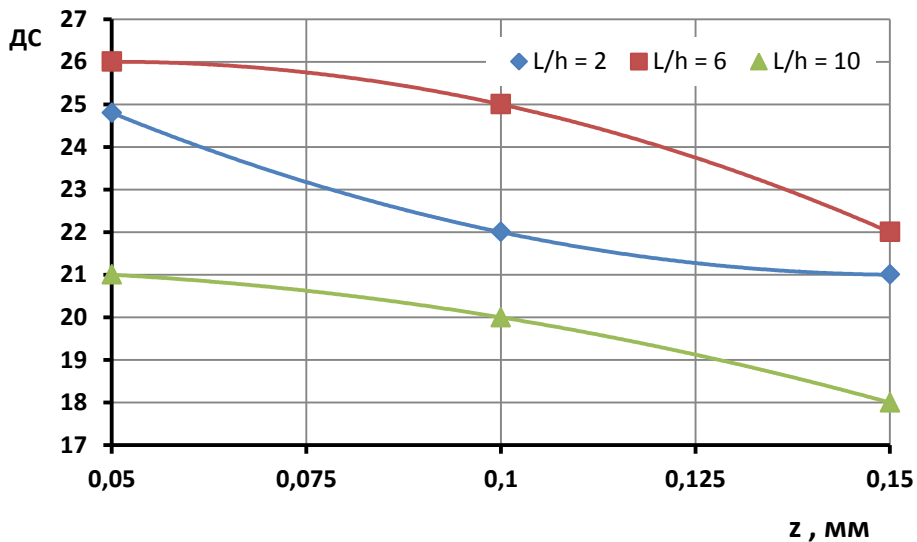


Рис. 2. Зависимость степени помола древесноволокнистой массы от величины зазора  $z$  при различных значениях степени износа гарнитуры  $L/h$  и величине концентрации массы  $с = 3,5$  %

Зависимость показателя средней длины волокна  $l_{cp}$  от основных конструктивных и

технологических параметров рафинатора:

$$l_{cp} = 6,8 + 0,19 \cdot (L/h) + 18,5 \cdot z - 1,2 \cdot c + 27,5 \cdot z^2 + 0,27 \cdot c^2 - 0,3 \cdot ((L/h) \cdot z) - 4,5 \cdot (z \cdot c) \quad (3)$$

Анализ математической зависимости (3) показывает, что наибольшее влияние на параметр средней длины волокна оказывает зазор между размалывающими дисками, второй по оказываемому влиянию – концентрация

древесноволокнистой массы перед рафинатором. Более подробно можно проследить оказываемое влияние при анализе графических зависимостей, построенных по уравнению (3), представленных на рисунках 3 и 4.

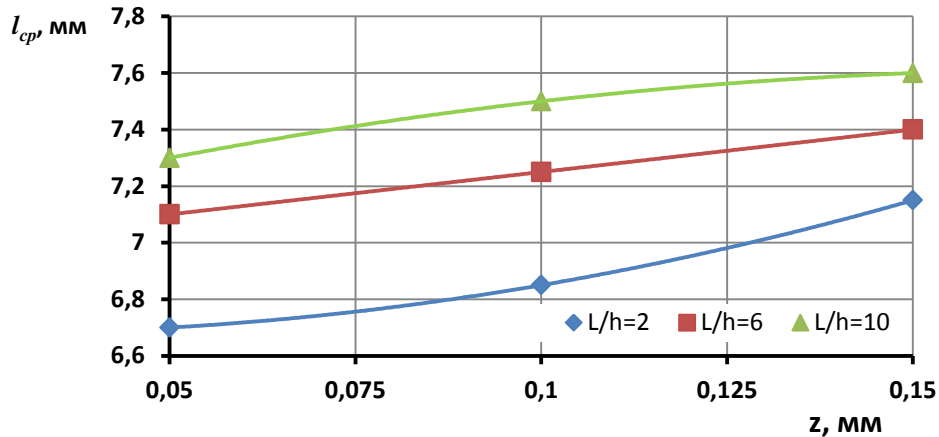


Рис. 3. Зависимость средней длины волокна от зазора z при различных значениях степени износа гарнитуры L/h и концентрации массы c = 3,5 %

Как видно из рисунка 3, наибольшие значения показатель средней длины волокна достигает при z=0,15 мм, c=3,5% и L/h=10. С уменьшением значений данных показателей происходит ухудшение качества древесного полуфабриката. С уменьшением рабочего зазора увеличивается режущее, мнущее, раздавливающее воздействие ножевой гарнитуры, процентное

содержание крупного волокна в общей массе постепенно снижается, происходит улучшение показателя гидратации волокна, уменьшается его укорочение, это, в свою очередь, приводит к ухудшению и фракционного показателя массы. Такой древесный полуфабрикат имеет в своем составе большое количество волокна крупной фракции.

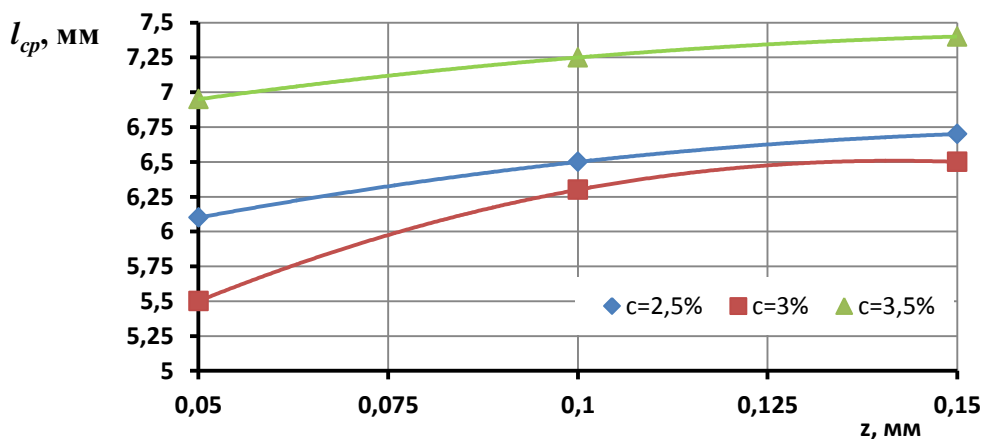


Рис. 4. Зависимость средней длины волокна от зазора z при различных значениях концентрации массы c и значении износа гарнитуры L/h = 6

На наш взгляд, наиболее оптимальные условия для получения древесноволокнистого полуфабриката с длиноволокнистой структурой возникают при зазоре между размалывающими дисками 0,10 мм, концентрации массы 3,5% и износом сегментов L/h=6. При увеличении зазора

до 0,15 мм средняя длина волокна увеличивалась, но не из-за разработанности массы. Скорее, наоборот, в таком полуфабрикате преобладает крупное неразработанное волокно, что приводит к увеличению средней длины волокна в массе при одновременном снижении степени помола.

### Вывод

Таким образом, применение размалывающей гарнитуры фибриллирующего типа для получения древесноволокнистой массы, характеризующейся длинными хорошо разработанными волокнами, позволит вводить в

композицию плиты минеральный компонент, сохраняя физико-механические свойства готовой продукции и снижая её пожарную опасность. Данные выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями.

### Библиография

1. Леонови А.А. Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций / А.А. Леонович. - СПб., 2002. - 59 с.
2. Антонов А.В. Производство древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью: дис. ... канд. техн. наук / Антонов Александр Викторович. - Красноярск, 2013. - 128 с.
3. Пат. RU 2486054 С1, МПК В27N3/12 Композиция для получения огнезащитных древесноволокнистых плит / Петрушева Н.А., Н.Г. Чистова, А.П. Чижов, Ю.Д. Алашкевич, И.А. Финк, А.В. Антонов. № 2011146843/13; заявл. 17.11.2011; опубл. 27.06.2013.
4. Легоцкий С.С. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы / С.С. Легоцкий, В.Н. Гончаров. - М.: Лесн. пром-сть, 1990. - 224 с.
5. Алашкевич Ю.Д. Влияние рисунка гарнитуры на процесс размола волокнистых полуфабрикатов: монография в 2-х частях. Часть I / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, А.А. Набиева. - Красноярск: СибГТУ, 2010. - 168 с.
6. Леонович А.А. Теоретические основы и методы изготовления огнезащитных древесноволокнистых плит: дис. ... докт. техн. наук / А.А. Леонович. - Л., 1979. - 409 с.
7. Пат. RU 2227826 С1, МПК D21D 1/30, B02C 7/13 Размалывающая гарнитура для дисковой мельницы / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, К.Х. Саргсян, А.А. Набиева, В.Н.Щербаков. - №2003122252/12, заявлено 16.07.2003, опубликовано 27.04.2004.
8. Пат. RU 2227825 С1, МПК D21D 1/30, B02C 7/12 Размалывающая гарнитура дисковой мельницы / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, А.И. Невзоров. - №2003122181/12, заявлено 15.07.2003, опубликовано 27.04.2004.
9. Пат. RU 2314379 С1, МПК D21D 1/30, B02C 7/13 Размалывающая гарнитура для дисковой мельницы / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, В.А. Кожухов. - №2006121632/12, заявлено 19.06.2006, опубликовано 10.01.2008.
10. Пат. RU 2307883 С1, МПК D21D1/30, B02C 7/12 Размалывающая гарнитура / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, В.Ф. Харин, А.П. Мухачев. - № 2006110647/12, заявлено 03.04.2006, опубликовано 10.10.2007.
11. Пат. SU № 967555, МПК B02C 7/08 Устройство для измельчения материалов / П.Ф.Кустов. - № 2941258, заявлено 10.06.1980, опубликовано 23.10.1982.
12. Пат. SU 878847, МПК D21D1/30 Размалывающая гарнитура дисковой мельницы / А.Н. Назаренко, Е.Е. Савицкий, И.Н. Халандовский. - №2774735, заявлено 03.05.1979, опубликовано 07.11.1981.
13. Пат. SU 578387, МПК D21D1/30 Размалывающая гарнитура дисковой мельницы / Е.Е. Савицкий, С.С. Легоцкий, Л.Н. Лаптев, А.В.

### References

1. Leonovi A.A. Snizhenie požarnoj opasnosti drevesnyh materialov, izdelij i stroitel'nyh konstrukcij / A.A. Leonovich. - SPb., 2002. - 59 s.
2. Antonov A.V. Proizvodstvo drevesnovoloknistyh plit s ponizhennoj požarnoj opasnost'yu: dis. ... kand. tekhn. nauk / Antonov Aleksandr Viktorovich. - Krasnoyarsk, 2013. - 128 s.
3. Pat. RU 2486054 S1, MPK V27N3/12 Kompoziciya dlya polucheniya ognezashchishchennyh drevesnovoloknistyh plit / Petrusheva N.A., N.G. CHistova, A.P. CHizhov, YU.D. Alashkevich, I.A. Fink, A.V. Antonov. № 2011146843/13; yayavl. 17.11.2011; opubl. 27.06.2013.
4. Legockij S.S. Razmalyvayushchee oborudovanie i podgotovka bumazhnoj massy / S.S. Legockij, V.N. Goncharov. - M.: Lesn. prom-st', 1990. - 224 s.
5. Alashkevich YU.D. Vliyanie risunka garnitury na process razmola voloknistyh polufabrikatov: monografiya v 2-h chastyah. CHast' I / YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, A.A. Nabieva. - Krasnoyarsk: SibGTU, 2010. - 168 s.
6. Leonovich A.A. Teoreticheskie osnovy i metody izgotovleniya ognezashchishchennyh drevesnovoloknistyh plit: dis. ... dokt. tekhn. nauk / A.A. Leonovich. - L., 1979. - 409 s.
7. Pat. RU 2227826 S1, MPK D21D 1/30, B02C 7/13 Razmalyvayushchaya garnitura dlya diskovoj mel'nicy / YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, K.H. Sargsyan, A.A. Nabieva, V.N.SHCHerbakov. - №2003122252/12, yayavleno 16.07.2003, opublikovano 27.04.2004.
8. Pat. RU 2227825 S1, MPK D21D 1/30, B02C 7/12 Razmalyvayushchaya garnitura diskovoj mel'nicy / YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, A.I. Nevzorov. - №2003122181/12, yayavleno 15.07.2003, opublikovano 27.04.2004.
9. Pat. RU 2314379 S1, MPK D21D 1/30, B02C 7/13 Razmalyvayushchaya garnitura dlya diskovoj mel'nicy / YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, V.A. Kozhuhov. - №2006121632/12, yayavleno 19.06.2006, opublikovano 10.01.2008.
10. Pat. RU 2307883 S1, MPK D21D1/30, B02C 7/12 Razmalyvayushchaya garnitura / YU.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, V.F. Harin, A.P. Muxachev. - № 2006110647/12, yayavleno 03.04.2006, opublikovano 10.10.2007.
11. Pat. SU № 967555, MPK B02C 7/08 Ustrojstvo dlya izmel'cheniya materialov / P.F.Kustov. - № 2941258, yayavleno 10.06.1980, opublikovano 23.10.1982.
12. Pat. SU 878847, MPK D21D1/30 Razmalyvayushchaya garnitura diskovoj mel'nicy / A.N. Nazarenko, E.E. Savickij, I.N. Halandovskij. - №2774735, yayavleno 03.05.1979, opublikovano 07.11.1981.
13. Pat. SU 578387, MPK D21D1/30 Razmalyvayushchaya garnitura diskovoj mel'nicy / E.E. Savickij, S.S. Legockij, L.N. Laptev, A.V.

Бышев, В.А. Семеновский. - № 2324920, заявлено 11.02.1976, опубликовано 30.10.1977.

14. Антонов А.В. Физико-механические свойства трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит / А.В. Антонов, Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. - 2016. - № 1. - С. 143-150.

15. Антонов А.В. Поиск оптимальных технологических режимов в производстве трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит / А.В. Антонов, Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич, Н.С. Решетова // Химия растительного сырья. - 2016. - № 4. - С. 151-157.

Byvshev, V.A. Semenovskij. - № 2324920, zayavleno 11.02.1976, opublikovano 30.10.1977.

14. Antonov A.V. Fiziko-mekhanicheskie svoystva trudnovosplamenaemykh drevesnovoloknistyh plit / A.V. Antonov, N.A. Petrusheva, YU.D. Alashkevich // Himiya rastitel'nogo syr'ya. - 2016. - № 1. - S. 143-150.

15. Antonov A.V. Poisk optimal'nyh tekhnologicheskikh rezhimov v proizvodstve trudnovosplamenaemykh drevesnovoloknistyh plit / A.V. Antonov, N.A. Petrusheva, YU.D. Alashkevich, N.S. Reshetova // Himiya rastitel'nogo syr'ya. - 2016. - № 4. - S. 151-157.

## THE RESULTS OF INVESTIGATIONS OF THE PROPERTIES OF FIBROUS MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF FLAME-RESISTANT FIBREBOARD

*The paper considers the problem of reducing the fire hazard of fibreboard manufactured by wet method. The main problem in the production of flame-resistant fiberboards of wet production method is uniform distribution of flame retardant in the thickness of a molded wood-fiber carpet. To solve this problem, proposed in the second stage grinding using knife headset with a new pattern and curved blades. As a result, reducing the number of cutting edges of the stator and rotor, increase second cutting length and the cyclic elementary length of the grinding set is increased the degree of grinding is improved and the average fiber length by increasing the internal and external fibrolitovye specific surface area of the individual fibers and increase in the specific surface of presspass as a whole, thereby improving physical and mechanical properties of the finished fibreboard.*

**Keywords:** *freeness, average fiber length, to grinding headsets, fibrous semi-product*

**Иванов Дмитрий Владимирович,**

*заместитель начальника отдела планирования, организации и координации научно-исследовательской деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Железногорск,*

**Ivanov D.V.,**

*Deputy head of planning, organizing and coordinating research activities, Siberian Fire and Rescue Academy of Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Russia Zheleznogorsk.*

**Петрушева Надежда Александровна,**

*к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»*

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, Филиал СибГУ в г. Лесосибирске, Россия, г. Лесосибирск,*

**Petrusheva N.A.,**

*candidate of technical Sciences, associate Professor, associate Professor of the Department Technologies of logging and wood processing industries*

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, branch in the city of Lesosibirsk, Russia, Lesosibirsk.*

**Алашкевич Юрий Давыдович,**

*д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты промышленных технологий» Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, Россия, г. Красноярск,*

**Alashkevich Yu.D.,**

*doctor of technical science, professor, head of the Department of Machines and Devices of Industrial Technologies Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Russia, Krasnoyarsk.*

## УЧЕТ НЕИЗОТЕРМИЧНОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ СРЕДЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИСОЕДИНЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

*С.А. Сазонова, Е.А. Сушко, С.Д. Николенко*

*Рассмотрена последовательность формирования математической модели установившегося неизотермического течения вязкой среды на основе вариационного принципа виртуальных скоростей для гидравлических систем. Неизотермичность течения вязкой среды учтена с целью повышения точности математических моделей потокораспределения в гидравлических системах. В случае возникновения пожара к системам водоснабжения присоединяют устройства пожаротушения, для которых требуются существенные расходы воды на тушение пожара. Восполнить полную текущую информацию о реальных мощностях гидравлических систем представляется возможным с помощью численной реализации математических моделей потокораспределения. Полученная таким образом информация необходима для принятия решений лицом, принимающим решения при обеспечении требуемых мощностей систем водоснабжения и, соответственно, присоединенных к ней устройств пожаротушения.*

**Ключевые слова:** системы водоснабжения, пожарная безопасность, системы пожаротушения, математические модели, потокораспределение, вариационные принципы механики.

**Введение.** В случае присоединения устройств пожаротушения к гидравлическим системам, к которым относят системы водоснабжения, представляется актуальным вопрос о способности таких систем обеспечить требуемые расходы воды в случае возникновения пожара на объектах. В некоторых случаях места присоединения устройств пожаротушения могут быть заранее определены. Технические характеристики их также известны, из них наиболее важной в рамках данной работы является характеристика по требуемым расходам воды. На практике гидравлические системы претерпевают постоянные изменения по причине присоединения новых потребителей, изменения режимов потребления, введения резервных участков, реконструкции и в силу иных обстоятельств. При этом значения запроектированных параметров систем в местах присоединения устройств пожаротушения также меняются. В рассматриваемой задаче присоединенные устройства пожаротушения следует рассматривать как дополнительные энергоузлы, по аналогии с другими потребителями целевого продукта из гидравлической системы.

В большинстве случаев нагрузка на систему увеличивается при присоединении новых потребителей, часто при этом не проводится необходимая реконструкция системы с целью увеличения ее мощности, что в итоге может

привести к уменьшению объема потребления воды в случае чрезвычайной ситуации, то есть при возникновении пожара. Это в свою очередь может привести к невозможности оперативного тушения очага возгорания, что приведет к осложнению или невозможности своевременной эвакуации людей, а также к человеческим жертвам и существенным экономическим потерям. Усугубить ситуацию, дополнительно понижая напор в гидравлических системах, могут и утечки [1, 2], объемы которых для систем водоснабжения населенных пунктов, по данным статистики, могут принимать весьма существенные значения.

Произвести расчеты по определению для функционирующей системы объемов воды в местах подключения устройств пожаротушения, а также по изменению параметров системы при проведении реконструкции, можно с помощью математических моделей потокораспределения, полученных на основе применения вариационного вычисления при численной реализации моделей. Полученная таким образом информация может быть использована лицом, принимающим решение при управлении функционированием гидравлических систем.

Модели потокораспределения [3] будем формировать на основе применения энергетического эквивалентирования [4] для гидравлических систем. Основные обозначения в моделях будем применять в соответствии с [3]. Модели потокораспределения необходимы для



численной обработки информации, полученной при проведении технической диагностики [5] при управлении функционированием [6], в рамках решения задачи статического оценивания состояния гидравлических систем [7], позволяющей восполнить полную информацию о параметрах функционирующей системы. В рамках рассмотренных задач необходимо учитывать задачи резервирования [8, 9].

**Постановка задачи.** Для того чтобы избежать возможности возникновения значительных погрешностей при моделировании процессов в гидравлических системах за счет расхождений полученных таким образом значений

искомых параметров с практическими результатами при эксплуатации, возникающими в случае неучета переменности температур на участках трубопроводов из-за теплообмена с окружающей средой. В силу вышесказанного рассмотрим последовательность формирования математической модели установившегося неизотермического течения вязкой среды на основе вариационного принципа виртуальных скоростей.

По формуле Дарси-Вейсбаха будем определять при переменной температуре гидравлическое сопротивление  $i$ -го участка трубопроводной системы

$$\Delta P_i = s_i \frac{Q_i^\alpha}{D_i^\beta} \frac{1}{T_{cm}} \int_0^{L_i} T(x) dx = s_i \frac{Q_i^\alpha}{D_i^\beta} \frac{\bar{T}_i}{T_{cm}} L_i, \quad (1)$$

где  $D_i$  - внутренний диаметр;  $L_i$  - длина участков;  $T_{cm}$  - стандартная температура для приведения расхода газа к стандартным условиям;  $T(x)$ ,  $T$  - соответственно, переменная и усредненная по длине трубы температуры среды.

**Формулировка вариационной задачи.** С целью получения аналитического решения для

стационарных гидравлических процессов, имеющих место в исследуемом фрагменте системы, запишем вариационную задачу, в которой будем традиционно пренебрегать силами инерции для установившегося режима течения. Зависимость силы трения от температуры учтем в соответствии с (1). Свободную вариационную задачу запишем в виде

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} P_j(q_j) \delta q_j - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} P_j(\tau) \delta q_j - \sum_{i \in I^z} s_i T_{cm}^{-1} Q_i^\alpha D_i^{-\beta} \bar{T}_i L_i \delta Q_i - \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} \lambda_j (\delta q_j - \sum_{i \in I_j^z} \delta Q_{ij}) - \\ & - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} \lambda_j (\sum_{i \in I_j^z} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^z} \delta Q_{ij} - \delta q_j) - \sum_{j \in J_{\chi}^z} \lambda_j (\sum_{i \in I_j^z} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^z} \delta Q_{ij}) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

На рассмотренном фрагменте системы энергоузлы обозначены  $J_{\pi(f)}^z \cup J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(q)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$ . В расчетной зоне содержатся подмножества  $J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(q)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$  потребителей и  $J_{\pi(f)}^z$  источников.

При определении в формуле (2) величины усредненной температуры  $T$  как переменной величины появляется необходимость учитывать

тепловое взаимодействие потоков при их схождении в узлах с различными температурами. Вариация потоков энергии в исследуемом фрагменте системы для стационарного режима течения с учетом связи в форме узловых уравнений тепловых балансов

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} \bar{h}_j \delta q_j - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} \bar{h}_j \delta q_j - \sum_{i \in I^z} v_i \delta Q_i - \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} (\bar{\mu}_j \delta q_j - \sum_{i \in I_j^z} \bar{\mu}_{ij} \delta Q_{ij}) - \\ & - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} (\sum_{i \in I_j^z} \bar{\mu}_{ij} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^z} \bar{\mu}_{ij} \delta Q_{ij} - \bar{\mu}_j \delta q_j) - \sum_{j \in J_{\chi}^z} (\sum_{i \in I_j^z} \bar{\mu}_{ij} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^z} \bar{\mu}_{ij} \delta Q_{ij}) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $v_i = E_i / Q_i$  - удельные теплотери или теплопритоки участка  $i$  через стенки трубопровода;  $\bar{h}_j, \bar{h}_j$  - для втекающего и вытекающего из исследуемого фрагмента системы через узел  $j$  удельная энтальпия потока;  $\bar{\mu}_j, \bar{\mu}_j$  - соответственно, связанные с притоком или оттоком для энергоузлов системы, неопределенные множители Лагранжа;  $\bar{\mu}_{ij}, \bar{\mu}_{ij}$  - аналогично, но применительно к участкам  $i$ , соответственно, с притоком или оттоком от узла  $j$ .

Вариационная задача (3) структурно аналогична задаче (2), с тем различием, что в ней используются комплексно неопределенные множители. Они отражают значения тепловых балансов потоков, которые втекают или вытекают из узлов с учетом смешения, так как условия материальных балансов уже учтены в (2).

Относительно независимых вариаций  $\delta q_j, \delta Q$  сгруппируем слагаемые (2), (3), в итоге эту задачу преобразуем к виду:

$$\sum_{j \in J_{\pi}^z} \left[ P_j(q_j) - \lambda_j \right] \delta q_j - \sum_{j \in J_{\eta(P)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} (P_j - \lambda_j) \delta q_j - \left( \sum_{i \in I_{\pi}} s_i T_{cm}^{-1} Q_i^{\alpha} D_i^{-\beta} \bar{T}_i L_i + \lambda_{ij} - \lambda_{i,j+1} \right) \delta Q_i = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J_{\pi}^z} (\bar{h}_j - \bar{\mu}_j) \delta q_j - \sum_{j \in J_{\eta(P)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} (\bar{h}_j - \bar{\mu}_j) \delta q_j - \sum_{i \in I_j^z} (v_i + \bar{\mu}_{ij} - \bar{\mu}_{i,j+1}) \delta Q_i = 0, \quad (5)$$

где:  $\lambda_{ij}, \bar{\mu}_{ij}$  - множители Лагранжа для инцидентных участку  $i$  узлов с оттоком;  $\lambda_{i,j+1}, \bar{\mu}_{i,j+1}$  - аналогично для узлов с притоком среды.

**Граничные условия.** Введем граничные условия для инцидентных участку  $i$  узлов  $[j, j+1]$  с целью определения множителей  $\mu$ :

$$T = \begin{cases} T' & \text{при } x=0 & \text{- температура в начальном узле после смешения;} \\ T'' & \text{при } x=L & \text{- температура в конечном узле до смешения;} \\ T & \text{при } 0 < x < L & \text{- текущая температура.} \end{cases}$$

Введем допущение, что в узлах нет энергопотерь при смешении потоков с различной температурой.

участках следует определять из уравнений (4) и (5). Значения множителей Лагранжа приведены в таблице, в которой через  $\hat{T}_j$  обозначена подаваемая в систему от источника  $j$  известная температура среды.

**Значения множителей Лагранжа.** Множители Лагранжа с учетом граничных условий на

Таблица

Для узлов зоны значения множителей Лагранжа

Множитель Лагранжа	$\lambda_j$	$\bar{\mu}_j$	$\bar{\mu}_j$	$\bar{\mu}_{ij}$	$\bar{\mu}_{ij}$
значение	$-P_j$	$-C_p \hat{T}_j$	$-C_p T'_j$	$-C_p T''_{ij}$	$-C_p T'_j$
для множества узлов	$J_{\pi}^z \cup J_{\eta}^z \cup J_{\chi}^z$	$J_{\pi}^z$	$J_{\eta}^z$	$J_{\eta}^z \cup J_{\chi}^z$	$J_{\eta}^z \cup J_{\chi}^z$

**Математическая модель установившегося потокораспределения при неизотермическом течении вязкой среды.** Уравнения, записанные в форме (4) и (5), позволяют при известных множителях Лагранжа сформировать в соответствии с первым законом Кирхгофа математическую модель установившегося

потокораспределения при неизотермическом течении вязкой среды в гидравлических системах. Соответственно в этой модели учтены температурные граничные условия на участке, а также при независимых вариациях расходов выделены линейно-независимые связи:

$$[C_{p \times n}] \times [R_{n(d)}] \times [Q_{n \times 1}] = [M'_{p \times e}] \times [\hat{H}_{e \times 1}], \quad (6)$$

$$[K_{r \times n}] \times [R_{n(d)}] \times [Q_{n \times 1}] = [0_{r \times 1}], \quad (7)$$

$$[A_{m \times n}] \times [Q_{n \times 1}] = [\hat{q}_{m \times 1}], \quad (8)$$

$$[E_{n(d)}] \times \left\{ [B_{n(d)}] \times [\Theta_{n \times 1}] + [T''_{n \times 1}] \right\} = -[\bar{A}'_{n \times m}] \times [T'_{m \times 1}], \quad (9)$$

$$[\bar{A}_{m \times n}] \times [Q_{n(d)}] \times [T''_{n \times 1}] - [\bar{A}_{m \times n}] \times [Q_{n(d)}] \times [T'_{n \times 1}] = [\bar{q}_{m(d)}] \times [T'_{m \times 1}] - [\bar{q}_{m(d)}] \times [\hat{T}_{m \times 1}], \quad (10)$$

где:  $\bar{q}, \hat{q}$  - сток от энергоузла к потребителю или приток от источника;  $k$  - коэффициент теплопередачи между окружающей и рабочей средами;  $\bar{A}, \bar{A}'$  - подматрицы матрицы инцидентий

участков и узлов с притоком или оттоком от узла соответственно;  $R_i = S_i Q_i^{\alpha-1} D_i^{\beta} L_i (\bar{T}_i / T_{cm})$ ,  $B_i = k \pi D_i L_i / (C_p \cdot Q_i)$  - элементы диагональных

матриц;  $T$  - определяемые в соответствии с граничными условиями температуры;  $\hat{T}$  - температура потока от подаваемого источника питания в систему;  $\Theta = \bar{T}_i - T_0$  - средний температурный напор;  $\bar{T}_i$  - средняя температура транспортируемой среды в пределах участка,  $T_0$  - температура окружающей среды.

В уравнении (10) матрицы-столбцы температур смешения  $T'$  находятся в левой части, число  $n$  соответствует числу участков. В правой же

части этого уравнения число  $m$  соответствует числу узлов. Такая форма записи истинна в силу того, что температура смешения в узле считается одинаковой для всех инцидентных ему участков, с помощью которых происходит отток среды от узла.

Задаваемый в энергоузлах и ограничивающих независимые цепи фиксированный узловой потенциал для гидравлических систем определяется из выражения:

$$\hat{H} = \begin{cases} \hat{P} & \text{- системы низкой ступени давления;} \\ (\hat{P})^2 & \text{- системы средней (высокой) ступени давления.} \end{cases}$$

Теплообмен гидравлической системы с окружающей средой, вызывающий переменность температуры по длине трубопровода, может быть обусловлен технологическими или климатологическими факторами. В последнем случае можно допустить, что  $T_0 = \text{const}$ , а распределение температуры по длине трубопровода

может быть описано с помощью формулы В.Г. Шухова [10], не учитывающей влияние эффекта Джоуля-Томсона. Предполагая, что коэффициент теплопередачи постоянен по длине трубы ( $x$ ), то формулу В.Г. Шухова преобразуем к следующему виду при принятых граничных условиях

$$T(x) = T_0 + (T' - T_0) \exp \left[ -k\pi D x / (M C_p) \right], \quad (11)$$

Температуру в конечном узле  $j+1$  участка  $i$  [ $j, j+1$ ] можно определить с помощью выражения

$$T''_{i,j+1} = T_0 + (T'_j - T_0) \exp \left[ -k\pi D_i L_i / (M_i C_p) \right], \quad (12)$$

где  $M_i$  - массовый расход транспортируемой среды на участке.

Выражение для средней температуры среды на участке получаем из (11) и (12)

$$\bar{T}_i = T_0 + (T'_j - T_0) \frac{1 - \exp \left[ -k\pi D_i L_i / (M_i C_p) \right]}{k\pi D_i L_i / (M_i C_p)}. \quad (13)$$

При решении системы нелинейных уравнений (6)-(10) итеративный процесс разделим на два этапа. На первом этапе из подсистемы (6)-(8) определяют  $Q_i^{(k)}$ , при этом задают ориентировочные величины  $\bar{T}_i^{(k-1)}$ . Здесь  $k$  - номер итерации. Замкнутость этой подсистемы обеспечена, так как число уравнений равно  $p+r+m=n$  при  $n$  неизвестных. При решении получим значения не фиксируемых узловых отборов или притоков в энергоузлах с фиксируемым узловым потенциалом  $q_j^{(k)}$ ,  $j \in J_{\pi(f)}^z \cup J_{\eta(P)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$ . Замкнутость подсистемы уравнений теплообмена обеспечена в силу того, что  $n$  - уравнений теплотеря на участках (9) и  $m$  - уравнений тепловых балансов смешения потоков в узлах (10) соответствует общему числу неизвестных. В уравнениях имеем:  $n$  ( $T_i^{(k)}$ ) - температуры в конце всех участков;  $m$  ( $T_j^{(k)}$ ) -

температуры смешения в узлах;  $n$  ( $\bar{T}_i^{(k)}$ ) - средние температуры на участках. Замкнутость обеспечивает к уравнений (13). При решении (9)-(10), (13) уточняются значения средних температур  $\bar{T}_i^{(k+1)}$ , которые задаются при решении (6)-(8). Завершенность итеративного процесса при решении уравнений (6)-(10) контролируется с помощью подсистемы гидравлических уравнений.

Для систем теплоснабжения аналогично разработаны в работе [3] соответствующая математическая модель потокораспределения, в которой подробно приведены все принятые обозначения.

**Выводы.** В результате обобщения вариационного принципа виртуальных скоростей на гидравлические сетевые системы появилась возможность получить теоретически обоснованную модель установившегося потокораспределения при неизотермическом течении вязкой среды в трубопроводах гидравлических системах. Так как в

модели учтена переменность температуры из-за процессов теплообмена с окружающей средой, то это позволит существенно приблизить к реально существующему на практике распределению параметров полученные результаты анализа.

Модель может быть использована для анализа потокораспределения при неизотермических течениях в системах водоснабжения с присоединенными к ним

устройствами пожаротушения. Рассмотренная модель потокораспределения необходима при решении прикладных задач оценивания состояния для восполнения полной информации о текущем состоянии гидравлической системы с целью обеспечения лицом, принимающим решения требуемых мощностей присоединенных к ней, устройств пожаротушения.

### Библиография

1. Квасов И.С., Панов М.Я., Сазонова С.А. Диагностика утечек в трубопроводных системах при неплотной манометрической съемке / И.С. Квасов, М.Я. Панов, С.А. Сазонова // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 1999. - №9. - С. 66-70.
2. Николенко С.Д., Сазонова С.А. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - 2016. - № 1 (7). - С. 151-153.
3. Сазонова С.А. Итоги разработок математических моделей анализа потокораспределения для систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 5. - С. 68-71.
4. Сазонова С.А., Манохин В.Я., Манохин М.В. Обеспечение безопасности функционирования трубопроводных систем при реализации математических моделей на основе функционального эквивалентирования / С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2015. - № 2 (15). - С. 32-36.
5. Сазонова С.А., Сушко Е.А. Разработка методов и алгоритмов технической диагностики и обеспечение безопасности систем пожаротушения, тепло-, водо-, газоснабжения и промышленных технологических трубопроводов / С.А. Сазонова, Е.А. Сушко // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2017. - № 2 (23). - С. 40-45.
6. Сазонова С.А. Обеспечение безопасности гидравлических систем при реализации задач управления функционированием и развитием / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2016. № 1 (18). С. 22-26.
7. Квасов И.С., Панов М.Я., Сазонова С.А. Статическое оценивание состояния трубопроводных систем на основе функционального эквивалентирования / И.С. Квасов, М.Я. Панов, С.А. Сазонова // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2000. - №4. - С. 100-105.
8. Сазонова С.А. Методы обоснования резервов проектируемых гидравлических систем при подключении устройств пожаротушения / С.А.

### References

1. Kvasov I.S., Panov M.YA., Sazonova S.A. Diagnostika utechek v truboprovodnykh sistemah pri neplotnoy manometricheskoy s'emke / I.S. Kvasov, M.YA. Panov, S.A. Sazonova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. - 1999. - №9. - S. 66-70.
2. Nikolenko S.D., Sazonova S.A. Distancionnoe obnaruzhenie utechek v gidravlicheskih sistemah s cel'yu obespecheniya bezopasnosti funkcionirovaniya pri svoevremennom preduprezhdenii avarij / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii v stroitel'nyh, social'nyh i ehkonomicheskikh sistemah. - 2016. - № 1 (7). - S. 151-153.
3. Sazonova S.A. Itogi razrabotok matematicheskikh modelej analiza potokoraspredeleniya dlya sistem teplosnabzheniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2011. - T. 7. - № 5. - S. 68-71.
4. Sazonova S.A., Manohin V.YA., Manohin M.V. Obespechenie bezopasnosti funkcionirovaniya truboprovodnykh sistem pri realizacii matematicheskikh modelej na osnove funkcional'nogo ehkivalentirovaniya / S.A. Sazonova, V.YA. Manohin, M.V. Manohin // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. - 2015. - № 2 (15). - S. 32-36.
5. Sazonova S.A., Sushko E.A. Razrabotka metodov i algoritmov tekhnicheskoy diagnostiki i obespechenie bezopasnosti sistem pozharotusheniya, teplo-, vodo-, gazosnabzheniya i promyshlennykh tekhnologicheskikh truboprovodov / S.A. Sazonova, E.A. Sushko // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. - 2017. - № 2 (23). - S. 40-45.
6. Sazonova S.A. Obespechenie bezopasnosti gidravlicheskih sistem pri realizacii zadach upravleniya funkcionirovaniem i razvitiem / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2016. № 1 (18). S. 22-26.
7. Kvasov I.S., Panov M.YA., Sazonova S.A. Staticheskoe ocenivanie sostoyaniya truboprovodnykh sistem na osnove funkcional'nogo ehkivalentirovaniya / I.S. Kvasov, M.YA. Panov, S.A. Sazonova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. - 2000. - №4. - S. 100-105.
8. Sazonova S.A. Metody obosnovaniya rezervov proektiruemykh gidravlicheskih sistem pri podklyuchenii ustrojstv pozharotusheniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS

Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2015. - № 4 (17). - С. 22-26.

9. Сазонова С.А. Структурное резервирование систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2010. - Т. 6. № 12. - С. 179-183.

10. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Под ред. В.А. Юфина. - М.: Недра, 1978. - 407 с.

MCHS Rossii. - 2015. - № 4 (17). - С. 22-26.

9. Sazonova S.A. Strukturnoe rezervirovanie sistem teplosnabzheniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2010. - T. 6. № 12. - S. 179-183.

10. Truboprovodnyj transport nefiti i gaza / Pod red. V.A. Yufina. - M.: Nedra, 1978. - 407 s.

## THE ACCOUNT OF NON-ISOTHERMICALITY OF VISCOUS ENVIRONMENT VISIBILITY BY MODELING BASED ON VARIATIONAL PRINCIPLES OF THE ANALYTICAL MECHANICS OF FLOW DETERMINATION IN HYDRAULIC SYSTEMS WITH ACCELERATED FIRE EXTINGUISHING DEVICES

*The sequence of forming a mathematical model of the steady nonisothermal flow of a viscous medium based on the variational principle of virtual velocities for hydraulic systems is considered. The non-isothermal flow of a viscous medium is taken into account in order to increase the accuracy of mathematical models of flow distribution in hydraulic systems. In the event of a fire, fire extinguishing systems are connected to the water supply systems, which require significant water costs for fire fighting. Complete the current information about the actual capacities of the hydraulic system can be replenished with the help of numerical implementation of mathematical flow distribution models. The information obtained in this way is necessary for decision-making by the decision maker, while ensuring the required capacities of the water supply systems and, accordingly, the fire-extinguishing devices attached to it.*

**Key words:** water supply systems, fire safety, firefighting systems, mathematical models, flow distribution, variational principles of mechanics.

**Сазонова Светлана Анатольевна,**

доцент, к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный технический университет, Россия, Воронеж;

e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

**Sazonova S.A.,**

Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh.

**Сушко Елена Анатольевна,**

доцент, к.т.н., заведующая кафедрой пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный технический университет, Россия, Воронеж;

e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru

**Sushko E.A.,**

Cand. Tech. Sci., Head. of Dept. of Fire and Industrial Safety Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, ph. +7(432)271-30-00.

**Николенко Сергей Дмитриевич**

доцент, к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный технический университет», Россия, Воронеж;

e-mail: [nikolenkoppb1@yandex.ru](mailto:nikolenkoppb1@yandex.ru)

**Nikolenko S.D.,**

Cand. Tech. Sci., Prof., Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh.

## **ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

1. Статьи в редакцию предоставляются в отпечатанном (1 экземпляр) виде. Отпечатанный экземпляр должен быть подписан всеми авторами; также на первой странице отпечатанного экземпляра просим указывать раздел, в котором должна быть опубликована статья (перечень разделов можно посмотреть на сайте журнала). Файл с электронным вариантом должен быть назван по фамилиям авторов статьи.

2. К статье необходимо приложить рецензию (заверенную печатью) специалиста в данной области исследования с указанием научной степени, звания, места работы и должности рецензента.

3. Рукопись объемом не менее 2-х страниц формата А4, отпечатанных в текстовом редакторе MS Word шрифтом Times New Roman высотой 10 пт. через один интервал. Поля: верхнее и нижнее – 2,5 см, правое и левое – 2 см. Текст рукописи располагают в одну колонку; опция «разрыв раздела» может использоваться исключительно для создания альбомных страниц.

4. Обязательным элементом статьи является индекс УДК (указывается на первой странице).

5. На первой странице приводятся сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), место работы (организация и подразделение), занимаемая должность, ученая степень, ученое звание, телефон и e-mail каждого из соавторов.

6. Важными элементами статьи являются аннотация и ключевые слова. Аннотация (не менее 600 знаков с пробелами) должна в сжатой форме, но достаточно полно отражать содержание статьи, не повторяя при этом ее название. Аннотация может кратко повторять структуру статьи: указывается задача исследования, ее актуальность, описываются полученные результаты и сделанные выводы.

7. В список ключевых слов необходимо включить все понятия, значимые для выражения содержания статьи и для ее поиска.

8. На последнем листе приводятся сведения об авторах, аннотация и ключевые слова на английском языке.

9. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Логические элементы статьи должны быть выделены заголовками: Введение (~0,5 страницы), Выводы (~0,5 страницы), другие элементы – пункты и, возможно, подпункты (например: «Теоретическое обоснование построения анизотропных поверхностей стоимости», «Алгоритм построения анизотропных поверхностей накопленной стоимости», «Анализ характера разрушения опытных образцов», «Расчет прочности тела фундамента»).

10. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Избегайте тонких линий в графиках. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Название иллюстраций дается под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Если рисунок в тексте один, номер не ставится.

11. Подрисовочные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисовочной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см.

12. Слово «Таблица» с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Единственная в статье таблица не нумеруется.

13. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Все употребляемые авторами обозначения (за исключением общеизвестных констант типа  $e$ ,  $h$ ,  $c$  и т. п.) и аббревиатуры должны быть пояснены при их первом упоминании в тексте.

14. Все формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType шрифтом высотой 10 пт. Пояснения к формулам (экспликация) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Латинские обозначения набираются курсивом, названия функций ( $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\exp$ ) и греческие буквы – обычным (прямым) шрифтом. Формулы нумеруют в круглых скобках – (2).

15. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 в алфавитном порядке или по порядку упоминания источников в тексте. Собственные работы авторов должны быть представлены в списке наравне с работами других ученых, внесших вклад в исследование данной темы. Одна позиция в списке должна содержать только один источник, не допускается объединение в одной ссылке нескольких источников. При цитировании зарубежных изданий, не переведившихся на русский язык, ссылка приводится на языке оригинала; категорически не допускается оформление ссылки в виде самостоятельно сделанного перевода.

16. Автор несет ответственность за научное содержание статьи и гарантирует оригинальность представляемого материала.

17. Высылая рукопись, автор гарантирует, что:

- он не публиковал (кроме публикации статьи в виде препринта) и не будет публиковать статью в объеме более 25 % в других печатных или электронных изданиях;
  - статья содержит все предусмотренные действующим законодательством об авторском праве ссылки на цитируемых авторов и издания, а также используемые в статье результаты и факты, полученные другими авторами или организациями;
  - статья не включает материалы, не подлежащие опубликованию в открытой печати, в соответствии с действующими нормативными актами.
18. Высылая рукопись, автор соглашается с тем, что редакция журнала имеет право:
- предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
  - производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи.
19. Автор также соглашается с тем, что рукописи статей авторам не возвращаются и вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается.
20. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.
21. Редакция поддерживает связь с авторами преимущественно через электронную почту – будьте внимательны, указывая адрес для переписки.

**Материалы предоставляются по адресу:  
Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231, к. 1214  
ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Редакция журнала «Вестник Воронежского института ГПС МЧС России»,  
тел.: (473) 242-12-63; e-mail: vestnik\_vi\_gps@mail.ru**