

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS
(PHYSICS-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

№ 1 (29) – 2019

Редакционный совет

Заместитель председателя – доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент **Мусиенко Тамара Викторовна**, заместитель начальника университета по научной работе.

Заместитель председателя (ответственный за выпуск журнала) – доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, директор Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова;

доктор технических наук, профессор полковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз;

кандидат юридических наук, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Грешных Антонина Адольфовна**, декан факультета подготовки кадров высшей квалификации;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии Российской Федерации и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Потапов Анатолий Иванович**, заведующий кафедрой «Приборы контроля и систем экологической безопасности» Северо-Западного государственного заочного технического университета;

кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Сильников Михаил Владимирович**, профессор кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности;

доктор психологических наук, профессор полковник внутренней службы **Шленков Алексей Владимирович**, профессор кафедры педагогики и психологии экстремальных ситуаций;

кандидат педагогических наук, доцент **Клюй Валерий Владимирович**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ.

Секретарь совета:

кандидат педагогических наук капитан внутренней службы **Балабанов Марк Александрович**, ответственный секретарь редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

Редакционная коллегия

Председатель – подполковник внутренней службы **Стёпкин Сергей Михайлович**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

Заместитель председателя – майор внутренней службы **Алексеева Людмила Викторовна**, начальник отделения – главный редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

Члены редакционной коллегии:

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Щербаков Олег Вячеславович**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Таранцев Александр Алексеевич**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Антюхов Валерий Иванович**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления;

кандидат технических наук, доцент **Романов Николай Николаевич**, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

кандидат педагогических наук, доцент **Подружкина Татьяна Александровна**, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

Секретарь коллегии:

капитан внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.



СОДЕРЖАНИЕ

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

- Косенко Д.В., Шидловский А.Л., Юнаковский Н.С. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга опасных явлений в Арктике..... 5
- Лабинский А.Ю., Антошина Т.Н. Моделирование процессов и систем с помощью сетей Петри..... 9
- Савчук О.Н., Аксенов А.А. Экспериментальное определение площади разлива основных видов аварийно химически опасных веществ по подстилающей поверхности..... 13

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

- Качуро А.М., Реснянский С.Г. Особенности и недостатки методов контроля дефектации узлов и механизмов пожарно-спасательного автомобиля..... 22
- Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Пермяков А.А. О методах оценки дымообразующей способности пожарной нагрузки..... 26
- Кузьмин А.А., Романов Н.Н. О влиянии волновых явлений в магистралях на работу поршневых компрессоров..... 31

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

- Воронин С.В., Скрипник И.Л. Анализ принципов содержания образовательного процесса и приоритетные направления подготовки специалистов..... 37
- Лабинский А.Ю. Моделирование случайного процесса использованием принципа квазирегулярности..... 41
- Мусатов В.И., Макаручук Г.В., Медведева Л.В. К вопросу о необходимости модернизации очистных сооружений военных городков..... 45
- Сведения об авторах 56
- Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) 57

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)», без письменного разрешения редакции не допускается. Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

ББК Ц.9.3.2
УДК 504+614.8(051.2)

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 2307-7476

© Санкт-Петербургский университет Государственной
противопожарной службы МЧС России, 2019

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В АРКТИКЕ

Д.В. Косенко, кандидат технических наук;
А.Л. Шидловский, кандидат технических наук, доцент;
Н.С. Юнаковский.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены возможности беспилотных летательных аппаратов при применении их в условиях низких температур. Предложена система построения беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета с наземным комплексом дистанционного управления для мониторинга опасных явлений в Арктике.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, Арктика, опасные явления

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING OF DANGEROUS PHENOMENA IN THE ARCTIC

D.V. Kosenko; A.L. Shidlovsky; N.S. Yunakovsky.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The possibilities of unmanned aerial vehicles in their application at low temperatures are considered. The system of construction of unmanned aerial vehicles of vertical take-off with a ground remote control system for monitoring of dangerous phenomena in the Arctic is proposed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, Arctic, dangerous phenomenon

В современном мире в эпоху постоянного технологического прогресса человек имеет огромное поле для своих возможностей. Новые технологии способствуют появлению новых технологических аппаратов и средств. К одному из таких технологических новшеств можно отнести беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Они различаются по назначению, размерам, возможностям. К основным областям использования БПЛА можно отнести:

- производственный, природный и экологический мониторинг;
- наблюдение;
- охрана;
- дистанционное зондирование земли.

БПЛА наиболее востребованы в труднодоступных для человека местах, в особенности при условии низких температур. Для России такой территорией безусловно является Арктика. Особенностью российской Арктики являются, прежде всего, экстремальные условия жизнедеятельности (максимально суровые природно-климатические условия: низкие в течение всего года температуры, сильные ветры и метели, плотные туманы, вечная мерзлота, продолжительная полярная ночь и полярный день, ледяной покров морей и устьев

рек в течение более полугода и т.д.), максимальная площадь, широтная протяженность, хрупкость и уязвимость природного баланса экосистем [1].

Большая территория и низкие температуры приводят к необходимости применения БПЛА. К задачам МЧС России в арктическом регионе, решение которых невозможно без применения БПЛА, можно отнести:

- поиск и спасание людей, терпящих бедствие на суше и на море;
- разведку предполагаемых районов стихийных бедствий;
- разведку пожарной обстановки в лесных массивах и лесотундре, определение границ очагов пожара;
- разведку ледовой обстановки на морях и реках, контроль зон образования и передвижения айсбергов;
- мониторинг наличия и динамики состояния трещин в ледовых полях в районах полярных станций;
- разведку завалов, районов наводнений, состояния плотин;
- ледовую и метеорологическую разведку на путях движения судов;
- мониторинг транспортных магистралей и узлов;
- мониторинг состояния береговых технических сооружений;
- разведку маршрутов санно-тракторных поездов;
- оценку радиационной обстановки, экологического состояния рек, внутренних водоемов, морей и океанов;
- участие в мониторинге транспортных магистралей, нефте- и газопроводов, теплотрасс, линий электропередач;
- проведение экологического мониторинга, метеорологических и геологических исследований, картографирование местности;
- обеспечение рыбного промысла, защита морских и речных заповедников от браконьеров и другие;
- доставку срочных малогабаритных грузов в труднодоступные районы (медикаменты, спасательные средства, радиостанции, продукты питания и т.п.) [2].

Применение БПЛА в арктических широтах имеет целый ряд технических сложностей, к которым можно отнести:

- сложные метеоусловия;
- влияние внешних помех на радионавигационное обеспечение;
- отсутствие наземной инфраструктуры.

Надежность резко падает при низких температурах, так как часто наступают отказы электронных компонентов. Низкая температура отрицательно влияет не только на микросхемы и системы связи, но и на аккумуляторы (основной автономный источник питания агрегатов).

При температуре ниже минус 15 °С аккумуляторы меньше отдают ток, и снижается их номинальная емкость [3].

Таким образом, проблема надежности и живучести БПЛА требует поиска новых конструктивных решений и перехода на новую элементную базу.

Также к беспилотным и дистанционно пилотируемым аппаратам выдвигаются первоочередные требования по массогабаритным характеристикам, автономности функционирования, минимальному энергопотреблению и стоимости.

Эксплуатационные характеристики БПЛА серьезно зависят от совершенства бортового оборудования, в частности от качества информационно-измерительных сигналов, которые используются в управлении. Источником данных сигналов о параметрах движения, таких как местоположение, ориентация, скорость и другие, являются различные измерительные системы и навигационные комплексы. В арктических широтах условия окружающей среды сложны для функционирования БПЛА из-за пассивных и активных помех, в связи с чем их системы управления должны обеспечивать высокую точность движения, эффективное маневрирование и др.

Сегодня производить легкие БПЛА в состоянии многие страны, в том числе и Россия. Большое число российских компаний выпускает достаточно качественные образцы небольших БПЛА малого радиуса действия, способных совершать полеты на малых высотах.

Серьезные проблемы связаны с использованием воздушного пространства, выделением частотного диапазона для управления БПЛА и передачей информации с борта на землю и наоборот.

Основным недостатком существующих систем классификации БПЛА является то, что они не учитывают характеристики наземной инфраструктуры: пункта управления, системы жизнеобеспечения, транспортировки и предполетной подготовки, стартовых и посадочных площадок, а также наличие сети наземных станций и линий их наземной связи.

Также очевидно, что не все БПЛА из-за ограничений по полезной нагрузке, дальности и высоте полета имеют возможность использовать аппаратуру для выполнения ряда функциональных задач, задач по управлению и навигации. Поэтому имеет смысл произвести отбор БПЛА, которые можно эксплуатировать в арктических широтах в настоящее время.

Исходя из вышеизложенного, предлагается следующая классификация БПЛА:

- класс 1. По полезной нагрузке не соответствуют требованиям к установке аппаратуры навигации и управления БПЛА. Практически, это радиоуправляемые БПЛА, которые могут эксплуатироваться только в выделенном воздушном пространстве;

- класс 2. По полезной нагрузке 100–120 кг соответствуют требованиям к установке аппаратуры навигации и управления БПЛА. Дальность и высота полета обеспечивают выполнение основных задач в гражданском секторе экономики;

- класс 3. По полезной нагрузке 150–200 кг соответствуют требованиям к установке аппаратуры навигации и управления БПЛА, а также дополнительного оборудования. Дальность полета обеспечивает выполнение основных задач, но требуется развитая структура наземных станций наблюдения, управления и связи, которая пока недостаточно развита в арктических широтах.

Таким образом, имеет смысл рассматривать вопросы обеспечения безопасности полета в общем воздушном пространстве БПЛА класса 2: взлетная масса 500–600 кг, крейсерская скорость 130–150 км/ч, дальность полета равна прямой радиовидимости; а также перспективы создания инфраструктуры для применения БПЛА класса 3.

Для обеспечения задач наблюдения в реальном времени, включая труднодоступные участки местности, а также определения координат исследуемых участков, полезная нагрузка БПЛА должна содержать:

- устройства получения видовой информации;
- устройство информационного обмена;
- бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ);
- спутниковую навигационную систему (ГЛОНАСС/GPS);
- устройство обмена командной информацией;
- устройства командно-навигационной радиолинии;
- устройства радиолинии видовой и телеметрической информации;
- устройство хранения видовой информации.

Современные ТВ-камеры обеспечивают оператору представление в реальном времени картины наблюдаемой местности в формате, наиболее близком к характеристикам зрительного аппарата человека, что позволяет ему свободно ориентироваться на местности и при необходимости выполнять пилотирование БПЛА. Возможности по обнаружению и распознаванию объектов определяются характеристиками фотоприемника и оптической системы телекамеры.

Применение радиолокационной станции (РЛС) позволяет получать информацию круглосуточно и при неблагоприятных метеоусловиях. А сменные модули помогают снизить стоимость и реконфигурировать состав бортового оборудования для решения поставленной задачи в конкретных условиях применения.

Так, обзорное курсовое устройство закрепляется неподвижно под некоторым углом к строевой оси летательного аппарата, обеспечивающим необходимую зону захвата на местности. В состав обзорного курсового устройства может входить телевизионная камера с широкопольным объективом. В зависимости от решаемых задач она может быть оперативно заменена или дополнена тепловизионной камерой, цифровым фотоаппаратом или РЛС.

Также для мониторинга опасных явлений в арктических широтах необходимо рассмотреть применение такого типа БПЛА, как привязной, который отличается рядом уникальных эксплуатационных свойств, обеспечивающих существенные преимущества в сравнении с другими беспилотными аппаратами. По существу, это летающий вентилятор, для старта которого не требуется дополнительных пусковых устройств, так как он может взлетать с ограниченных площадок, транспортных средств и контейнеров. Защищенность вентилятора корпусом существенно уменьшает вероятность повреждения аппарата при соприкосновении с окружающими предметами, упрощает посадку и делает его более безопасным. Передача электропитания и сигналов управления с земли по кабелю повышает длительность полета, грузоподъемность, надежность и помехозащищенность системы управления БПЛА.

Отсутствие необходимости в специальной транспортно-пусковой машине обеспечивает его высокую мобильность и автономность при значительном сокращении стоимости обеспечивающего и наземного оборудования, а также эксплуатационных затрат.

Привязные БПЛА с подъемно-маршевыми вентиляторами можно применять для:

- доставки средств жизнеобеспечения и спасательного оборудования группам спасателей и потерпевшим в высотных зданиях, в зонах со сплошными завалами и сплошных разрушений, сильного химического и радиационного заражения;
- точечного дистанционного применения средств пожаротушения.

Применение унифицированных малошумных подъёмно-двигательных модулей, объединяемых общей платформой с расположенными на ней двигателями, обеспечивает высокую гибкость и приспособляемость системы к широкому спектру задач.

Модульный принцип построения системы обеспечивает удобство её транспортировки к месту применения. При использовании ограниченного числа типоразмеров (2–3), варьируя число подъемных вентиляторов, можно покрыть диапазон грузоподъемностей от 50 до 600 кг.

Защищенность рабочего колеса обеспечивает безопасную и безаварийную эксплуатацию агрегатов.

На базе привязных систем такого типа может быть создана платформа для тушения пожаров и доставки средств спасения при пожарах на высотных зданиях и сооружениях с большой весовой эффективностью и большим (до суток) временем нахождения в воздухе за счет электроснабжения с земли по кабелю питания и управления.

Внешний вид одного из возможных вариантов привязной многовентиляторной платформы представлен на рисунке.



Рис. Общий вид привязной четырех вентиляторной платформы

Создание БПЛА вертикального взлета с наземным комплексом дистанционного управления, с учетом новых подходов к разработке средств экстренной разведки, является весьма актуальным и перспективным направлением в области мониторинга опасных явлений.

Литература:

1. Нестеренко А.Г., Кораев К.В., Сидоренко Е.А. Особенности развития системы комплексной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации в вопросах управления и взаимодействия с использованием специализированного Арктического класса Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы // Науч.-аналит. журнал «Вестник Санкт-Петербургского ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 3.

2. Картеничев А., Иванов А., Сукочев А. Задачи беспилотной авиации МЧС России в Арктической зоне // Каталог «Пожарная безопасность–2017». 2017.

3. Проведение аварийно-спасательных работ, тушение пожаров и применение пожарной и аварийно-спасательной техники в условиях крайнего севера: учеб. пособие / В.Н. Ложкин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Ложкина. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2015.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент;
Т.Н. Антошина, кандидат педагогических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности моделирования процессов и систем с помощью сетей Петри. Приведены примеры моделирования вычислительных систем и процессов эвакуации людей при пожаре.

Ключевые слова: пожарная безопасность, математическая модель, сети Петри.

SIMULATE THE PROCESS AND SYSTEM WITH THE AID OF PETRI NETWORK

A.Yu. Labinskiy; T.N. Antoshina.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

This article presents the speciality of simulate the process and system with the aid of Petri network. Presents the examples of simulate the computing system and process the evacuation peoples in the time of fire.

Keywords: fire safety, mathematical model, Petri network

Сети Петри – это графическое и математическое средство моделирования систем и процессов. Как правило, сетями Петри моделируют параллельные (синхронные и асинхронные) системы и процессы [1]. Области применения сетей Петри включают исследование телекоммуникационных сетей, сетевых протоколов, вычислительных систем и вычислительных процессов, производственных и организационных систем [2].

Сети Петри впервые описаны немецким математиком Карлом Петри в 1962 г. Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, состоящий из вершин двух типов – позиций и переходов, соединенных между собой дугами. Вершины одного типа

не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети. Пример сети Петри [2]:

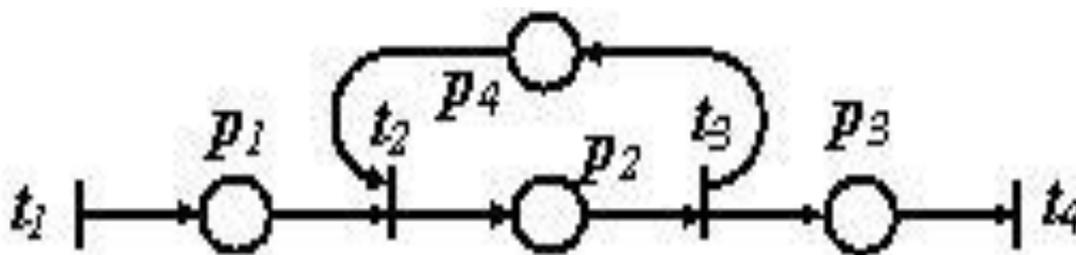


Рис. 1. Модель вычислительной системы

Данная сеть Петри моделирует вычислительную систему, которая обрабатывает задания, поступающие с устройства ввода, и выводит результаты на устройство вывода. Когда процессор свободен и в устройстве ввода есть задание, процессор начинает обработку задания.

Когда задание выполнено, оно посылается в устройство вывода. Процессор же либо продолжает обрабатывать другое задание, если оно имеется, либо ждет прихода задания, если устройство ввода еще не получило такового.

Состояния рассматриваемой вычислительной системы характеризуются следующими условиями:

- а) задание ждет обработки процессором – p_1 ;
- б) задание обрабатывается процессором – p_2 ;
- в) задание ожидает очереди для передачи на устройство вывода – p_3 ;
- г) процессор свободен – p_4 ;

В вычислительной системе могут выполняться следующие события:

- 1) задание помещается во входную очередь процессора – t_1 ;
- 2) процессор начинает обработку задания – t_2 ;
- 3) процессор завершает обработку задания – t_3 ;
- 4) задание выдается на устройство вывода – t_4 ;

Сети Петри разрабатывались для моделирования систем и процессов с параллельными взаимодействующими компонентами (синхронными и асинхронными) [3].

Процесс функционирования сети Петри может быть наглядно представлен графом достижимых маркировок. Состояние сети однозначно определяется ее маркировкой – распределением фишек по позициям.

Вершинами графа являются допустимые маркировки сети Петри, дуги помечены символом срабатывающего перехода.

Дуга строится для каждого возбужденного перехода. Построение прекращается, когда мы получаем маркировки, в которых не возбужден ни один переход, либо маркировки, содержащиеся в графе. Граф достижимых маркировок представляет собой автомат.

Некоторые виды сетей Петри [4]:

- временная сеть Петри – переходы обладают весом, определяющим продолжительность срабатывания (задержку);
- стохастическая сеть Петри – задержки являются случайными величинами;
- функциональная сеть Петри – задержки определяются как функции некоторых аргументов, например, количества меток в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов;
- цветная сеть Петри – метки могут быть различных типов, обозначаемых цветами, тип метки может быть использован как аргумент в функциональных сетях;

– ингибиторная сеть Петри – возможны ингибиторные дуги, запрещающие срабатывания перехода, если во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, находится метка;

– иерархическая сеть – содержит не мгновенные переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические, сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла вложенной сети.

Основными свойствами сети Петри являются [5]:

– ограниченность – число меток в любой позиции сети не может превысить некоторого значения K ;

– безопасность – частный случай ограниченности, $K=1$;

– сохраняемость – постоянство загрузки ресурсов, $\sum(A_i * N_i) = \text{const}$ постоянна, где N_i – число маркеров в i -й позиции; A_i – весовой коэффициент;

– достижимость – возможность перехода сети из одного заданного состояния (характеризуемого распределением меток) в другое;

– живость – возможность срабатывания любого перехода при функционировании моделируемого объекта.

Сети Петри используются для моделирования асинхронных систем, функционирующих как совокупность параллельных взаимодействующих процессов. Анализ сетей Петри позволяет получить информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы.

Причинно-следственная связь событий в асинхронных системах задается множеством отношений вида «условия-события».

Построение моделей систем в виде сетей Петри заключается в следующем [4]:

1. Моделируемые процессы описываются множеством событий (действий) и условий, определяющих возможность наступления этих событий, а также причинно-следственными отношениями, устанавливаемыми на множестве пар «события-условия»;

2. Определяются события-действия, последовательность выполнения которых управляется состояниями системы. Состояния системы задаются множеством условий, формируемых в виде предикатов. Количественно условия характеризуются величиной, которая выражается числами натурального ряда;

3. Условия, в зависимости от значений их количественных характеристик, могут выполняться или нет. Выполнение условий обеспечивает возможность реализации событий. Условия, с фактом выполнения которых связывается возможность реализации событий, называются предусловиями. Реализация события обеспечивает возможность выполнения других условий, находящихся с предусловиями в причинно-следственной связи. Эти условия называются постусловиями.

Несомненным достоинством сетей Петри является математически строгое описание модели. Это позволяет проводить анализ модели с помощью вычислительной техники.

Преимущества использования сетей Петри в моделировании [3]:

– большие выразительные возможности в представлении параллельных синхронных и асинхронных систем;

– графическое представление сети;

– наглядность модели и легкость ее изучения;

– возможность иерархического моделирования;

– возможность описания системы на различных уровнях абстракции;

– возможность машинной поддержки в проектировании.

Рассмотрим пример использования сетей Петри для моделирования процесса эвакуации людей из помещения при возникновении пожара [6]. В данной модели используются диаграммы, состоящие из двух типов объектов: события (множество мест) и условия (переходы).

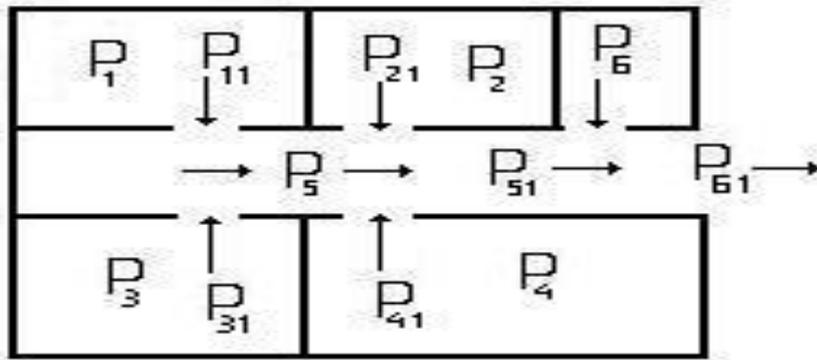


Рис. 2. План эвакуации из помещений

В графическом представлении сетей переходы изображаются «барьерами», а места кружочками. Стрелками отображаются их непосредственные зависимости. Внутри кружочка могут быть отображены фишки или цифры, показывающие количество фишек (обычно если фишек больше трех, то отображаются цифры). Например, помещению с номером P_1 на рис. 2 соответствует кружок с номером P_1 на рис. 3. Дверные проемы также являются местами, проему P_{11} на рис. 2 соответствует кружок P_{11} на рис. 3. А t_1 – это условие перехода фишки из помещения P_1 в P_2 . Под фишками в данном представлении будем понимать людей в помещении.

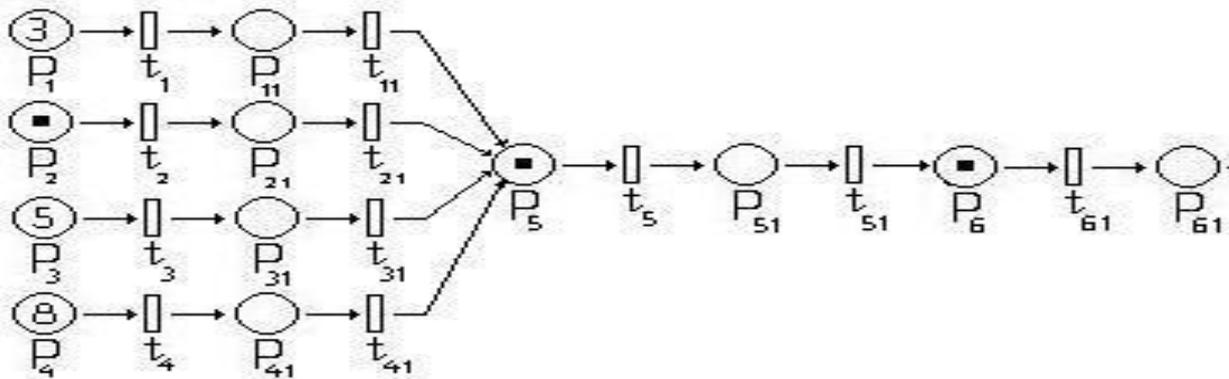


Рис. 3. Потокосеть Петри

Переходы, моделируемые представляемыми потоками сетей, имеют один вход, следовательно, можно говорить о моделировании ординарными потоковыми сетями.

Фактор наличия людей в помещении может носить как вероятностный, так и нечеткий характер. Одно из обобщений сетей Петри связано с реализацией в них дополнительных свойств, которые позволяют описывать в них неопределенность поведения систем в процессе их функционирования. Здесь могут быть предложены два подхода: описание неопределенности срабатывания переходов, находящихся в состоянии конфликта; описание неопределенности количества фишек (людей в помещениях) в позициях.

Неопределенность наличия фишек (людей в помещениях) может быть описана как с вероятностных позиций, так и с позиций теории нечетких множеств.

Моделируемая сеть Петри имеет следующие характеристики:

1. Моделируемая сеть является ограниченной, то есть любое место ограничено (здание и сооружение конечно), а значит множество допустимых разметок конечно.

2. Сеть не является безопасной, так как распределение степеней принадлежности того или иного человека к помещению может принимать значения больше единицы для нечеткой потоковой сети.

3. Сеть является консервативной, то есть сумма меток во всех местах сети постоянна (количество людей в здании постоянно, предполагаем, что при эвакуации новые люди в здании не появляются). Процесс моделирования должен закончиться при накоплении всех меток в конечной позиции. Метки не покидают сеть, они накапливаются в последней позиции.

4. В процессе моделирования сети, в зависимости от начальных условий, возможно появление мертвых переходов (переход, который может не сработать). То есть потенциально существуют тупиковые разметки, при которых люди за отведенное время не успевают покинуть помещение.

5. Переходы, существующие в сети, являются устойчивыми, так как сеть является ординарной и переходы не влияют на работу друг друга (каждый дверной проем или помещение функционирует независимо от другого дверного проема или помещения).

Таким образом, механизм нечетких и стохастических сетей Петри позволяет проводить моделирование различных систем и процессов, например, процесс эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожаров. Сеть Петри, моделирующая процесс эвакуации людей при пожаре, не является безопасной, так как в зависимости от начальных условий возможно появление переходов, которые могут не обеспечивать безопасную эвакуацию людей. Однако данная проблема может быть решена путем моделирования путей эвакуации людей таким образом, чтобы избежать появления мертвых переходов. Для этого можно предусмотреть сооружение дополнительных пожарных выходов.

Литература

1. Джеймс Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. М.: Мир, 1984.
2. Котов В.Э. Сети Петри. М.: Наука, 1984.
3. Лескин А.А. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989.
4. Зайцев Д.А. Композиционный анализ сетей Петри // Кибернетика и системный анализ. 2006. № 1.
5. Зайцев Д.А. Универсальная сеть Петри // Кибернетика и системный анализ. 2012. № 4.
6. Гриценко Ю.Б., Жуковский О.И., Загальский О.Г. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара // Доклады Томского университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ РАЗЛИВА ОСНОВНЫХ ВИДОВ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;

А.А. Аксенов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Обосновывается необходимость уточнения методик прогнозирования последствий аварий на подвижных химически опасных объектах данными по площади реального разлива аварийно химически опасных веществ. Рассматривается методика проведения эксперимента и приводятся данные по площади разлива основных аварийно химически опасных веществ, на примере обосновывается справедливость учета этих данных.

Ключевые слова: химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, коэффициент поверхности растекания

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE AREA OF THE SPILL OF THE MAIN TYPES OF POISONING SUBSTANCES ACCORDING TO THE UNDERLYING SURFACE

O.N. Savchuk; A.A. Aksenov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article substantiates the need to clarify the methods of predicting the consequences of accidents of mobile chemically hazardous objects data on the area of the real spill emergency chemically hazardous substances. The technique of the experiment is considered and the data on the area of the spill of the main emergency chemically hazardous substances are given, the example justifies the validity of accounting for these data.

Keywords: chemically hazardous object, emergency chemically hazardous substances, the ratio of the surface of the spreading

В настоящее время существует множество методик прогнозирования последствий аварий, связанных с выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ) [1–6]. Основными геометрическими параметрами, влияющими на глубину заражения в результате разлива АХОВ, являются:

- площадь разлива АХОВ;
- толщина слоя разлитого АХОВ.

Определение величины реальной площади разлива АХОВ сопряжено с рядом трудностей из-за широкого спектра АХОВ, обладающих различными физическими свойствами, а толщина слоя жидкости может быть различной в зависимости от подстилающей поверхности.

При проливе небольших количеств АХОВ, особенно при авариях транспорта, перевозящего АХОВ, на участках аварийного торможения допущение высоты пролива [3] $h=0,05$ м неправомерно. Отсутствие учета реальной площади разлива и особенно толщины пленки разлива приводит к существенным ошибкам как в определении глубины заражения, так и времени поражающего действия (испарения). Принятие допущения в работе [4], что площадь разлива АХОВ идентична площади разлива нефтепродуктов, не соответствует действительности в связи с различным коэффициентом вязкости и химическим составом АХОВ и нефтепродуктов. Отсутствие учета реальных параметров площади разлива и толщины пленки разлива может привести к неверным результатам прогнозируемых параметров зоны химического заражения и времени поражающего действия, что может сказаться на принятии недостоверных мер по обеспечению безопасности и ликвидации последствий. Одним из путей решения проблемы является постановка эксперимента по определению площади разлива АХОВ по подстилающей поверхности.

В настоящее время существует ряд расчетных методик [7–12] для определения радиуса разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на горизонтальных твердых поверхностях без учета испарения и впитывания.

В методике [7] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{25.5 \cdot \pi \cdot V}{4}},$$

где R – радиус разлива, м; V – объем вытекшей жидкости, м³.

В методике, изложенной в работе [8], радиус разлива определяется по формуле:

$$R = 3,018 \cdot V^{0.393} \cdot \vartheta^{-0.116} \cdot t^{0.115} \cdot K_{\pi};$$

где ϑ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; t – время растекания жидкости, мин; K_{π} – коэффициент поверхности растекания, определяющий соотношение фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности.

$$K_{\pi} = \frac{S_{\text{раз.реальной пов.}}}{S_{\text{раз.ид.пов.}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{раз.ид.пов.}}$ – площадь разлива по идеальной поверхности (стеклу), м²;
 $S_{\text{раз.реальной пов.}}$ – площадь разлива по реальной поверхности, м².

В методике [9] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = V^{\frac{1}{3}} \cdot 0.58 \cdot \left(\frac{V}{g^2}\right)^{0.08} \cdot \left(\frac{t^2}{V^{\frac{1}{3}}}\right)^{0.06} \cdot K_{\pi};$$

В методике [10] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{0.15 \cdot V \cdot 10^3}{\pi}};$$

В методике [11] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \frac{\sqrt{53.3 \cdot V}}{\pi};$$

В методике [12] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{20 \cdot V}{\pi}};$$

На основе статистических результатов определения радиуса разлива рассматриваемыми методиками [13], методика, изложенная в работе [8], является наиболее приемлемой. Преимуществом данной методики является учет основных параметров, влияющих на радиус растекания жидкости. Недостаток в том, что коэффициенты поверхности растекания K_{π} определены лишь для нефтепродуктов и только для поверхности из бетона. На практике подложка, на которую происходит разлив АХОВ, может быть в виде асфальта, грунта, песка, различных видов почв.

В целях определения K_{π} целесообразно использовать методику экспериментального исследования геометрических параметров разлива жидкостей [13]. Эта методика наиболее подходит для определения соотношения фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности из-за простоты проведения эксперимента и привлечения небольшого количества используемого АХОВ.

Экспериментальные исследования проводились на установке для определения геометрических параметров разлива жидкости на различных поверхностях (рис. 1), схема которой представлена на рис. 2.

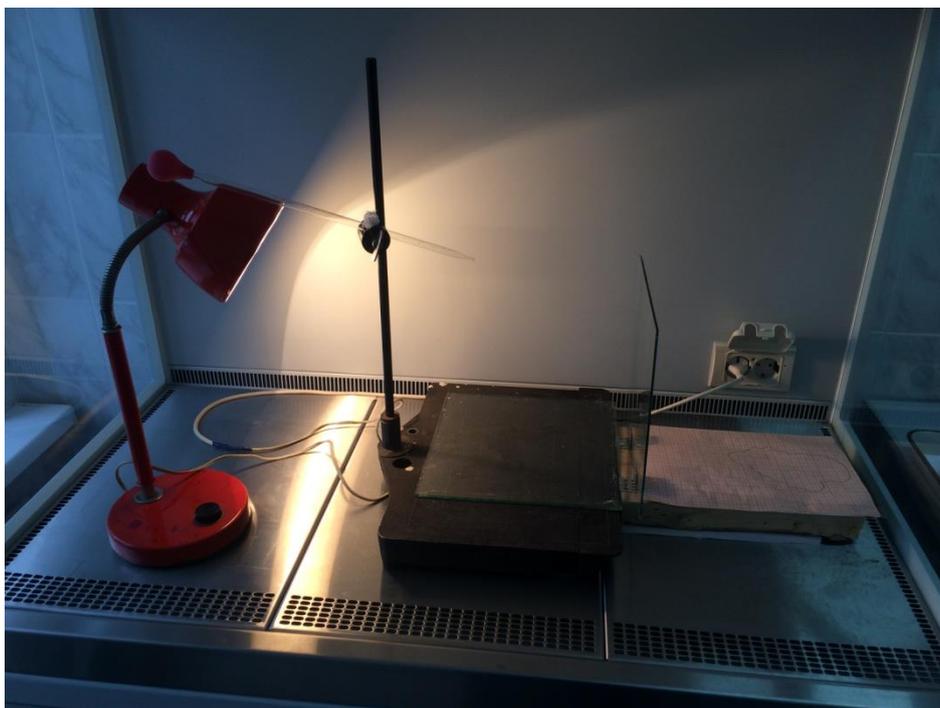


Рис. 1. Установка для определения геометрических параметров разлива жидкости на различные поверхности

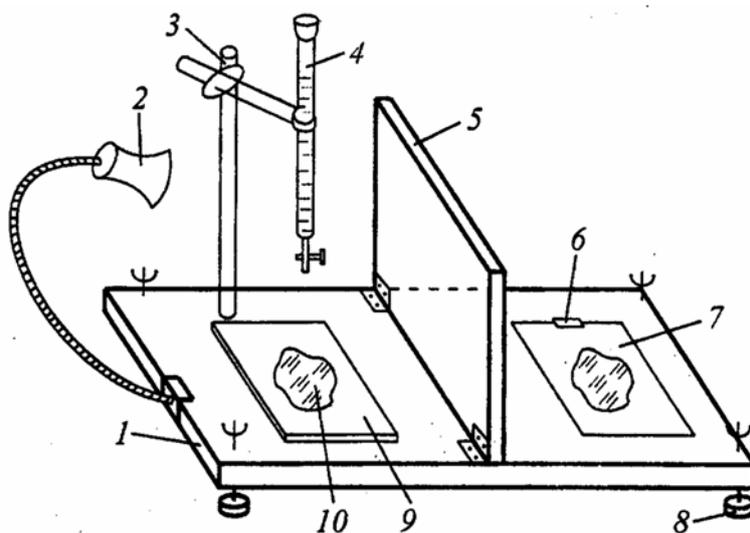


Рис. 2. Схема лабораторного стенда и его составляющие:
1 – испытательный стол; 2 – лампа; 3 – штатив; 4 – бюретка; 5 – вертикально установленное стекло; 6 – зажим для бумаги; 7 – миллиметровая бумага с отражением разлитой жидкости; 8 – регулировочные винты; 9 – исследуемая поверхность; 10 – разлитая жидкость

Из бюретки заданный объем АХОВ выпускался на подготовленную поверхность, помещаемую под бюреткой. В качестве подстилающих поверхностей были рассмотрены: идеальная поверхность (стекло для дальнейших расчётов коэффициента поверхности растекания), песок, асфальт, чернозем, серые лесные почвы. По результатам разлива АХОВ по поверхности определялась площадь разлива. Образцы исследуемой поверхности вместе с АХОВ помещали в холодильную установку для придания необходимой температуры.

Последовательность процедур при проведении эксперимента:

1. Производился отбор, упаковка и транспортирование образцов почв по ГОСТ 12071-2000 [14];
2. Образцы почвы помещались в сушильный шкаф и высушивались при температуре 105 °С в течение двух часов, после этого гигроскопическую влажность грунта (W_g) принимали равной единице;
3. Производилось увлажнение образцов почв водой. Необходимый для увлажнения объем воды Q_v , м³ определяли по формуле:

$$Q_v = \frac{m_{гр} \cdot (W_0 - W_g)}{(1 + W_g)},$$

где $m_{гр}$ – масса пробы грунта, кг; W_0 – среднестатистическая влажность грунта, доли ед.; W_g – гигроскопическая влажность грунта, доли ед.

Исходя из среднестатистической влажности почв по месяцам был установлен диапазон гигроскопической влажности почв при проведении эксперимента: от 0,2 доли ед. до 0,4 доли ед.;

4. Площадь разлива АХОВ в ходе эксперимента определялась путем подсчета клеток внутри контура на миллиметровке. Результаты измерений были приведены по системе СИ;

5. По результатам эксперимента был произведен расчет коэффициента поверхности растекания (K_n) для основных видов АХОВ по формуле (1).

Проведение экспериментальных исследований включает в себя работу с АХОВ, которые представляют опасность для жизни человека, поэтому при работе с ними соблюдались следующие меры безопасности:

- все рабочие помещения были оборудованы общей приточно-вытяжной вентиляцией;
- сотрудники в ходе проведения эксперимента с АХОВ использовали следующие средства защиты (рис. 3): костюмы для защиты от кислот [15], сапоги [16], защитные очки, перчатки для защиты от кислот [17], противогазы с фильтрами марки «Е» [18];



Рис. 3. Экипировка сотрудника, работающего на установке с АХОВ

– процесс эксперимента осуществлялся двумя людьми. Один непосредственно проводил эксперимент, второй являлся ассистентом, а также производил фотосъемку процесса;

– при проведении эксперимента для оказания первой помощи был подготовлен запас питьевой воды, молока, адреналин 1,0 мл, для нейтрализации опасных веществ – запас соды (Na_2CO_3) по ГОСТ 6221-90 [18].

На основе экспериментальных данных по определению геометрических параметров разлива АХОВ был проведен расчет коэффициента поверхности растекания основных видов АХОВ по формуле (1) для подстилающих поверхностей, которые представлены в таблице.

Таблица. Коэффициент поверхности растекания $K_{\text{п}}$ основных видов АХОВ по подстилающим поверхностям

	Сухая погода				Дождь				Сухая погода	
	Скорость ветра 0 м/с		Скорость ветра 5 м/с		Скорость ветра 0 м/с		Скорость ветра 5 м/с		Скорость ветра 0 м/с	Скорость ветра 5 м/с
	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t= -5 °C	t= -5 °C
АММИАК										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,209	0,223	0,238	0,218	0,204	0,220	0,222	0,229	0,2040	0,2083
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,3023	0,3197	0,2511	0,2762	0,3002	0,3205	0,3129	0,3052	0,3051	0,3080
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1653	0,1826	0,1746	0,1573	0,2068	0,2217	0,2046	0,2095	0,1758	0,1848
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,2057	0,2204	0,1954	0,2151	0,2202	0,2165	0,1870	0,2093	0,2060	0,2083
СОЛЯНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,1718	0,1692	0,1917	0,1665	0,2480	0,2283	0,2712	0,3112	0,1524	0,1623
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,2192	0,2222	0,2972	0,2664	0,3340	0,3244	0,3490	0,3540	0,2090	0,2367
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1691	0,1540	0,1921	0,1880	0,2060	0,2042	0,2244	0,2220	0,1536	0,1708
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,1904	0,2018	0,2092	0,1905	0,2278	0,2300	0,2887	0,2887	0,1799	0,1861
СЕРНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,4390	0,4142	0,5161	0,4719	0,3651	0,3402	0,4729	0,4417	0,2146	0,2370
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,4604	0,4848	0,4559	0,4534	0,4592	0,4351	0,4770	0,4515	0,3196	0,3456
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,3202	0,2979	0,4529	0,3820	0,2637	0,2131	0,3127	0,2716	0,1949	0,2347
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,2854	0,2714	0,3482	0,2942	0,2183	0,2017	0,2598	0,2541	0,1851	0,2282
АЗОТНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,1647	0,1402	0,1801	0,1568	0,1782	0,1729	0,2105	0,1757	0,1366	0,1440
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,3462	0,3409	0,4245	0,3631	0,40507	0,36750	0,43644	0,39425	0,3619	0,3584
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1701	0,1506	0,1809	0,1551	0,1886	0,1832	0,2252	0,1820	0,1446	0,1434
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,1373	0,1248	0,1902	0,1562	0,1550	0,1480	0,1976	0,1765	0,1275	0,154

ХЛОП										
К _п для песка	0,1706	0,1641	0,1911	0,16746	0,2471	0,2339	0,2701	0,2741	0,1638	0,1667
К _п для асфальта	0,2180	0,2205	0,2933	0,26794	0,3333	0,3266	0,3467	0,3514	0,2296	0,2505
К _п для чернозема	0,1706	0,1538	0,1924	0,1866	0,2039	0,20161	0,2229	0,2278	0,1592	0,1797
К _п для серых лесных почв	0,1905	0,2000	0,2066	0,1909	0,2286	0,2258	0,2846	0,2818	0,1991	0,2268

На основе полученных коэффициентов поверхности растекания уточняются величина площади и толщина пленки, влияющие на глубину химического заражения и время испарения, согласно формулам (2–4).

Площадь разлива АХОВ $S_{\text{прол}}$ определяется по формуле:

$$S_{\text{прол}} = 3,14 * (3,018 * V^{0.393} * \vartheta^{-0.116} * t^{0.115} * K_{\text{п}})^2, \quad (2)$$

где ϑ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; t – время растекания жидкости, мин; К_п – коэффициент поверхности растекания; V – объем пролитого АХОВ, м³.

Соответственно толщина пленки разлива определяется по формуле:

$$h_{\text{прол}} = \frac{m}{\rho_{\text{ж}} \cdot S_{\text{прол}}}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

Время поражающего действия (испарения) АХОВ определяется по формуле:

$$T_{\text{п.д.}} = \frac{h_{\text{прол}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{K_2 K_4 K_7}, \quad (4)$$

где К₂, К₄, К₇ – коэффициенты, определяемые по табл. 5, указанной в прил. 2 к монографии [1].

Площадь разлива и время поражающего действия (испарения) могут существенно повлиять на глубину заражения, определяемую по формуле, приведенной в монографии [1]:

$$\Gamma_{\text{расч}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \Gamma_{\text{пер}} = V_{\text{п}} \cdot T_{\text{п.д.}} \\ \Gamma_{\text{п}} = 0,95 \sqrt[1+b+d]{\frac{m}{0,13(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot a \cdot c \cdot C_{\text{п}}}} K_{\text{в}} K_{\text{т}} \end{array} \right. , \quad (5)$$

где m – масса АХОВ, кг; С_п – пороговая концентрация АХОВ, г/м³; К_в – коэффициент зависимости глубины заражения от скорости ветра; К_т – коэффициент влияния температуры воздуха на глубину заражения АХОВ; a, b, c, d – коэффициенты степенных моделей дисперсии, определяемые по табл. 1, указанной в прил. 2 к монографии [1]; V_п – скорость переноса воздуха (км/ч), которая определяется по табл. 2, указанной в прил. 1 к монографии [1].

Для сравнения результатов глубины химического заражения и времени поражающего действия (испарения) был проведен расчет времени поражающего действия (испарения) по формуле (4) и глубины химического заражения по формуле (5) с использованием полученных коэффициентов поверхности растекания и без их учета. Расчет был произведен

для хлора массой 10 т, в качестве подстилающей поверхности выбран чернозём, метеоусловия: скорость ветра 1 м/с, температура воздуха 0 °С, вертикальная устойчивость воздуха – инверсия. Время поражающего действия по методике [1] без учета коэффициента поверхности растекания составило 1,49 ч, с учетом коэффициента поверхности растекания 0,87 ч. Глубина заражения по методике [1] без учета коэффициента поверхности растекания составила 1 250 м, с учетом коэффициента поверхности растекания – 866 м.

Таким образом, использование коэффициентов поверхности растекания АХОВ в методиках прогнозирования последствий химических аварий позволит повысить точность и достоверность прогнозируемых параметров химического заражения, особенно при проливе на аварийных участках торможения транспорта.

Литература

1. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014.
2. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.: МЧС России, ВНИИПО, 2006.
3. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Руководящий документ РД 52.04.253-90. Л., Гидрометеиздат, 1991. 23 с.
4. Fthenakis V. M. HGSYSTEM: a review, critique, and comparison with other models //Journal of loss prevention in the process industries. 1999. Т. 12. №. 6. С. 525–531.
5. Шаталов А.А., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ ТОКСИ-3 // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 9.
6. Методика определений площади зоны защитных мероприятий, устанавливаемых вокруг объектов по хранению химического оружия. М.: Министерство обороны Рос. Федерации, 1999.
7. Временное методическое руководство по оценке экологического риска деятельности нефтебаз и автозаправочных станций. М.: Нефть, 1999.
8. Чаусов Ю.П. Растекаемость особо опасных жидкостей на твердых поверхностях // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. 1978. Вып. 4. С. 37–46.
9. Яковлев В.В. Нефть. Газ. Последствия аварийных ситуаций: монография. СПб.: СПбГПУ, 2003.
10. НПБ 105-03. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности. М.: Стандарт, 2003.
11. СО 11-04-АКТНП-006-2006. Методика оценки степени риска эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов. М.: Стандарт, 2006.
12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС Рос. Федерации от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
13. Хафризов Ф.Ш. Исследование разлива нефтепродуктов при авариях технологических трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2014. № 3.
14. ГОСТ 12071-2000 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009944> (дата обращения: 21.01.2019).
15. ГОСТ 12.4.103-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005295> (дата обращения: 21.01.2019).

16. ГОСТ 5375-79. Сапоги резиновые формовые. Технические условия (с Изменениями № 1–4) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200018526> (дата обращения: 21.01.2019).

17. ГОСТ 12.4.010-75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия (с изменениями № 1–3) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003070> (дата обращения: 21.01.2019).

18. ГОСТ 6221-90. Аммиак безводный сжиженный. Технические условия (с изменением № 1) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200018926> (дата обращения: 21.01.2019).



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

ОСОБЕННОСТИ И НЕДОСТАТКИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТАЦИИ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ

А.М. Качуро, кандидат технических наук;
С.Г. Реснянский, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проведен обзор недостатков методов контроля дефектации узлов и деталей пожарной техники специального назначения, имеющих защитные покрытия. Приведены преимущества вихретокового метода, как наиболее эффективного для проверки деталей с защитными покрытиями.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль деталей, повышение выявляемости дефектов, вихретоковый метод, экспериментальные исследования выявляемости дефектов, дефектоскоп, способ неразрушающего контроля узлов и деталей, метод голографической интерферометрии

FEATURES AND DISADVANTAGES OF CONTROL METHODS FAULT DETECTION OF COMPONENTS AND MECHANISMS OF THE FIRE RESCUE VEHICLE

A.M. Kachuro; S.G. Resnyansky.
Saint-Petersburg university of State fire service EMERCOM of Russia

The paper presents an overview of the shortcomings of the methods of control fault detection of components and parts of fire equipment for special purposes, having a protective coating. The advantages of the eddy current method as the most effective for testing parts with protective coatings.

Keywords: ultrasonic inspection of details, increase of detectability of defects, eddy current method, experimental researches of detectability of defects, flaw detector, method of non-destructive control of knots and details, method of holographic interferometry

Многие узлы и агрегаты пожарной техники специального назначения для предохранения от коррозии, вредного воздействия агрессивных сред, высокой температуры и т.п. имеют защитные лакокрасочные, эмалевые, металлические и другие покрытия. Снятие покрытия с детали для проведения контроля и нанесение его вновь – очень трудоемкий процесс, что экономически не выгодно. Поэтому разработка способов контроля изделий без снятия защитных покрытий является задачей весьма актуальной и важной. Целью контроля может быть выявление внутренних или поверхностных дефектов основного металла изделия или же дефектов покрытия (нарушения прочности сцепления покрытия с основой, твердость покрытия и других).

Возможность контроля изделий с защитными покрытиями обуславливается акустическими свойствами материала покрытия и основы, формой и размерами изделия, а также толщиной покрытия и качеством сцепления его с основой.

Опыт показывает, что при проведении контроля деталей с защитными покрытиями специалисты допускают методические ошибки, снижающие его эффективность. Практически при использовании большинства распространенных методов необходимо учитывать специфические особенности подготовки и проведения контроля узлов и деталей с покрытиями.

Возможность проведения ультразвукового контроля (УЗК) изделий с защитными покрытиями обуславливается не только акустическими свойствами материала, из которого изготовлена деталь, но и акустическими свойствами, толщиной и качеством сцепления защитного покрытия с основным металлом.

Например, лопатки компрессоров и турбин некоторых узлов и механизмов пожарно-спасательного автомобиля подвергаются эмалированию. Эмалевое покрытие толщиной до 80 мкм является, в принципе, «прозрачным» для ультразвуковых колебаний, вследствие чего энергетические потери при переходе упругих колебаний от преобразователя в кромку лопатки и искажения ультразвукового луча невелики. Поэтому УЗК деталей, покрытых эмалями, проводят в основном по технологии проверки неэмалированных лопаток.

К главным преимуществам УЗК деталей, покрытых эмалями, относятся:

1. Высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
2. Безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
3. Высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
4. Возможность проведения УЗК (в отдельных случаях) на действующем объекте, то есть на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации.
5. При проведении УЗК исследуемый объект не повреждается;

К основным недостаткам УЗК относятся:

1. При ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, так как размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер дефекта (например: имеющиеся в изделии два реальных дефекта одного размера и формы, расположенные на одной глубине, но один из которых заполнен воздухом, а другой шлаком будут давать отраженные импульсы различной амплитуды и, соответственно, оценены как дефекты, имеющие различные размеры). Следует отметить, что, некоторые дефекты в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля практически невозможно выявить ультразвуковым методом. Кроме того, затруднителен контроль деталей небольшого размера и толщины, а также деталей, имеющих сложную форму с криволинейными и сферическими поверхностями малого радиуса. Кроме того, при проведении УЗК в отличие от радиографического, как правило, невозможно однозначно охарактеризовать дефект (шлаковое включение, пора, вольфрамовое включение и другие);

2. Трудности при УЗК металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука.

3. Подготовка поверхности контроля к контролю для ввода ультразвуковых волн в металл, а именно: очистка поверхности контроля от загрязнений, отслаивающейся окалины, ржавчины, брызг расплавленного металла и так далее и создание необходимой шероховатости поверхности не хуже Rz 40 и волнистости не более 0,015, так как даже небольшой воздушный зазор между пьезоэлектропреобразователем (ПЭП) и изделием может стать непреодолимой преградой для распространения ультразвуковых волн;

4. Необходимость нанесения на контролируемый участок изделия после его зачистки непосредственно перед выполнением контроля контактных жидкостей (специальные гели, глицерин, машинное масло и другие) для обеспечения стабильного акустического контакта.

Если толщина эмалевого покрытия больше 0,08 мм, то при контроле концевой импульс от торца пера может отсутствовать. Это свидетельствует о непрозвучиваемости лопатки, а, следовательно, и о невозможности контроля такой лопатки ультразвуковым методом.

Различные покрытия, а также загрязнения на поверхности деталей, подвергаемых контролю капиллярными методами, могут перекрывать полости дефектов или полностью заполнять их. Они приводят к снижению интенсивности окраски проникающей жидкости, ухудшению ее капиллярных свойств, способствуют образованию окрашенного либо люминесцирующего фона и после нанесения проявляющей краски вызывают появление ложных дефектов. Все это ведет к снижению достоверности контроля.

Лакокрасочное покрытие заполняет полости только тех поверхностных дефектов, которые возникли до его нанесения. Полости усталостных трещин, возникших на окрашенных деталях, эластичный слой покрытия, как правило, перекрывает (пленка покрытия разрешается только при образовании крупных трещин). Растрескавшееся и набухшее под воздействием проникающей жидкости покрытие создает после нанесения проявителя ложные дефекты и окрашенный или светящийся фон. Поэтому перед капиллярным контролем лакокрасочное покрытие надо полностью удалять с поверхности проверяемых деталей.

Гальваническое покрытие создает ложные дефекты при наличии в нем повреждений: рисок, царапин, вмятин (медное, цинковое, кадмиевое покрытие), растрескиваний (хромовое, никелевое покрытие) и так далее. Его можно не удалять перед контролем в том случае, если целью контроля является обнаружение относительно крупных трещин, а также при поиске дефектов в самом гальваническом покрытии. Для обеспечения наиболее высокой чувствительности и достоверности контроля основного материала деталей гальванические покрытия следует удалять.

Пористые оксидные покрытия, окрашиваясь проникающей жидкостью, создают фон и ложные дефекты, что затрудняет обнаружение мелких действительных дефектов в основном материале. Плотные покрытия практически не окрашиваются проникающей жидкостью и не влияют на выявляемость трещин, образовавшихся после оксидирования. Мелкие трещины, образовавшиеся до оксидирования, при большой толщине оксидной пленки (20...100 мкм) могут быть закрыты [1].

Оксидная пленка, образующаяся на алюминиевых деталях при эксплуатации, как правило, не приводит к ухудшению выявляемости поверхностных дефектов. Пленка на стальных деталях, деталях из жаропрочных, магниевых, титановых, ниобиевых сплавов и вольфрама препятствует обнаружению дефектов. Особенно снижает эффективность контроля оксидная пленка, возникающая на стенках трещин у их выхода на поверхность детали. Объем продуктов окисления превышает объем неокисленного металла, поэтому окислы закупоривают устье дефектов.

Пленка на стальных деталях, деталях из жаропрочных, магниевых, титановых, ниобиевых сплавов и вольфрама препятствует обнаружению дефектов. Особенно снижает эффективность контроля оксидная пленка, возникающая на стенках трещин у их выхода на поверхность детали. Объем продуктов окисления превышает объем неокисленного металла, поэтому окислы закупоривают устье дефектов.

Оксидная пленка на деталях из стали, жаропрочных сплавов и других материалов перед капиллярным контролем должна быть удалена.

При выборе способа снятия покрытия и очистки деталей от загрязнений необходимо руководствоваться соответствующими методическими рекомендациями и установить, какие вещества могут остаться на поверхности детали и повредить нормальному процессу выявления дефектов. В некоторых случаях полости дефектов загрязняются снимаемыми

с поверхности деталей веществами или веществами, применяемыми или образующимися при очистке. Такие вещества также следует удалять из полостей дефектов. Тогда подготовку деталей к контролю выполняют последовательно различными способами так, чтобы в результате в полостях дефектов оставались вещества, легко удаляемые при прослушивании [2].

Одним из факторов, существенно влияющих на чувствительность контроля магнитопорошковым методом, является толщина немагнитного покрытия. При наличии немагнитного покрытия на поверхности проверяемой детали чувствительность метода уменьшается.

Для повышения выявляемости дефектов под слоем хрома толщиной до 50 мкм на малогабаритных объектах контроля целесообразно применять метод осмотра поверхности детали без извлечения ее из суспензии. Для этого деталь укладывают на латунную сетку, размещают суспензию и опускают в нее деталь на глубину 2...3 см. Через 10...15 с деталь поднимают к поверхности суспензии так, чтобы осматриваемая поверхность была на глубине 1...3 мм. Поверхность детали осматривают через этот слой суспензии. Если на поверхности детали накопилось большое количество порошка, то его смывают, слегка покачивая деталь в суспензии. При таком методе осмотра отсутствует смывающее действие жидкости, ее поверхностное натяжение, поэтому обеспечивается четкое выявление мелких трещин, которые обычным методом выявить не удастся [3].

Следовательно, вихретоковый метод – один из наиболее эффективных для проверки деталей с неметаллическими покрытиями, а также определения толщины этих покрытий. Для названных двух методов необходимо только чтобы не было грубых дефектов лакокрасочного покрытия, вызывающих перекося преобразователей, из-за того, что покрытия не влияют на результаты контроля радиационными методами.

В современных агрегатах пожарной техники специального назначения на детали наносят металлические, металлокерамические или керамические защитные покрытия плазменным, детонационным, газоплазменным и другими газотермическими методами. Пока не накоплено достаточного практического опыта дефектации деталей с новыми покрытиями, однако выполненные экспериментальные исследования выявляемости дефектов на образцах и деталях с напыленными покрытиями позволяют привести некоторые рекомендации [4].

Трещины в основном материале узлов, не прошедшие через слой металлического покрытия толщиной 50...80 мкм, вихретоковыми дефектоскопами типа ВД-92НП и ВД-90НП не выявляются вследствие экранирующего действия покрытия. Трещины, распространяющиеся только в слое покрытия, вихретоковыми дефектоскопами не выявляются из-за небольшой глубины [5].

На поверхности нешлифованных покрытий, нанесенных плазменно-дуговым методом напыления, выявление трещин и пор капиллярными методами затруднено из-за наличия сильного окрашенного маскирующего фона. На шлифованной поверхности таких покрытий выявляются трещины длиной более 0,1 мм. Шероховатость покрытия, нанесенного ионно-плазменным методом, обнаружению трещин капиллярными методами не препятствует. На деталях и образцах с покрытием из оксида циркония трещины в покрытии и в основном материале капиллярными методами обнаружить невозможно из-за сильного маскирующего фона.

В заключение необходимо подчеркнуть, что снятие покрытия с детали для проведения контроля и нанесение его вновь – очень трудоемкие, экономически не выгодные процессы. Поэтому разработка и применение эффективных способов неразрушающего контроля узлов и деталей без удаления защитных покрытий является актуальной и важной задачей. Наряду с более детальной проработкой возможностей и особенностей применения традиционных методов неразрушающего контроля, для решения этой задачи следует изучать и использовать новые методы: голографической интерферометрии, контактный теплотермический, газосорбционный радиоизотопный и другие [6–8].

Литература

1. Генералов А.С., Мурашов В.В., Далин М.А., Бойчук А.С. Диагностика полимерных композитов ультразвуковым реверберационно-сквозным методом // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 1. С. 42–47.
2. Троицкий В.А. Ультразвуковой контроль. Дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК. Киев: Феникс, 2006. 224 с.
3. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1991. 272 с.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // *Труды XIV Всерос. науч.-техн. конф. АКТ-2013*. Воронеж: Элист, 2013. С. 287–291.
5. Тензометрия в машиностроении: справ. пособие. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
6. Виноградов А.В., Москвин В.Н. Системный подход к проектированию многофункциональных преобразователей для неразрушающего контроля // *Тез. регион. науч.-практ. конф. «Транссиб-99»*. Новосибирск, 1999. С. 240–241.
7. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. СПб.: Издательство «СВЕН», 2014.
8. Ложкова Д.С., Далин М.А. Оценка достоверности автоматизированного ультразвукового контроля типовых сплавов с использованием математического моделирования // *В мире неразрушающего контроля*. 2014. № 4 (66). С. 15–19.

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ДЫМООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ

А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;

Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;

А.А. Пермяков, кандидат педагогических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Исследованы факторы, влияющие на интенсивность дымообразования пожарной нагрузки. Установлена связь между оптической плотностью и дымообразующей способностью дыма. Проанализированы результаты экспериментального исследования при горении различных видов пожарной нагрузки в зависимости от максимального значения оптической плотности дыма. Произведен анализ возможности использования кинетического подхода при измерении коэффициента дымообразования на основе измерений скорости потери массы в процессе горения образца. Предложено применение метода наименьших квадратов при графической интерпретации результатов измерений.

Ключевые слова: дымообразующая способность, горение пожарной нагрузки, дальность видимости на пожаре, низкотемпературный пиролиз, оптическая плотность дыма, пламенное горение, поглощающая способность, пожарная нагрузка

ON METHODS OF FIRE LOAD SMOKE GENERATION ABILITY ESTIMATION

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; A.A. Permyakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Researched factors that affect intensity of the fire load smoke generation. We established relationship between the smoke optical density and the smoke generation ability. The results of an experimental research of the maximum value of the smoke optical density of various types

of fire load dependence are analyzed. We have made an analysis of the smoke production rate measuring kinetic approach using possibility on the basis of velocity measurements of mass loss during sample combustion. We proposed the least squares method application for measurement results graphical interpretation.

Keywords: smoke generation ability, fire load burning, range of visibility in a fire, low-temperature pyrolysis, optical density of smoke, flaming burning, absorbing capacity, fire load

Особенность и химический состав горючего материала способствует повышению концентрации выделения дыма. При тепловом воздействии на материалы, составляющие пожарную нагрузку (прежде всего древесина, натуральные и синтетические ткани, полимеры, электроизолирующие материалы, лакокрасочные покрытия), может происходить интенсивное дымовыделение, приводящее к пожарной опасности, тем самым ограничивающее область применения этих материалов.

Оптические свойства дыма, характеризующиеся способностью поглощать и рассеивать свет, являются причиной снижения видимости при эвакуации людей из задымляемой зоны.

В сравнении с другими пожароопасными факторами при пожаре, потеря видимости способна значительно опережать возможные риски для людей, такие как:

- повышение температуры продуктов горения;
- недостаток кислорода в окружающем очаг горения пространстве;
- токсичность продуктов горения и другие.

Поэтому проблема ограничения в применении материалов с высокой дымообразующей способностью актуально как при проектировании зданий и сооружений, так и транспортных средств.

При сгорании строительных отделочных материалов, а также древесины и полимеров, которые составляют существенную часть пожарной нагрузки жилых и офисных помещений, дым составляют преимущественно твердые частицы, часть которых образуется в результате разложения материалов под воздействием мощного нагрева. Условия протекания пожара оказывают непосредственное влияние на качественный и количественный состав дыма.

Процессы пиролиза приводят к образованию высокомолекулярных соединений, в частности циклических ароматических углеводородов, которые и являются источниками сажи.

Несомненно, наличие токсичных веществ в составе дыма находится в прямой зависимости от качественного состава пожарной нагрузки. Однако нет прямой корреляции между количеством и разнообразием выделяющихся токсинов и интенсивностью дымообразования.

При горении пожарной нагрузки образуются дымовые газы, которые помимо сажи содержат значительное количество различных отравляющих веществ. При возникновении пожара большую угрозу для жизни и здоровья людей создает задымленность и токсичность, что затрудняет работы по спасению и тушению. Предсказать, какие типы и количество токсичных продуктов будет выделяться при горении пожарной нагрузки, пока очень сложно. Поэтому токсичность дымовых газов определяют опытным путем.

В дымовых газах, образующихся при горении пожарной нагрузки, характерной для помещений в жилых зданиях и офисах, обнаружено более 200 соединений – продуктов неполного сгорания. На частицах сажи в результате испарения и дальнейшей конденсации или частично в ходе повышения температуры выявлены соединения, которые выделяются из компонентов пожарной нагрузки.

Некоторые продукты горения пожарной нагрузки используются в качестве маркеров (меток) для определения по дыму принадлежности исходной горящей пожарной нагрузки к тому или иному ее компоненту. В частности, такими маркерами служат некоторые компоненты экстрагируемых из древесины веществ, продукты разложения лигнинов и лигнанов. Анализ дымовых газов в атмосфере, с одной стороны, подтверждает концепцию,

что экстрактивы из разных видов и пород древесины различаются по своему химическому составу и содержанию отдельных составляющих, а с другой стороны показывает их разный вклад в процесс горения древесины, часто составляющую существенную часть пожарной нагрузки.

Дымообразующая способность пожарной нагрузки оценивается через оптическую плотность дыма, образующегося при термоокислительной деструкции (тлении) или пламенном горении определенного количества материала пожарной нагрузки в условиях специальных испытаний и характеризуется коэффициентом дымообразования.

В соответствии с ISO 565932 способность материалов к дымообразованию оценивают по максимальной величине оптической плотности дыма в расчете на единицу площади образца [1] (поверхностный коэффициент дымообразования D_s). В противном случае ориентируются на единицу начальной массы образца D_{m0} или потерю массы образца за период испытания D_m .

Если $D_m < 50 \text{ м}^2/\text{кг}$, то такие материалы относятся к группе материалов с малой дымообразующей способностью; если $50 < D_m < 500 \text{ м}^2/\text{кг}$, то эта группа материалов имеет умеренную дымообразующую способность; если $D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$, то материалы обладают высокой дымообразующей способностью.

Исходя из уменьшения светопропускания в дыму, определяется оптическая плотность дыма D_m :

$$D_m = \frac{V}{L \cdot S} \lg \left(\frac{I_o}{I_{\min}} \right),$$

где L – длина прохождения светового луча через слой дыма, м; I_o, I_{\min} – величина интенсивности светового потока в начале испытания и во время испытания; V – объем испытательной камеры, м^3 ; S – эскалируемая поверхность образца, м^2 .

Результаты экспериментального исследования зависимости максимального значения оптической плотности дыма при горении различных разновидностей древесины, используемой при создании офисной мебели, от плотности внешнего теплового потока представлены на рис. 1 [2].

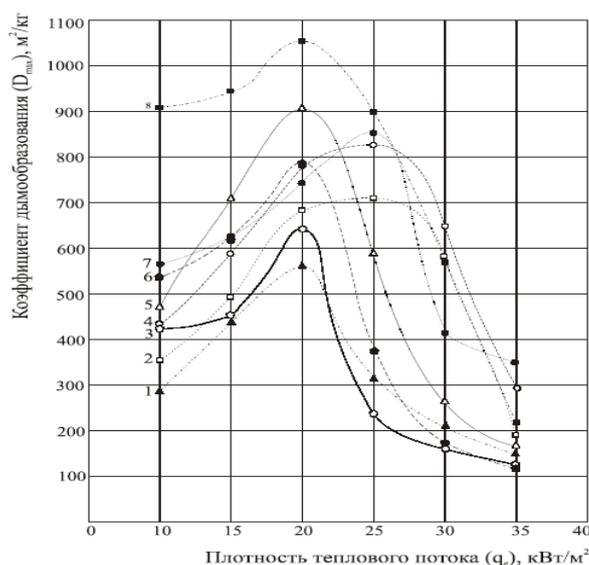


Рис. 1. Зависимость коэффициента дымообразования при тлеющем горении древесины от плотности теплового потока: 1 – ель; 2 – сосна; 4 – карагач; 5 – акация кео лай; 6 – каштан; 7 – акация кео тай; 8 – эвкалипт

При исследовании процесса дымообразования при горении пожарной нагрузки, состоящей в значительной степени из древесины и синтетических материалов, в статье [3] предлагается использовать в качестве инструмента методы математического моделирования.

Согласно исследованиям, когда происходит самовоспламенение продуктов термодеструкции, коэффициент дымообразования принимает высокие значения (результаты опубликованы в труде [2]). Типичные кривые скорости тепловыделения при горении древесины в зависимости от плотности внешнего теплового потока представлены в статье [4] и показаны на рис. 2.

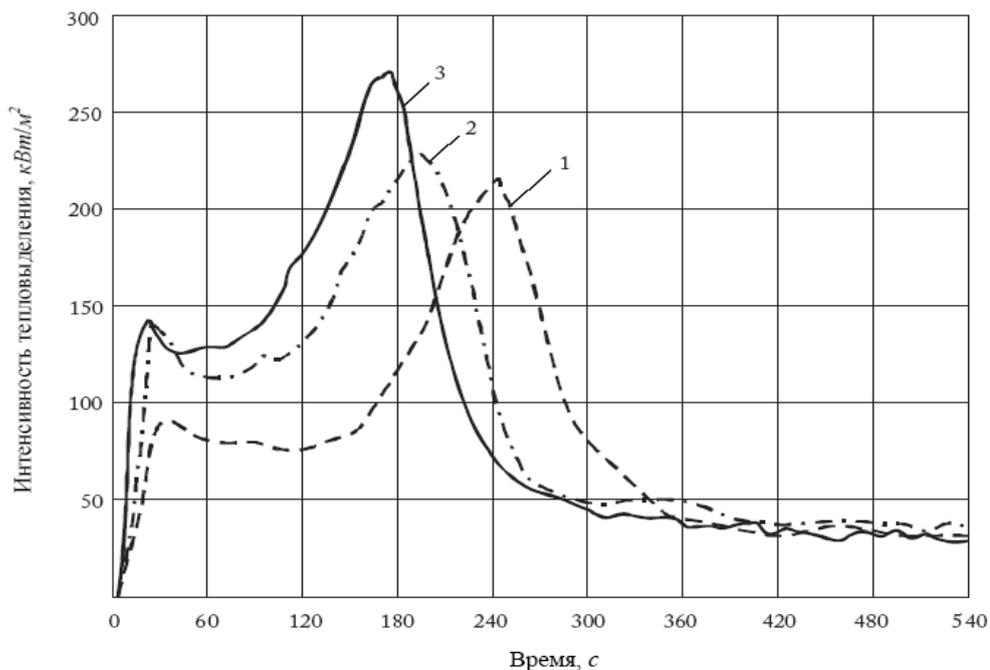


Рис 2. Влияние плотности внешнего теплового потока на интенсивность тепловыделения при горении древесины (1 – 20 кВт/м²; 2 – 35 кВт/м²; 3 – 52 кВт/м²)

Величина скорости потери массы образца $dn/d\tau$ определяется также по временной зависимости коэффициента дымообразования при заданных скоростях нагрева $dT/d\tau$, используя стандартные возможности электронные таблицы MS Excel.

Для описания процесса дымообразования при термодеструкции в атмосфере воздуха целесообразно применить кинетический подход [4], представив скорость дымообразования в виде:

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \frac{\rho \cdot D_m}{s/v} (1 - \eta) K_0 \eta \cdot \exp\left(\frac{-E_d}{R \cdot T}\right), \quad (1)$$

где ρ – плотность дыма, кг/м³; D_m – коэффициент дымообразования, м²/кг; s/v – удельная поверхность образца, 1/м; E_d – энергия активации, Дж/(моль·К); K_0 – предэкспоненциальный множитель в законе Аррениуса; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Отсюда степень превращения твердого вещества пожарной нагрузки в дымовую консистенцию определяется при помощи уравнения:

$$\eta = \frac{m_d - m_{kd}}{m_{nd} - m_{kd}},$$

где $m_{нд}$ – начальная масса исследуемого образца пожарной нагрузки; m_d – текущая масса исследуемого образца пожарной нагрузки; m_{kd} – конечная масса исследуемого образца пожарной нагрузки.

Если скорость нагрева материала $dT/d\tau = \beta$, то левую часть уравнения (1) можно представить в виде:

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \frac{d\eta}{dT} \cdot \frac{dT}{d\tau} = \beta \frac{d\eta}{dT}$$

Тогда температурная зависимость коэффициента дымообразования позволяет определить значение предэкспоненциального множителя в законе Аррениуса:

$$\frac{d\eta}{dT} = \frac{\rho \cdot D_m}{\beta \cdot s/v} (1 - \eta) K_o \eta \cdot \exp\left(\frac{-E_d}{R \cdot T}\right) \quad (2)$$

Для этого используется графическая интерпретация выражения (2) с применением логарифмического масштабирования:

$$\ln\left(\frac{d\eta}{dT}\right) = f\left(\frac{1}{T_{нд}}\right),$$

где $T_{нд}$ – начальная температура процесса дымообразования.

По тангенсу угла наклона прямой на рис. 3 можно определить значение энергии активации E_d в размерности Дж/моль.

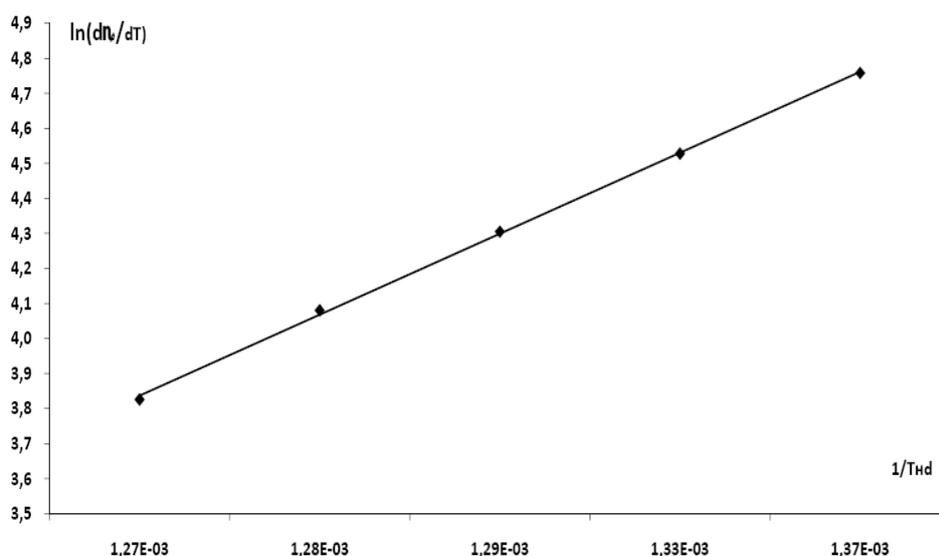


Рис. 3. Графическое выражение зависимости $\ln(d\eta/dT) = f(1/T_{нд})$ для образца напольного покрытия

Тогда значение предэкспоненциального множителя K_o определяется при помощи уравнения:

$$K_o = \frac{\frac{d\eta}{dT} \cdot \frac{s}{v} \cdot \beta}{D_m \cdot \rho \cdot (1 - \eta_d) \cdot \exp\left(\frac{-E_d}{R \cdot T_{nd}}\right)}. \quad (3)$$

Уравнение (3) еще больше упрощается для начальной стадии дымообразования, когда $1 - \eta_d \rightarrow 1$.

Таким образом, для пожарной нагрузки, состоящей из древесины и синтетических материалов, использование кинетического подхода позволяет оценить значение коэффициента дымообразования пожарной нагрузки на основе измерений скорости потери массы в процессе горения образца. Кроме того, имплементация метода наименьших квадратов при обработке результатов измерений позволит увеличить точность измерения коэффициента дымообразования пожарной нагрузки.

Литература

1. ISO 565932:1994 Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.
2. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 320 с.
3. Исаков Г.Н., Манаева А.Р. Исследования процесса стеклования напольных покрытий на основе поливинилхлорида // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 6 (58). С.1–6. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 03.04.2015).
4. Б.Б. Серков, Р.М. Асеева, А.Б. Сивенков. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 1 (41). URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 03.04.2015).

О ВЛИЯНИИ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В МАГИСТРАЛЯХ НА РАБОТУ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;

Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проанализированы закономерности между термодинамическими и газодинамическими процессами, которые обусловлены резонансными колебаниями давления газа в магистралях поршневого компрессора. Предложены критерии оптимизации процесса наполнения цилиндров газом. Выявлена связь между оптимальной длиной всасывающего трубопровода и производительностью компрессора. Предложены средства устранения резонанса.

Ключевые слова: поршневой компрессор, колебание давления, потери энергии, скачок давления, всасывающие магистрали, процесс наполнения, коэффициент наполнения

ABOUT INFLUENCE OF THE WAVE PHENOMENA IN HIGHWAYS TO WORK OF PISTON COMPRESSORS

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov.

Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia

Conformities to law are analysed between thermodynamics and gas-dynamic processes that is conditioned by resonant pressure of gas fluctuations in the highways of piston compressor. The criteria of optimization of process of filling with of cylinders gas are offered. Connection is educed between optimal length of suction pipeline and productivity of compressor. Facilities of removal of resonance are offered.

Keywords: piston compressor, pressure fluctuation, losses of energy, jump of pressure, suction highways, process of filling, coefficient of filling

На современных промышленных предприятиях широко используются многоступенчатые поршневые компрессоры. Одним из способов повышения производительности таких компрессоров является их резонансный (акустический) наддув, основанный на использовании резонансных колебаний давления газа, который хорошо исследован в современной литературе [1]. Увеличение производительности поршневых компрессоров на основе применения резонансных колебаний давления газа можно достигнуть без увеличения стоимости компрессора и затрат на его эксплуатацию, только за счет оптимизации длины, диаметра всасывающего трубопровода и обеспечения необходимых условий отражения возникающих акустических волн от концов газовой магистрали, а также выбора оптимального режима эксплуатации компрессора.

Существующие теоретические предпосылки и уже наработанные конструктивные решения в применении акустического наддува в поршневых многоступенчатых компрессорах не учитывают влияния внешних резонансных явлений, которые могут проявляться в случае отсутствия массивных фундаментов и приводить к вибрациям, искажениям показаний контрольных приборов, что ухудшает эксплуатационные характеристики применительно к потребностям Федеральной противопожарной службы (ФПС).

Периодическое всасывание воздуха в цилиндр поршневого компрессора из всасывающего трубопровода обуславливает неустановившееся (пульсационное) движение газа, что приводит к значительным колебаниям его давления. В момент закрытия всасывающего клапана возмущение, возникшее у цилиндра, будет распространяться по трубопроводу со скоростью звука $c_{зв}$. Волна давления достигает открытого конца трубопровода и, отражаясь от него, идет назад. Именно энергия этой отраженной волны с ее конкретными параметрами газа (давление P , скорость w и плотность ρ) может использоваться для резонансного наддува как способа повышения производительности компрессора. При реализации резонансного наддува необходимо решать задачу такой настройки всасывающей системы на резонансные колебания, чтобы собственная частота колебаний воздуха во всасывающем трубопроводе была равна или кратна частоте вынужденных колебаний. Источником вынужденных колебаний является периодический процесс всасывания воздуха цилиндром компрессора, а также внешнее воздействие на опоры компрессора, эксплуатируемого в мобильных условиях. Собственная частота колебаний массы воздуха зависит от столба колеблющейся массы газа, заключенной во всасывающем трубопроводе. Простейшая всасывающая система поршневого компрессора представлена на рис. 1.

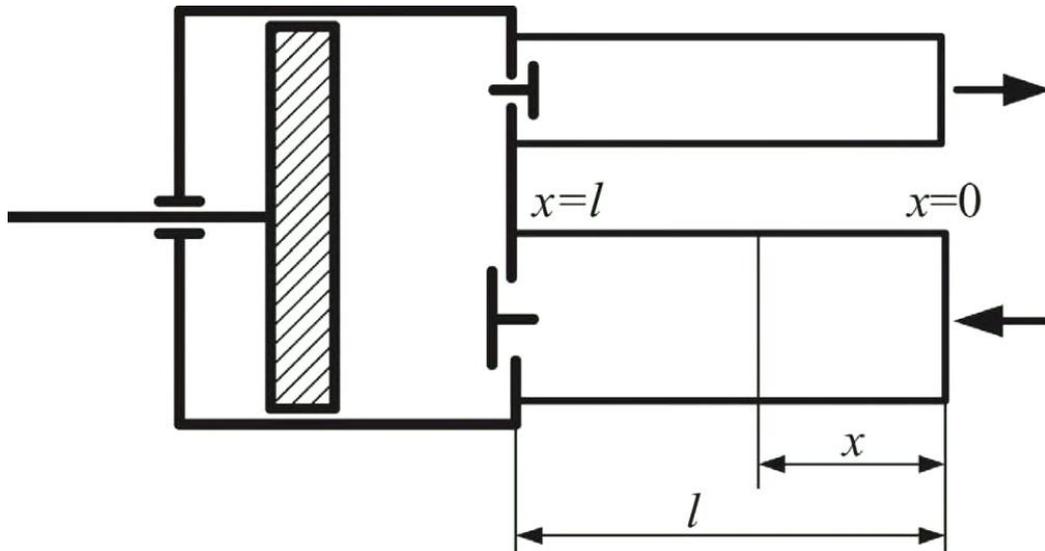


Рис. 1. Простейшая всасывающая система поршневого компрессора, где x – текущее положение максимума волны давления газа; l – длина всасывающего трубопровода

Изменение параметров газа вдоль оси трубопровода в возмущенной области образует так называемый фронт волны. Указанные возмущения могут быть описаны следующей системой дифференциальных уравнений [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w_{мг}}{\partial t^2} &= c_{зв}^2 \cdot \frac{\partial^2 w_{мг}}{\partial x^2} - 2w_{ср} \cdot \xi \cdot \frac{\partial w_{мг}}{\partial t} ; \\ \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} &= c_{зв}^2 \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - 2w_{ср} \cdot \xi \cdot \frac{\partial P}{\partial t} , \end{aligned} \quad (1)$$

где $w_{мг}$, $w_{ср}$ – мгновенное и среднее значения скорости газа соответственно; ξ – коэффициент сопротивления всасывающего трубопровода.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) требует формулировки граничных условий при $x=0$ (начальный участок всасывающего трубопровода) и $x=l$ (конечный участок всасывающего трубопровода), при этом считаем величину давления газа равной атмосферному, то есть $P=P_{ес}$.

В качестве другого граничного условия принимается уравнение неразрывности потока газа на начальном участке всасывающего трубопровода при $x=0$, из которого следует, что $\partial w_{мг}/\partial x=0$.

Как известно, одним из условий возникновения резонансных явлений является равенство частоты собственных колебаний столба газа и частоты внешних возмущающих воздействий, например, вибраций двигателя привода компрессора, в случае их установки на одной подвижной платформе (например, на автомобиле при ведении подразделениями ФПС спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ). Если речь идет о простейшем одноцилиндровом компрессоре с трубопроводом, соединенном на противоположном конце с емкостью значительного объема (например ресивером), резонансные явления наступают, если значения периода одного оборота коленчатого вала поршневого компрессора равно четырехкратному значению пробега волны давления, то есть $60/n=4 \cdot l/c_{зв}$.

Величина скорости поступательного движения газа по трубопроводу в районе цилиндра связана со скоростью цилиндра, но в отличие от нее всегда положительна, а зависимость, позволяющая определить ее численное значение, является разрывной функцией, которая при разложении ее в гармонический ряд Фурье отображается как сумма гармоник с различной амплитудой, частотой и сдвигом фаз (рис. 2).

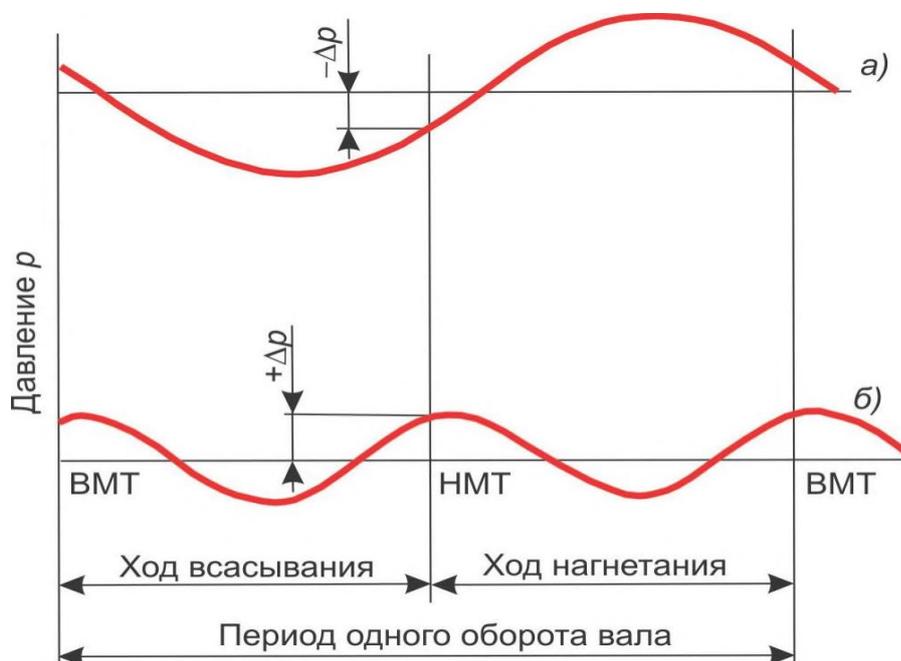


Рис. 2. Изменение давления перед всасывающими клапанами компрессора при резонансе 1-й гармоники (а) и 2-й гармоники (б)

Источником импульса движения сжимаемого газа является движение поршня, которое обуславливает соответствие между гармониками скорости газа и гармониками возбуждающего импульса. В случае возникновения резонансных явлений i -й гармоники каждый оборот коленчатого вала находится в соответствии с i -числом колебаний, таким образом, условие резонанса выглядит как $(4 \cdot i \cdot n) / 60 = c_{36} / l$. Однако если увеличить длину трубопровода в число раз, кратное нечетному числу (например, $2z + 1$), или если происходит увеличение числа оборотов коленчатого вала n , то возникнут для тех же гармоник новые резонансы, сопровождающиеся возникновением стоячих волн, при этом резонансные явления связаны выражением:

$$\frac{4 \cdot i \cdot n}{60} = (2z + 1) \frac{c_{36}}{l}.$$

Резонансные явления, возникающие в системе «свободный объем цилиндра – резонансная камера – всасывающий трубопровод» (рис. 3), зависят от длины этого патрубка, объема резонансной камеры и параметров движения газа и описываются в труде [2] уравнением:

$$\operatorname{tg} \left(\frac{w_{мг} l}{c_{36}} \right) = \frac{c_{36} f}{V_l w_{мг}},$$

где f – площадь поперечного сечения всасывающего трубопровода.

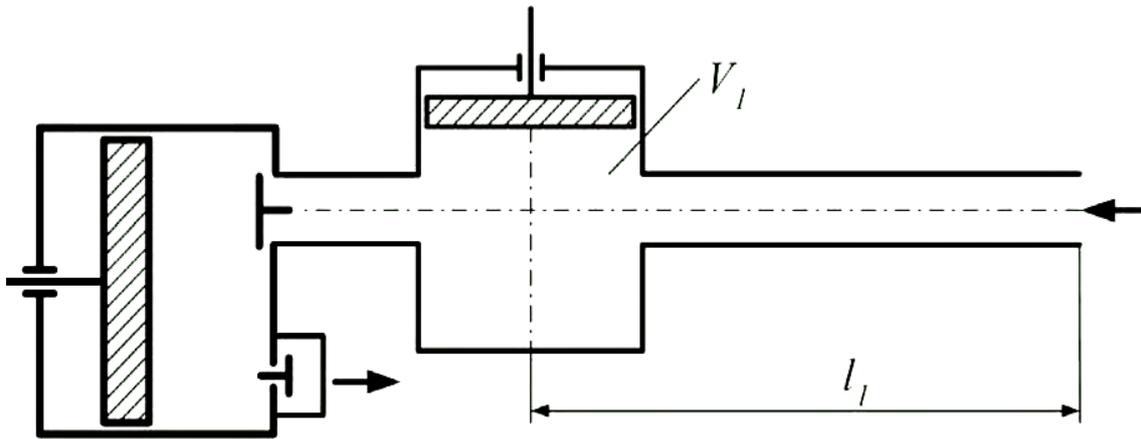


Рис. 3. Схема расположения цилиндра поршневого компрессора, нагнетательного трубопровода и ресивера

Величина амплитуды колебания давления газа при наличии резонансных явлений пропорциональна постоянной C , определяемой из соотношения:

$$C = \frac{k \cdot r \cdot w_{cp} \cdot F \cdot P}{f \cdot c_{зв}},$$

где k – постоянная адиабаты сжимаемого газа; r – радиус кривошипа коленчатого вала; F – площадь поршня данной ступени.

Уравнение, которое связывает длину волны колебаний λ и длину всасывающего трубопровода l , вытекает из условия возникновения резонанса:

$$l = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}.$$

При практической реализации применяемые схемы газообмена поршневых компрессоров часто оказываются существенно более сложными за счет включения в них различных технологических емкостей, таких как теплообменники промежуточного охлаждения газа, маслоотделители и фильтрующие камеры. Увеличение потери напора системы складывается из величины сопротивления внутренней поверхности трубопровода и местных сопротивлений технологических емкостей:

$$\xi = \xi_i + \frac{1}{2 \cdot d \left(1,14 + 2 \lg \frac{d}{\Delta} \right)^2},$$

где ξ_i – коэффициент местного сопротивления, включающий аэродинамику входной рамки, изменения эффективной площади поперечного сечения газового потока, сопротивление впускных клапанов; d – внутренний диаметр впускного трубопровода; Δ – коэффициент абсолютной шероховатости внутренней поверхности трубопровода.

Значительное влияние величины местного сопротивления газовых коммуникаций на возникновение в них резонансных явлений подтверждается результатами исследований, изложенными в работе [1].

Известным отечественным исследователем В.А. Боднером в труде [2] было показано, что применительно к резонансным явлениям во всасывающих патрубках двигателей внутреннего сгорания точность определения величины собственных частот колебаний можно увеличить, если учесть влияние среднего объема цилиндра в момент его коммуникации со всасывающим патрубком. Для поршневого компрессора это значение составляет примерно $4\div 5\%$ от суммарного по полостям рабочего объема ступени сжатия и должно быть просуммировано с объемом резонатора V_r .

Если в компрессоре используются самодействующие клапаны, то процесс повышения давления в трубопроводе распространяется на пространство в цилиндре даже в тех ситуациях, когда это повышение, возникающее на конечном участке хода поршня, продолжает действовать и на начальном участке обратного хода. Этот эффект уменьшает влияние возможного сдвига фаз колебательного процесса, позволяет повысить производительность поршневого компрессора, однако колебания, которые возникают во всасывающем трубопроводе, вызывают определенную потерю работы на сжатие, которая, как показывает практика эксплуатации, компенсируется возможным выигрышем в производительности [3–7]. В некоторых случаях за счет резонансных процессов второй гармонической составляющей это увеличение может достигнуть $20\div 25\%$ от первоначального [1].

Существующие уравнения, используемые при расчете величины собственной частоты колебаний давления газовой среды, позволяют описать только наиболее простые конструкции. При использовании более сложных конструкций аналитический метод не дает удовлетворительных решений. В этом случае рекомендуется использовать аналогию между продольными колебательными процессами в газовых средах и электромагнитными колебательными процессами в электрических цепях.

Литература

1. Рутковский Ю.А. Интенсификация работы оппозитных поршневых компрессоров акустическим наддувом // XIII междунар. науч.-техн. конф. по компрессоростроению. Т. 2. Сумы: изд-во СумГУ. 2004. С. 101–106.
2. Боднер В.А. Повышение мощности двигателей внутреннего сгорания // Дизелестроение. 1939. № 10–11. С. 29–30.
3. Пластилин П.И. Поршневые компрессоры. Т.1: Теория и расчет. 2-е изд. М.: Колос, 2008. 456 с.
4. Нормы табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 г.: приложение к приказу МЧС России от 25 июля 2006 г. № 425. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 2 / под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 1999. 880 с.
6. Земенков Ю.Д., Васильев Г.Г., Гульков А.Н. Эксплуатация оборудования и объектов газовой промышленности: учеб. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2008. 607 с.
7. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Учеб. для теплоэнергетических специальностей вузов. 2-е изд., пререраб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 416 с.



ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ СОДЕРЖАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

**С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент;
И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Раскрываются главные принципы повышения эффективности системы образования: непрерывность, опережение, многоступенчатость, преемственность, интеграция, содержательность, специализация, междисциплинарность, избирательность, потребность, конкурентоспособность, открытость и другие. На основе их анализа формируются основные направления совершенствования подготовки будущих выпускников вузов пожарно-технического профиля.

Ключевые слова: принцип, образовательный процесс, обучающийся, подготовка

ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF MAINTENANCE OF EDUCATIONAL PROCESS AND PRIORITETNYE AREAS OF TRAINING SPECIALISTS

S.V. Voronin, I.L. Skrypnyk.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The basic principles of improving the efficiency of the education system are identified: continuity, progressiveness, multi-stage, continuity, integration, content, specialization, interdisciplinarity, selectivity, need, competitiveness, openness and others. On the basis of their analysis, the main directions of improving the training of future graduates of fire-technical profile are formed.

Keywords: principle, educational process, students, training

В настоящее время постоянно совершенствуется образовательный процесс в вузах. Перерабатываются федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), в них вносятся новые требования к системе образования, делается упор на совершенствовании электронной информационной образовательной среды. Происходит слияние кафедр в более крупные структурные подразделения, в масштабах университетов появляются новые институты, школы, уточняются и конкретизируются содержание и формы учебно-методического обеспечения (УМО) образовательного процесса, корректируется учебно-методический комплекс (УМК), совершенствуется учебно-методическая база (УМБ), используются и внедряются новые виды занятий (том числе активные, интерактивные), развивается дистанционная форма обучения.

В этих условиях непрерывного реформирования системы обучения неизменными остаются основные принципы содержания образования, которые видоизменяются в условиях объективной реальности и с учетом нововведений наполняются новым содержанием.

Фундаментальной базой для создания и качественного функционирования высших учебных заведений в области учебного процесса служат основополагающие правила (принципы) государственной политики, определенные в Законе Российской Федерации «Об образовании», выступающие в качестве главных направлений системы образования Российской Федерации [1], а именно:

- гуманистический характер обучения с уклоном на человеческие ценности, возможность свободного развития личности. Воспитание у обучающихся чувства гражданской ответственности, трудолюбия, уважения к правам, обязанностям и свободам личности, выбранной профессии, любви к окружающей природе, Родине, семье, выполнению своего гражданского долга;

- взаимосвязь культурного и образовательного пространства. Защита, развитие и совершенствование системы образования различных культур, традиций и особенностей в условиях многонационального государства;

- доступность образования, приспособленность его к уровням и особенностям подготовки обучающихся;

- светский характер образования в государственных и муниципальных учебных заведениях;

- свобода и плюрализм в обучении, выбор на усмотрение обучающегося разных форм, видов, способов образования, различных учебных заведений;

- демократический, общественный характер управления образованием.

Чтобы система образования постоянно была эффективна, она должна строиться на основе принципов, к которым относятся: непрерывность, опережение, многоступенчатость, преемственность, интеграция, содержательность, специализация, междисциплинарность, избирательность, потребность, конкурентоспособность, открытость и другие.

Непрерывность подразумевает приобретение обучающимися новых знаний (информации), навыков и умений. Постоянно совершенствуется и модернизируется новая аварийно-спасательная техника, разрабатываются огнетушащие вещества на других физических принципах действия и технических решениях, совершенствуются тактика и способы тушения пожаров, применяемые подразделениями пожарной охраны [2]. Для быстрого вхождения в должностные обязанности, после выпуска из университета молодые специалисты должны напряженно и целенаправленно повышать уровень знаний и совершенствовать свое мастерство. Для этого у них имеются все необходимые возможности: новая техника, оборудованные учебные аудитории с современным компьютерным оборудованием и техническими средствами обучения, испытательный полигон.

Принцип непрерывности тесно связан с принципом опережения. С появлением новых технологий, образцов техники обучающиеся в стенах университета должны активно работать, чтобы при исполнении своих служебных обязанностей они могли служить примером, образцом для коллег в сфере знания перспектив развития пожарной области: техники, средств их применения, изменений в нормативных и руководящих документах.

Непрерывное образование связано с изучением материала от простого к сложному, которое проходит через всю деятельность человека в виде последовательных этапов обучения и получения соответствующего образования: школа, вуз (бакалавриат или специалитет), при необходимости приобретение дополнительной специальности, на различных курсах. Это реализуется через многоступенчатость обучения, которое взаимосвязано с преемственностью, предполагающей переход от низшего уровня образования к высшему и обеспечивающей постоянное повышение образованности человека. В наше время только образованный человек может добиться успехов в своей

деятельности, получить дальнейшее продвижение по службе. Поэтому во многих коммерческих организациях руководителем всегда приветствуется получение работником дополнительного образования, особенно в области деятельности фирмы. Это является одной из составляющих успешного прохождения ее аккредитации и получения лицензии на проведение различных видов работ. В образовательном учреждении это реализуется через различные формы повышения квалификации.

Преимуществом подразумевает согласованность и координацию учебных программ, в которой лидирующая роль отводится вузам. Они активно сотрудничают со школами, техникумами, училищами, уделяя значительное внимание профессиональной подготовке обучающихся, проведению уроков знаний, пропагандируя пожарно-технический минимум, показывая патриотические видеофильмы, личным примером привлекая подрастающее поколение к выбору сложной, нужной, героической профессии пожарного. Также в стенах университета имеется возможность дополнительного обучения и переподготовки.

Важное условие получения качественного высшего образования – это реализация принципа интеграции, предполагающего дополнительное взаимодействие систем образования, науки и производства. В вузе в качестве такой координирующей системы выступают:

- центр организации научно-исследовательской и редакционной деятельности, осуществляющий выпуск учебных пособий, монографий, лабораторных практикумов, проведения всероссийских и международных конференций, выставок, круглых столов;
- научно-исследовательский институт, осуществляющий сопровождение и подготовку научно-исследовательских работ, проведение экспертиз;
- лаборатории при кафедрах.

Во многих вузах фундаментальные и прикладные исследования претворяются в жизнь в научно-исследовательских лабораториях кафедр, в виде конкретных образцов, разработанных алгоритмов, методик, программ.

К принципу содержательности образования относят:

- обучение с уклоном на практическую составляющую учебного процесса, глубокое и качественное изучение предметов профессиональной подготовки;
- приведение специального образования в полное соответствие с ФЗ № 273, требованиями ФГОС, общекультурными, специальными и профессионально-специальными компетенциями;
- соответствие системы образования уровню научно-технического прогресса и потребностям вышестоящих систем по удовлетворению их запросов и задач;
- организация образовательного процесса в вузе с учетом задач, возникающих в Российской Федерации по устранению чрезвычайных ситуаций и задач, поставленных руководством МЧС России. На совещании с руководителями структурных подразделений Министр МЧС России обращал внимание на необходимость развития нормативной базы за счет подготовки и совершенствования ГОСТов, СП, Федеральных законов на основе научно-технического процесса, прогрессивных технологий, возникающих рисков, чрезвычайных ситуаций и современного иностранного опыта;
- создание учебного процесса с учетом условий, в которых будущие выпускники вуза будут на практике использовать полученные знания.

Проведенный анализ принципов содержания образовательного процесса помог сформулировать главные перспективы совершенствования подготовки обучающихся:

1. Доработка учебных программ в области изучения тем профилактики пожарной опасности действующих производств, административных, жилых зданий, культовых помещений, особо важных объектов энергетики и проведения аварийно-спасательных работ при различного рода чрезвычайных ситуациях.
2. Непрерывное обновление УМК в связи со сложившейся в Российской Федерации обстановкой (паводок, пожар в торговом центре «Зимняя Вишня»).
3. Повышение эффективности изучения новых дисциплин.

В учебный процесс вносятся новые способы и технологии, стимулирующие познавательную деятельность студентов (слушателей). Широко используются интерактивные методы обучения.

Применение таких методов активного обучения в образовательном процессе вуза способствует повышению уровня знаний, навыков, умений без которых выпускник не сможет должным образом выполнять свои служебные обязанности и осуществлять регуляцию собственной деятельности с учетом внезапно возникающих факторов окружающей среды. Поэтому профессорско-преподавательскому составу так же необходимо постоянно и непрерывно повышать свои знания как самостоятельно, так и в системе повышения квалификации или обмена опытом [3].

Большое значение при проведении занятий имеет учебно-материальное обеспечение. Наличие в аудиториях современного компьютерного оборудования с программным обеспечением, наглядных, хорошо оформленных информационных стендов, технических средств обучения, лабораторного оборудования создает у обучающихся дополнительное желание лучше изучить и познать новый материал. Качественно подготовленный УМК (по специальным профилирующим дисциплинам в основном преподавателями кафедр) помогает обучающимся ознакомиться с последними руководящими и нормативными документами, их дополнениями и изменениями, подробно изучить дисциплину.

4. Повышение количества часов, отводимых на выполнение расчетных задач, инженерно-графических работ, курсовое и дипломное проектирование.

5. Изучение вопросов учебных программ и тематических планов с учетом индивидуальных особенностей каждого студента (слушателя).

6. Увеличение взаимодействия профессорско-преподавательского состава с выпускниками. Данное направление может быть реализовано путем организации прямой и обратной связи с выпускниками университета [4].

7. Изучение специальных программных пакетов по расчету пожарных рисков, ликвидации чрезвычайных ситуаций, своевременному прибытию подразделений на место пожара, изучению физико-химических свойств веществ и материалов, новых принципов и способов защиты от пожара, пожарозащищенного и взрывозащищенного электрооборудования, руководящих и нормативных документов с использованием статистических математических методов, системы массового обслуживания, теории надежности и вероятностных моделей, компьютерной графики [5].

8. Широкое внедрение в учебный процесс активных форм обучения, например, различных видов интерактивных занятий.

9. Воспитание слушателей на основе сложившихся традиций подразделений пожарной охраны.

10. Укрепление связей и деловых контактов профессорско-преподавательского состава кафедры с профилирующими вузами Санкт-Петербурга, в которых изучаются аналогичные дисциплины или осуществляется выпуск по такой же специальности и практическими подразделениями пожарной охраны [6].

Литература

1. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29 дек. 2012 г. № 273-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Иванов А.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Исследование процессов электризации при обращении с модифицированными наножидкостями и лакокрасочными материалами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 110–119.

3. Воронин С.В., Скрипник И.Л., Каверзнева Т.Т. Методики оценки профессорско-преподавательского состава и обучающихся в учебном процессе // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2018. № 4. С. 95–100.

4. Осипчук И.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Роль института безопасности жизнедеятельности и научно-педагогического состава кафедры в организации работы с выпускниками // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2018. № 3. С. 125–131.

5. Медведева Л.В. Развитие творческого мышления как одна из приоритетных образовательных задач современной высшей школы // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 4 (28). С. 44–48.

6. Седнев В.А. Методология оценки устойчивости и развития структуры организаций системы образования, осуществляющих образовательную деятельность // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 2 (26). С. 111–117.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА КВАЗИРЕГУЛЯРНОСТИ

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности моделирования случайных процессов с использованием принципа квазирегулярности. Приведены результаты моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части путем решения дифференциальных уравнений динамики средних с использованием принципа квазирегулярности. Для решения системы дифференциальных уравнений использована рекуррентная нейронная сеть с обратными связями, реализованная в виде программы для ЭВМ.

Ключевые слова: случайный процесс, система обыкновенных дифференциальных уравнений, нейронная сеть, компьютерная программа, математическая модель

SIMULATE THE RANDOM PROCESS WITH USE THE PRINCIPLE OF QUASIREGULARITY

A.Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

This article presents the problem of simulate the random process with use the principle of quasiregularity. The neural networks use for solution the system of ordinary differential equation. The neural network to realize in form the mathematical model and computing program.

Keywords: random process, system of ordinary differential equation, neural network, computing program, mathematical model

Разработка математических моделей, описывающих состояния материальных ресурсов пожарных частей МЧС России, позволяет повысить эффективность использования материальных ресурсов и тем самым обеспечить высокую производительность работы пожарных подразделений. В данной работе исследуются состояния системы, в качестве которой рассматривается автомобильный парк пожарной части, путем моделирования состояний элементов системы, представляющих собой пожарные машины.

При большом числе возможных состояний системы использование методов описания случайных процессов, протекающих в системе, с помощью математического аппарата марковских цепей становится затруднительным, так как необходимо будет составить большое число дифференциальных уравнений Колмогорова. Совместное решение большого числа дифференциальных уравнений затруднительно даже при наличии ЭВМ, а при нахождении вероятностей состояний системы результаты будут труднообозримыми [1].

Кроме того, имеется обширный круг задач, в которых целью моделирования случайных процессов является определение средних количеств элементов системы, находящихся в одинаковых состояниях, а не определение вероятностей этих состояний.

Разрешение этих трудностей возможно с помощью метода динамики средних, когда вместо вероятностей состояний системы получают решения для средних характеристик состояния системы [2]. При этом элементы системы считаются однородными, а интенсивности потоков событий – независимыми от средних численностей состояний системы. В методе динамики средних рассматривается не состояние системы в целом, а состояние отдельного элемента системы. Каждый элемент системы может быть в любом из n возможных состояний: s_1, s_2, \dots, s_n .

Состояние системы в целом в каждый момент времени t характеризуется числом элементов системы, находящихся в состоянии s_k , которое будет случайным. Характеристиками случайной величины $X_k(t)$ (численность элементов системы, находящихся в состоянии s_k) являются математическое ожидание и дисперсия: $m_k(t) = M[X_k(t)]$; $D_k(t) = D[X_k(t)]$. Для нахождения этих характеристик нужно знать интенсивности всех потоков событий, переводящих элемент системы из одного состояния в другое.

Таким образом, в методе динамики средних задача описания случайных процессов, протекающих в системе, сводится к определению вероятностей состояния отдельных элементов системы, которые могут быть получены путем решения дифференциальных уравнений (ДУ) Колмогорова [2].

Принцип квазирегулярности

В общем случае интенсивности λ_i потоков событий, переводящих элемент системы из одного состояния в другое, зависят от того, сколько элементов x_i в данном состоянии имеется в системе. Однако величины x_i являются случайными, поэтому и интенсивности потоков событий будут случайными.

Преодоление этого затруднения достигается допущением, названным принципом квазирегулярности [3]. Принцип квазирегулярности состоит в следующем: считается, что интенсивности λ_i потоков событий зависят не от мгновенных значений численности состояний x_i , а от их средних значений m_i (математических ожиданий), то есть $\lambda_i = f(m_i)$.

Погрешность от этого допущения при моделировании тем меньше, чем ближе к линейной зависимости $\lambda_i = f(m_i)$ и чем больше общее количество N элементов системы.

Многочисленные расчеты показывают [3], что при $N = 50 \div 100$ точность моделирования приемлема для инженерных оценок, если же функции $\lambda_i = f(m_i)$ близки к линейным, то приемлемые результаты получаются уже при $N \geq 10$.

Рассмотрим пример моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части. Каждая пожарная машина, находящаяся в пожарной части, может находиться в исправном состоянии S_1 или в состоянии S_2 – ремонтироваться в мастерской части. Если бы каждая неисправная пожарная машина сразу попадала к свободному мастеру, то никаких очередей из неисправных пожарных машин, ожидающих ремонта, не было бы, и граф состояний пожарных машин имел бы вид, приведенный на рис. 1:

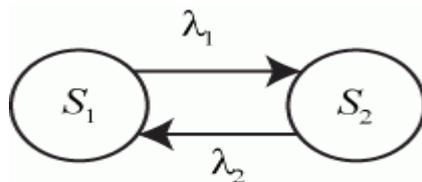


Рис. 1. Граф состояния пожарных машин, где:

S_1 – состояние, в котором пожарная машина исправна; S_2 – состояние, в котором пожарная машина неисправна и ремонтируется; λ_1 – интенсивность выхода пожарной машины из строя; λ_2 – интенсивность ремонта пожарной машины одним мастером

В этом случае λ_1 и λ_2 были бы постоянными величинами и, естественно, не зависели бы от численности состояний. Уравнения динамики средних имели бы следующий вид:

$$dm_1/dt = -\lambda_1*m_1 + \lambda_2*m_2; \quad dm_2/dt = -\lambda_2*m_2 + \lambda_1*m_1; \quad m_1 + m_2 = N,$$

где N – общее число пожарных машин в пожарной части.

Полагаем, что процессы наработки на отказ и ремонта пожарных машин являются марковскими процессами и стационарный режим существует.

Далее предположим, что в мастерской пожарной части два механика и неисправные пожарные машины могут ожидать ремонта. В этом случае интенсивность переходов пожарных машин из неисправного состояния в исправное зависит от числа пожарных машин, находящихся в мастерской. Обозначим эту интенсивность $\tilde{\lambda}_2$. Граф состояний пожарных машин имеет вид, представленный на рис. 2:

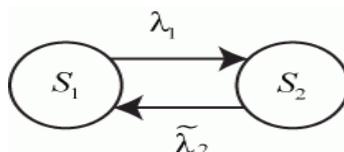


Рис. 2. Граф состояний пожарных машин

Общую интенсивность ремонта пожарных машин в мастерской обозначим $\varphi(x_2)$. При $x_2 = 2$ интенсивность ремонта максимальна, так как работают оба механика. При дальнейшем увеличении неисправных пожарных машин x_2 интенсивность $\varphi(x_2)$ возрастать не может. Очевидно, что интенсивность ремонта, приходящаяся на одну пожарную машину, находящуюся в мастерской, будет равна: $\lambda_2 = \varphi(x_2)/x_2$.

Применим принцип квазирегулярности, то есть будем считать, что интенсивность ремонта λ_2 зависит не от случайных численностей неисправных пожарных машин x_2 , а от среднего значения (матожидания) таких машин m_2 . Тогда интенсивность ремонта $\lambda_2 = \varphi(m_2)/m_2$ и уравнения динамики средних, описывающих случайный процесс изменения средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части, примут следующий вид:

$$\begin{aligned} dm_1/dt &= -\lambda_1*m_1 + \varphi(m_2); \\ dm_2/dt &= -\varphi(m_2) + \lambda_1*m_1; \\ m_1 + m_2 &= N. \end{aligned}$$

$$\varphi(m_2) = \lambda_2*m_2 \text{ при } m_2 < M \text{ и } \varphi(m_2) = \lambda_2*M \text{ при } m_2 \geq M,$$

где M – количество механиков; λ_2 – интенсивности ремонта одной машины. Начальные условия: $t = 0, m_1 = N, m_2 = 0$.

Компьютерное моделирование случайного процесса

Рассмотрим влияние среднего времени ремонта пожарной машины на динамику работы пожарной части. Допустим, что в пожарной части находится 10 пожарных машин ($N=10$) и ремонтом занимаются 5 механиков ($M=5$).

Пусть среднее время безотказной работы пожарной машины равно $T_1 = 15$ суток = 0,5 месяца. Тогда интенсивность выхода пожарной машины из строя: $\lambda_1 = 1/T_1 = 2,0$. Пусть среднее время ремонта пожарной машины может изменяться от $T_2 = 5$ дней = 1/6 месяца до $T_2 = 1$ месяц. Тогда интенсивность ремонта одной пожарной машины будет меняться от $\lambda_2 = 6,0$ до $\lambda_2 = 1,0$.

Для определения влияния среднего времени ремонта были проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ. Для решения указанной выше системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) динамики средних использовалась

программа для ЭВМ, реализующая модель рекуррентной нейронной сети [4]. Интерфейс программы, реализующей модель рекуррентной нейронной сети, используемой для решения системы ОДУ, представлен на рис. 3.

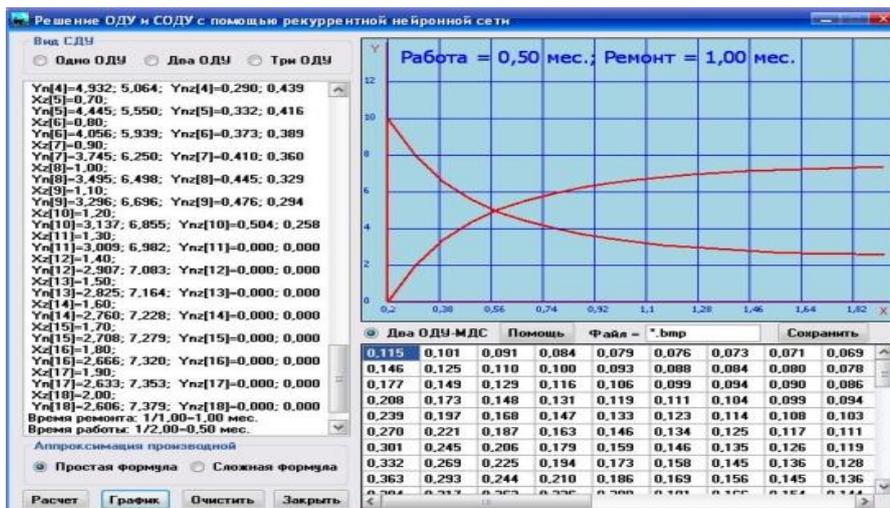


Рис. 3. Интерфейс программы решения систем ОДУ

Результаты компьютерного моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части представлены на графиках (рис. 4, 5):

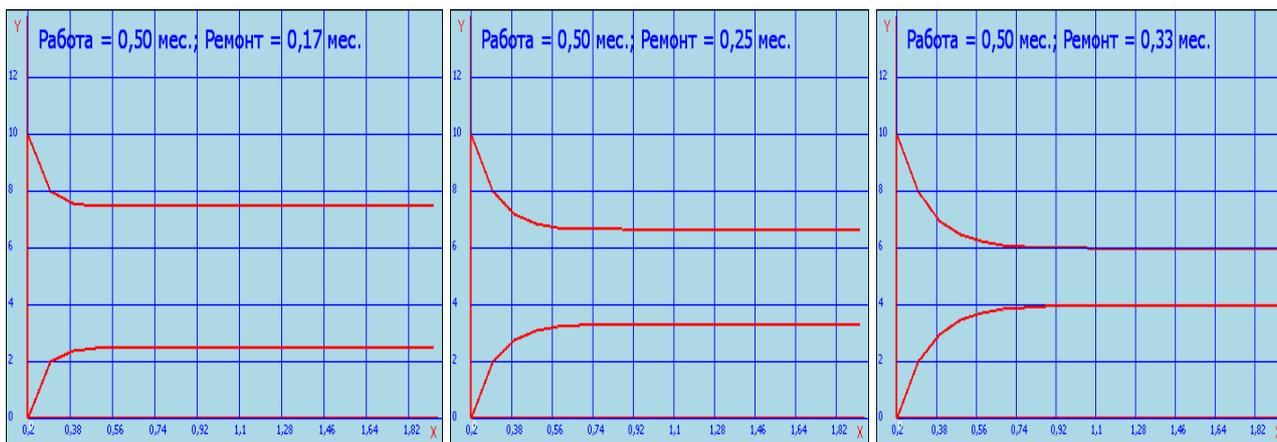


Рис. 4. Динамика работы пожарной части: продолжительность ремонта пожарных машин $T_2 = 1/6 (0,17), 1/4 (0,25)$ и $1/3 (0,33)$ месяца

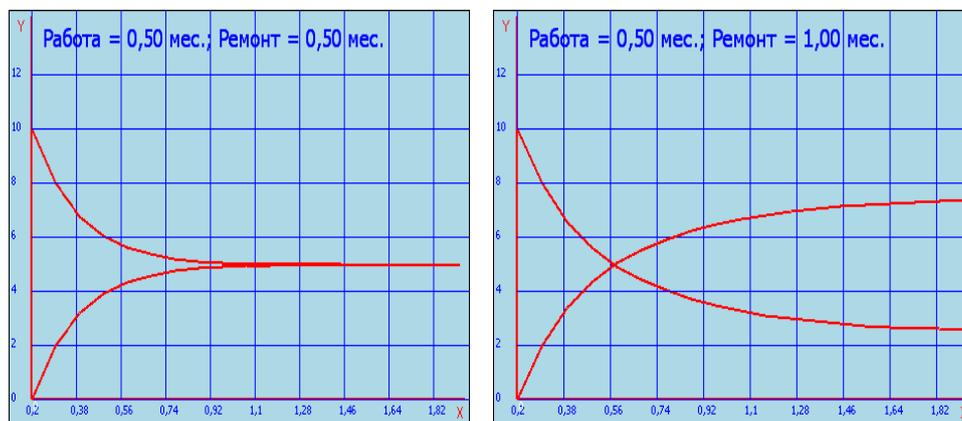


Рис. 5. Динамика работы пожарной части: продолжительность ремонта пожарных машин $T_2 = 1/2 (0,5)$ месяца и 1 месяца

Выполнено компьютерное моделирование марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части путем решения дифференциальных уравнений динамики средних с использованием принципа квазирегулярности. Для решения системы дифференциальных уравнений использована рекуррентная нейронная сеть с обратными связями, реализованная в виде программы для ЭВМ. Результаты расчетов показывают, что пожарная часть, имеющая 10 пожарных машин и 5 ремонтирующих пожарные машины механиков, в стационарном (установившемся) режиме работы в зависимости от продолжительности ремонта неисправной пожарной машины, составляющей от 5 дней до 1 месяца, будет иметь от 7 до 3 пожарных машин в рабочем состоянии и от 3 до 7 пожарных машин в состоянии ремонта.

Литература

1. Таха А., Хемли В. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2015.
2. Астафьева Л.К. Исследование операций. Казань: КГУ, 2012.
3. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций. М.: МГТУ, 2008.
4. Лабинский А.Ю. Решение систем дифференциальных уравнений с использованием нейронных сетей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 1. С. 105–112.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОЕННЫХ ГОРОДКОВ

В.И. Мусатов;

Г.В. Макаrchук, кандидат педагогических наук, доцент.

**Военный институт (инженерно-технический) Военной академии
материально-технического обеспечения им. генерала армии**

А.В. Хрулева;

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный
работник высшей школы Российской Федерации.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Произведен обзор норм отечественного и международного законодательства, регламентирующих выбросы сточных вод в водоемы на примере военного городка, расположенного на берегу Финского залива. Проведенное исследование позволяет утверждать о необходимости модернизации очистных сооружений военных городков в самые сжатые сроки.

Ключевые слова: сточные воды, загрязнения, гидросфера, канализация, очистные сооружения

REVISITING OF THE MILITARY CAMPS SEWAGE DISPERSAL PLANTS MODERNISATION

V.I. Musatov, G.V. Makarchuk.

Military engineering-technical institute of Military academy of logistics named after General of Army A.V. Khrulev;

L.V. Medvedeva.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is concerned with norms of the law which specify discharge of sewage water (refers to military camp). Results of investigation give evidence of requirement of military camps sewage dispersal plants modernization.

Keywords: sewage, pollution, hydrosphere, sewage, sewage dispersal plants

Вода является одним из наиболее распространенных в природе веществ. Мировые водные запасы оценивают на уровне 1,4 млрд км³. Пресная вода составляет приблизительно 2,5 % (35 млн км³), из них 24 млн км³ недоступны, так как входят в состав ледников и ледяного покрова [1].

Возобновляемая часть запасов пресной воды представлена в основном поверхностными водами (реки, озера, водные потоки), которые распределены крайне неравномерно. Именно по этой причине только 30 % мирового стока пресной воды доступны для человеческой деятельности. Аналогично ископаемым видам топлива эти водные ресурсы планеты накапливаются медленно.

Вода нужна для различных природных процессов, для жизнедеятельности растительных и животных организмов и человека, в самых разных областях народного хозяйства. Вода – необходимый источник жизни, важнейший экологический ресурс и главная составляющая живых организмов.

Вода обладает рядом уникальных термодинамических свойств, которые способствуют уменьшению температурных колебаний и существованию жизни в экстремальных условиях. К этим свойствам относятся: высокая удельная теплоемкость; большая скрытая теплота плавления; значительная скрытая теплота парообразования (при испарении 1 г воды поглощается 586 ккал) [2].

Биологическое значение воды заключается в трех аспектах: компонент, растворитель, носитель.

Положение с возобновляемыми ресурсами пресной воды в целом ряде стран нельзя рассматривать иначе, нежели критическое. По существующим оценкам при объеме возобновляемых ресурсов пресной воды на душу населения на уровне 1 700 м³/год в стране возникает периодический или региональный дефицит воды. В странах, где этот показатель не превышает 1 000 м³/год, дефицит воды становится препятствием для экономического развития и вызывает деградацию природной среды. Вот какие прогнозы приводятся на 2025 г. для стран, находящихся в наиболее бедственном положении (в м³/год чел): ОАЭ – 58, Саудовская Аравия – 59, Иордания – 81, Йемен – 85, Ливия – 100, Оман – 185, Бурунди – 291, Тунис – 316, Израиль – 330, Алжир – 335, Руанда – 489, Кения – 683, Марокко – 714, Египет – 723, Сомали – 741, Буркина Фасо – 773, Зимбабве – 775, Малави – 952, Эфиопия – 970, Пакистан – 1 016, Ливан – 1 048, Дания – 1 107, Гаити – 1 141, ЮАР – 1 142, Уганда – 1 228, Нигер – 1 263, Иран – 1 293, Корея – 1 378, Нигерия – 1 380, Индия – 1 411, Афганистан – 1 438, Того – 1 460, Танзания – 1 474, Бельгия – 1 568, Сирия – 1 631, Чехия – 1 645, Польша – 1 691, Гана – 1 720, КНР – 1 912 [3].

Из представленных данных видно, что в наиболее бедственном положении находятся страны Ближнего и Среднего Востока и Северной Африки, в которых проживает 6,3 % населения планеты, но сосредоточено только 1,6 % возобновляемых ресурсов пресной воды.

Большая часть воды (83 %), потребляемой людьми, отбирается из поверхностных водоемов суши, 13 % – из подземных источников воды, не более 4 % – из морских водоемов [4].

Природная вода – сложная, постоянно изменяющаяся система, содержащая минеральные и органические вещества, находящиеся во взвешенном (глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы), коллоидном (органические вещества, кремниевая кислота, гидроксид железа и другие), истинно растворенном, а также в газообразном состоянии (углекислота, сероводород, метан, кислород, азот), гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон), бактерии, вирусы.

Концентрация отдельных примесей в воде определяет ее свойства, совокупность которых называют качеством воды. Показатели качества воды подразделяют на физические

(температура, взвешенные вещества, цветность, запах, вкус и др.), химические (жесткость, щелочность, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.), биологические (гидробионты) и бактериологические (общее количество бактерий, коли-индекс и др.) [1].

К главным источникам загрязнения гидросферы можно отнести:

- сточные воды энергетических, химических, медицинских, оборонных, жилищно-коммунальных и других объектов;

- захоронение радиоактивных отходов в контейнерах и емкостях, которые через определенный период времени теряют герметичность;

- водный транспорт – эксплуатация несовершенных технических средств, экологически опасных технологических процессов и веществ, а также аварии и катастрофы – причины того, что в водные пространства попадают более 20...30 млн т нефти и продуктов ее переработки;

- сточные воды с земли, полученные при таянии снега и льда, а также выпадении дождей;

- атмосферный воздух, загрязненный токсичными, радиоактивными и другого рода поллютантами – веществами антропогенного происхождения, загрязняющими среду обитания живых существ [5].

Для хозяйственно-бытовых нужд человек употребляет, главным образом, воду поверхностных источников.

При попадании сточных вод, содержащих токсичные, химические и радиоактивные вещества, в водный объект меняется состав гидросферы. Вода становится опасной средой обитания и опасной для использования в хозяйственно-бытовых целях. По трофической цепи вредные вещества могут попадать в организм человека.

Качественный и количественный состав вредных веществ в сточных водах определяется временем года, суточным режимом работы, видом предприятия.

По причине аварийных ситуаций, из-за морально и физически устаревшего оборудования и очистных систем часты случаи попадания сточных сбросов вместе с продуктами жизнедеятельности людей и животных в питьевую воду, что приводит к увеличению в ней численности и разнообразия видов патогенных микроорганизмов.

Во многих городах Российской Федерации образуется большое количество сточных вод, которые сбрасывают без очистки или недостаточно очищенными от содержащихся в них вредных веществ и микробов. В результате ухудшаются свойства, качество и химический состав воды, и загрязненная вода становится непригодной для питьевых целей, выращивания культур продовольственного назначения, использования для хозяйственно-бытовых целей.

Финский залив – участок Балтийского моря, омывающий берега не только России, но и Финляндии, Эстонии, в последнее время в центре внимания экологов: специалисты утверждают, что воды Финского залива небезопасны сразу по нескольким параметрам.

Акватория Санкт-Петербурга подвержена сбросам сточных промышленных и бытовых вод от многочисленных заводов, портов и объектов селитьбы (земельная площадь в городах и других населенных пунктах, занятая застройками, садами, городскими проездами), вследствие чего в воды Финского залива постоянно вносятся загрязняющие вещества не только с прилегающих к акватории промышленных объектов, но также из притоков Невы, непосредственно самой Невы и с донных отложений в ее акватории.

На берегах Финского залива находится не один военный городок. Наиболее часто выброс сточных вод осуществляется непосредственно в акваторию залива. Авторами исследовалась работа одной из станций очистки бытовых сточных вод военного городка (с населением около 3 000 человек), расположенного на берегу Финского залива.

Состав очистных сооружений данного военного городка:

- приемный резервуар;

- механическая решетка;

- главная насосная станция;

- компрессорная;

- хлораторная;

- контактные резервуары;
- установки КУ-200;
- иловые площадки закрытого типа.

В настоящее время все сооружения станции очистки сточных вод находятся в аварийном состоянии: насосы выведены из строя, средства автоматики и коммутации неисправны, участки трубопровода частично разрушены, резервуары установок КУ-200 требуют замены трубопроводов.

Очищенные сточные воды в настоящее время выбрасываются в акваторию Финского залива через выпускную трубу диаметром 250 мм. Выход трубы находится от берега на расстоянии 300 м и требует профилактического осмотра, так как он расположен на дне залива и возможно ее частичное заиливание.

Для определения негативного воздействия на воды залива, первоначально определяем расходы сточных вод, поступающих от городка. Удельное водопотребление по табл. 1 [6] принимаем для жилой зоны 280 л/чел*сут, для казарменной – 250 л/чел*сут.

Таблица 1. Численность населения батальона обеспечения учебного процесса

Название зоны	Численность населения, чел.	
	в летний период	в зимний период
Жилая зона	1 500	1 200
Казарменная зона	1 500	300
Всего по населенному пункту	3 000	1 500

Удельное водопотребление по табл. 1 [6] принимаем для жилой зоны 280 л/чел*сут, для казарменной – 250 л/чел*сутки.

Расчетное удельное среднесуточное водоотведение сточных вод:

$$Q_{\text{ж. жилой зоны}} = \frac{280 * 1500}{1000} = 420 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

$$Q_{\text{ж. казарменной зоны}} = \frac{250 * 1500}{1000} = 375 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

$$Q_{\text{ж. всего}} = 420 + 375 = 795 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

Коэффициенты суточной неравномерности водопотребления:

$$K_{\text{сут. max}} = 1,3; K_{\text{сут. min}} = 0,9;$$

В сутки наибольшего и наименьшего водопотребления:

$$Q_{\text{сут. max жилой зоны}} = 1,3 * 420 = 546 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

$$Q_{\text{сут. min жилой зоны}} = 0,9 * 420 = 378 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

$$Q_{\text{сут. max казарм. зоны}} = 1,3 * 375 = 487,5 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

$$Q_{\text{сут. min казарм.зоны}} = 0,9 * 375 = 337,5 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}};$$

Средние часовые расходы:

$$Q_{\text{ч. ср. жилой зоны}} = \frac{420}{24} = 17,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{ч. ср. казарменной зоны}} = \frac{375}{24} = 15,6 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

Коэффициент α , учитывающий степень благоустройства зданий:

$$\alpha_{\text{max}} = 1,4; \alpha_{\text{min}} = 0,6;$$

Коэффициент β , учитывающий число жителей в населенном пункте, принимается по табл. 2 [6] (для 1 500 человек):

$$\beta_{\text{max}} = 1,8; \beta_{\text{min}} = 0,1;$$

Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{\text{ч}}$ определяется из выражений:

$$K_{\text{ч. max}} = \alpha_{\text{max}} * \beta_{\text{max}} = 1,4 * 1,8 = 2,52;$$

$$K_{\text{ч. min}} = \alpha_{\text{min}} * \beta_{\text{min}} = 0,6 * 0,1 = 0,06$$

Таблица 2. Расчетные расходы в летний период

Зона	Время работы, ч	Численность населения, чел.	Норма водоотведения, л*чел/сут	Расход сточных вод		
				$Q_{\text{сут. max}}$ м ³ /сут	$Q_{\text{ч. max}}$ м ³ /ч	$Q_{\text{сек. ср.}}$ л/сек
Жилая	24	1 500	280	546	57,4	15,9
Казарменная	24	1 500	250	488	51,2	14,2
Всего:				1 034	108,6	30,1

Расчетные часовые расходы воды $q_{\text{ч}}$, (м³/ч) определяются по формулам:

$$q_{\text{ч. max}} = \frac{K_{\text{ч. max}} * Q_{\text{сут. max}}}{24};$$

$$q_{\text{ч. min}} = \frac{K_{\text{ч. min}} * Q_{\text{сут. min}}}{24};$$

$$q_{\text{ч. max жилой зоны}} = \frac{2,52 * 546}{24} = 57,33 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$q_{\text{ч. min жилой зоны}} = \frac{0,06 * 378}{24} = 0,945 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{ч. max казарменной зоны}} = \frac{2,52 * 487,5}{24} = 51,18 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$Q_{\text{ч. min казарменной зоны}} = \frac{0,06 * 337,5}{24} = 0,84 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

Средние секундные расходы:

$$Q_{\text{сек. ср. жилой зоны}} = \frac{17,5 * 1000}{3600} = 4,9 \frac{\text{л}}{\text{сек}};$$

$$Q_{\text{сек. ср. казарменной зоны}} = \frac{15,6 * 1000}{3600} = 4,3 \frac{\text{л}}{\text{сек}};$$

Так как в зимний период количество людей, находящихся в военном городке, меньше, чем в летний период, то расходы сточных вод в зимний период допустимо не определять. Определяем количество загрязняющих веществ:

Согласно п. 9.1.5. СП [7], в технологических расчетах реконструкции существующих очистных сооружений, при отсутствии данных по притоку и загрязненности сточных вод расчетные данные допускается принимать:

- расходы в соответствии с указаниями разделов 5–6 СП [7];
- нагрузки по загрязняющим веществам по результатам расчета массового баланса по каждому загрязняющему веществу от населения.

Нагрузку от жителей следует принимать как произведение количества фактически проживающих жителей на удельное количество загрязняющих веществ от отдельного жителя (табл. 3).

Таблица 3. **Нормы выделения загрязняющих веществ**

Загрязняющее вещество	Удельное количество на жителя
Взвешенные вещества	65 г/сутки*чел
БПК ₅ неосветленной жидкости	60 г/сутки*чел
Азот общий	13 г/сутки*чел
Азот аммонийных солей	10,5 г/сутки*чел
Фосфор общий	2,5 г/сутки*чел
Фосфор фосфатов P-PO ₄	1,5 г/сутки*чел

Коэффициент пересчета БПК₅ в БПК_{полн}: для неосветленной жидкости – 1,2.

Нагрузка от жителей в летний период:
по взвешенным веществам:

$$C_{\text{взв.в-ва}} = 3000 * 65 = 195 \frac{\text{кг}}{\text{сут}};$$

по БПК₅ неосветленной жидкости:

$$C_{\text{БПК5}} = 3000 * 60 = 180 \frac{\text{кг}}{\text{сут}};$$

по азоту общему:

$$C_{\text{аз.общ}} = 3000 * 13 = 39 \frac{\text{кг}}{\text{сут}};$$

по азоту аммонийных солей:

$$C_{\text{аз.аммон.}} = 3000 * 10,5 = 31,5 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

по фосфору общему:

$$C_{\text{фос.общ.}} = 3000 * 2,5 = 7,5 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

по фосфору фосфатов P-PO₄:

$$C_{\text{фосф.Р-РО}_4} = 3000 * 1,5 = 4,5 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

по БПК_{полн}:

$$C_{\text{БПК}_5} = 3000 * 60 * 1,2 = 216 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

Концентрации загрязняющих веществ в летний (пиковый) период:

по взвешенным веществам:

$$C_{\text{взв.в-ва}} = \frac{195 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 0,188 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 188 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

по БПК_{полн} неосветленной жидкости:

$$C_{\text{БПК}_{\text{полн}}} = \frac{216 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 0,209 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 209 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

по азоту общему:

$$C_{\text{аз.общ.}} = \frac{39 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 37,7 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

по азоту аммонийных солей:

$$C_{\text{аз.аммон.}} = \frac{31,5 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 30,4 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

по фосфору общему:

$$C_{\text{фос.общ.}} = \frac{7,5 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 7,25 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

по фосфору фосфатов P-PO₄:

$$C_{\text{фосф.Р-РО}_4} = \frac{4,5 \text{ кг} * \text{сут}}{1034 \text{ м}^3 * \text{сут}} = 4 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} ;$$

Необходимая степень очистки определяется в соответствии с санитарными требованиями и условиями сброса их в водоем.

Очистку сточных вод, как правило, следует ограничивать до степени, обеспечиваемой сооружениями полной биологической очистки (БПК_{полн} очищенной воды – 10–15 мг/л), даже если по расчету требуется только механическая или неполная биологическая очистка. Расчеты по определению требуемой степени очистки сточных вод выполняются с целью выявления необходимости доочистки сточных вод, то есть снижения БПК₂₀ ниже 10–15 мг/л. [8–10].

Расчет требуемой степени очистки сточных вод производится из условия, что после сброса сточных вод концентрация загрязнений в расчетном створе реки не будет превышать их предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов второй категории (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика водоема

Параметры	Значения параметров
Средняя скорость течения, м/сек	0,13
БПК _{полн} поступающего стока, мг/л	2,0
Взвешенные вещества, мг/л	19
Азот аммонийный, мг/л	0,78
Азот нитритов, мг/л	0,09
Азот нитратов, мг/л	0,24
Фосфаты, мг/л	0,015
Нефтепродукты, мг/л	0,24
Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ)	отс.
Концентрация растворенного кислорода, мг/м ³	5,9
Средняя температура в летнее время, °С	20

Определение необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем, производится по содержанию: взвешенных веществ, допустимой величине БПК в смеси речной и сточной вод, потреблению сточными водами растворенного кислорода, по СПАВ и других вредных веществ.

Длина линии контрольного створа:

$$l = 200 \text{ м};$$

Отметка глубины контрольного створа:

$$H_{\text{ср}} = 12 \text{ м};$$

Площадь живого сечения контрольного створа:

$$S_{\text{жс}} = 200 \times 12 = 2400 \text{ м}^2;$$

Скорость течения в водоеме:

$$v_{\text{в}} = 13 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,13 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

Расстояние до контрольного створа по фарватеру:

$$L_{\text{ф}} = 500 \text{ м};$$

Расстояние до контрольного створа по прямой:

$$L = 500 \text{ м};$$

Расход воды в водоеме:

$$Q_{\text{в}} = S_{\text{кк}} \times v_{\text{в}} = 2400 \times 0,13 = 312 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 1123200 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

Коэффициент турбулентной диффузии:

$$D = \frac{v_{\text{в}} \times H_{\text{ср}}}{200} = \frac{0,13 \times 12}{200} = 0,0078;$$

Так как расстояние до контрольного створа по фарватеру равно расстоянию до контрольного створа по прямой, коэффициент извилистости будет равен:

$$\varphi = \frac{L_{\text{ф}}}{L} = 1;$$

Значение α определяется по формуле:

$$\alpha = \varphi \times \xi \times \sqrt{\frac{D}{q}} = 1 \times 1,5 \times \sqrt{\frac{0,0078}{0,03}} = 0,769 \text{ , где}$$

$\xi = 1,5$ – коэффициент, зависящий от вида выпуска (при фарватерном выпуске);
 $q = 0,0301 \text{ м}^3/\text{сек}$ – секундный расход сточных вод; $D = 0,0078$ – коэффициент турбулентной диффузии; $\varphi = 1$ – коэффициент извилистости реки.

Коэффициент смешения a :

$$a = \frac{(1 - e^{-0,769 \times \sqrt[3]{500}})}{(1 + \frac{1123200}{108,6} \times e^{-0,769 \times \sqrt[3]{500}})} = \frac{0,9977}{24,06} = 0,041;$$

Определение кратности разбавления n :

$$n = \frac{(a \times Q + q)}{q} = \frac{(0,041 \times 1123200 + 108,6)}{108,6} = 425,04;$$

Определение необходимой степени очистки сточных вод
– по содержанию взвешенных веществ:

$$a \times Q \times b + q \times m = (a \times Q + q) \times (b + p)$$

$$m = p \times \left(\frac{a \times Q}{q} + 1 \right) + b ,$$

где $b = 91 \text{ мг/л}$ – содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м^3 ; $p = 0,25$ – допустимое по санитарным правилам увеличение содержания, г/м^3 ;
 Q, q – расходы речных и сточных вод, г/м^3 ; m – допустимое содержание взвешенных веществ.

$$m = 0,25 \times \left(\frac{0,041 \times 1123200}{108,6} + 1 \right) + 20 = 126,011 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

Необходимая степень очистки по взвешенным веществам в процентах:

$$D_{\text{в}} = 100 \times \left(\frac{91 - 126}{91} \right) = -38 \%$$

– по БПК_{полн}:

$$L_{\text{ст}} = \frac{\alpha \times Q}{q \times 10^{-K_{\text{ст}} \times t}} \times (L_{\text{пред}} - L_{\text{р}} \times 10^{-K_{\text{р}} \times t}) + \frac{L_{\text{пред}}}{10^{-K_{\text{ст}} \times t}},$$

где $L_{\text{р}}$ – БПК₂₀ воды водоема в створе выпуска, г/м³; $L_{\text{ст}}$ – допустимая БПК₂₀ сбрасываемых сточных вод, г/м³; t – время движения воды от выпуска до контрольного створа, сут; $L_{\text{пред}}$ – предельно допустимая величина БПК₂₀ воды в водоеме после сброса сточных вод, г/м³; $K_{\text{р}}$ – константа скорости потребления кислорода в воде водоема; $K_{\text{ст}}$ – константа скорости потребления кислорода сточной водой.

$$\begin{aligned} L_{\text{ст}} &= \frac{0,041 \times 1123200}{108,6 \times 10^{-0,2 \times 0,0009}} \times (3,0 - 209 \times 10^{-0,1 \times 0,0009}) + \frac{3,0}{10^{-0,2 \times 0,0009}} \\ &= \frac{46051,2}{108,6 \times 0,999} \times (3,0 - 209 \times 0,99) + \frac{3,0}{0,999} = 428,32 \times (-206) + 0,3 \\ &= -88233,62 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}; \end{aligned}$$

Исходя из указанных выше расчетов, можно сделать вывод о том, что определение предельно допустимого сброса в водоем и необходимой степени очистки сточных вод через уравнение материального баланса не позволяет получить релевантные значения, так как расходы сточной воды и воды в контрольном створе водоема несопоставимы по расходу. Однако в настоящее время существует Рекомендация 28Е/5 Хельсинской конвенции от 15 ноября 2007 г., регламентирующая степень очистки сточных вод.

Согласно вышеуказанной рекомендации, хозяйственно-бытовые сточные воды или сточные воды подобного типа, которые собираются в централизованную систему канализации и очищаются на станциях очистки сточных вод, с нагрузкой стоков, эквивалентной объему стоков от 2 000 до 10 000 жителей, должны очищаться до достижения следующих показателей на сбросе:

- снижение БПК₅ минимум на 80 % или максимальная концентрация 15 мг/л;
- снижение $P_{\text{общ}}$ минимум на 80 % или максимальная концентрация 1 мг/л;
- снижение $N_{\text{общ}}$ минимум на 30 % или максимальная концентрация 35 мг/л;

Общий азот означает сумму общего азота (органический NH_4^+), нитратный (NO_3^-) азот и нитритный (NO_2^-) азот.

Договаривающиеся стороны должны обеспечить, чтобы сточные воды, поступающие в системы канализации, на сбросе соответствовали вышеуказанным требованиям не позднее 31 декабря 2018 г. для населенных пунктов от 2 000 до 10 000 жителей [11].

В связи с этим показатели очистки сточных вод выглядят следующим образом (табл. 5):

Таблица 5. **Необходимая степень очистки сточных вод**

	Содержание в водоеме	Содержание в сточной воде	Допустимое содержание на выходе	Необходимая степень очистки
Взвешенные вещества	91 мг/л	188 мг/л	12 мг/л	90 %
БПК _{полн}	2 мг/л	209 мг/л	15 мг/л	95 %
N _{общ}	1,11 мг/л	37,7 мг/л	35 мг/л	10 %
P _{общ}	0,015 мг/л	7,25 мг/л	1 мг/л	90 %

Полученные значения необходимой степени очистки сточных вод говорят о необходимости срочной реконструкции станции очистки сточных вод данного военного городка с целью уменьшения негативного влияния на воды Финского залива. Выявленная на примере одного военного городка проблема является общей для населенных пунктов и военных объектов с населением от 2 000 до 10 000 человек.

Литература

1. Сугак В.П., Макачук Г.В. Химия воды в аспекте обеспечения безопасности водоснабжения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. С. 63–73.
2. Вронский В.А. Экология и окружающая среда: учеб. курс. М.: ИКЦ «Март». 2009. С. 432
3. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология в вопросах и ответах. учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 384 с.
4. Кудряшова А.А. Человечество, живой мир и среда обитания: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Колос, 2004. С. 198
5. Денисова В.В. Промышленная экология: учеб. пособие. М.: ИКЦ «Март», 2007. 720 с.
6. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094155> (дата обращения: 21.05.2018).
7. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения: 21.05.2018).
8. Булат Р.Е., Анисимов Ю.П., Вакуненко В.А. Модернизации объектов коммунального назначения Министерства обороны Российской Федерации // сборник «Современное состояние эксплуатационного содержания казарменно-жилищного фонда Министерства обороны России и инновационные пути перспектив его развития. Сборник докладов круглого стола. 2018. С. 19–27.
9. Булат Р.Е., Саркисов С.В., Вакуненко В.А. Повышение эффективности функционирования жилищно-коммунального хозяйства Министерства обороны Российской Федерации // Военный инженер. 2018. № 4 (10). С. 32–39.
10. Игнатчик В.С., Саркисов С.В., Обвинцев В.А. Исследование коэффициентов часовой неравномерности водопотребления // Вода и экология: проблемы и решения, 2017. № 2 (20). С. 27–39.
11. Рекомендация 28Е/5 Хельсинской конвенции от 15 нояб. 2007 г. ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200068332> (дата обращения: 21.05.2018).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аксенов Александр Александрович – обучающийся фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Антошина Татьяна Николаевна – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. 369-69-70, канд. пед. наук;

Воронин Сергей Владимирович – доц. каф. пож. безопасн. технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Качуро Александр Михайлович – доц. каф. мех. и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Косенко Денис Витальевич – ст. препод. каф. орг. пожаротушения и провед. авар.-спас. работ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. 8(962)702-01-43, e-mail: kosenkodv@igps.ru, канд. техн. наук;

Кузьмин Анатолий Алексеевич – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

Лабинский Александр Юрьевич – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел.: (812) 369-69-70, канд. техн. наук, доц.;

Макарчук Галина Васильевна – препод. каф. систем жизнеобеспеч. объектов воен. инфраструктуры Воен. ин-та (инж.-техн.) ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), канд. пед. наук, доц.;

Медведева Людмила Владимировна – зав. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пожарной безоп. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, проф. засл. работник высш. шк. РФ;

Мусатов Вячеслав Игоревич – курс. офицер – препод. фак-та строительства воен.-морских баз Воен. ин-та (инж.-техн.) ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), musatov2112@ya.ru;

Пермяков Алексей Александрович – зам. нач. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: jouker2005@yandex.ru, канд. пед. наук;

Реснянский Сергей Геннадьевич – доц. каф. мех. и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Романов Николай Николаевич – доц. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: romanov_n.n@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Савчук Олег Николаевич – проф. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

Скрипник Игорь Леонидович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Шидловский Александр Леонидович – нач. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. 8(905)219-87-86, e-mail: ppspsf@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Юнаковский Николай Сергеевич – магистрант фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. 8(927)160-80-84, e-mail: ynakovskiy@bk.ru.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы, кандидат экономических наук Чижиков Эдуард Николаевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего

профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации, факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА), факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности научно-исследовательского института: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск, Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за

рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны, Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального

образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты

диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



АВТОРАМ ЖУРНАЛА

«ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ»

(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

1. Материалы для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб УГПС – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

3. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии *авторов (не более трех)*; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

4. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

5. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

6. Оформление библиографии (списка литературы):

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой опасности: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

7. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное, анонимное рецензирование.



МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал

Природные и техногенные риски
(физико-математические и прикладные аспекты)

№ 1 (29) – 2019

Выпускающий редактор
П.А. Болотова
А.В. Домничева

Подписано в печать 28.03.2019. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. 8,0 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149