

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ

(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS

(PHYSICS-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

№ 4 (12) – 2014

Редакционный совет

Председатель – доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники генерал-полковник внутренней службы **Артамонов Владимир Сергеевич**, статс-секретарь – заместитель министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, почетный президент Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Заместитель председателя – доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, 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**, начальник кафедры физики и теплотехники, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор полковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, начальник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физики и теплотехники;

кандидат педагогических наук **Давыдова Любовь Евгеньевна**, проректор университета по платной деятельности – ректор института безопасности жизнедеятельности;

доктор физико-математических наук, профессор **Овчинников Андрей Олегович**, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов;

доктор технических наук, профессор **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

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;

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

доктор военных наук, кандидат технических наук, профессор **Сугак Владимир Петрович**, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов.

Секретарь совета:

кандидат педагогических наук капитан внутренней службы **Балабанов Марк Александрович**, ответственный секретарь редакционного отделения 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 – капитан внутренней службы **Алексеева Людмила Викторовна**, начальник отделения – главный редактор редакционного отделения 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, доцент **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Громов Виктор Николаевич**, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Военного инженерно-технического института;

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, доцент полковник внутренней службы **Алексеин Евгений Борисович**, заместитель начальника университета – начальник института заочного и дистанционного обучения;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, технический редактор редакционного отделения центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

Секретарь коллегии:

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



СОДЕРЖАНИЕ

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Коморовский В.С., Мартинович Н.В., Якимов В.А. Имитационная модель выезда караула пожарной части на основе анализа журнала пункта связи пожарно-спасательной части	5
Трофимова Н.В., Мельник А.А. Применение метода анализа иерархий для оценки степени опасности рекреационных территорий	10

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Кораблёв В.А., Минкин Д.А., Шарков А.В., Гончар И.И., Тихомиров П.Ю. Датчики для контроля уровня и расхода жидкости с использованием терморезисторов	15
Карташова А.П. Истоки и будущее твердотельного освещения	23
Заричняк Ю.П., Иванов В.А., Романов Н.Н. Аналитические оценки эффективной теплопроводности композиционных материалов – фторопластов с различными порошковыми наполнителями	29
Шарков А.В., Кораблёв В.А., Некрасов А.С. Измерение теплопроводности и теплового сопротивления конструкционных материалов экспресс-методом	35

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Матвеев А.В., Максимов А.В. Теоретические основы моделирования безопасности социально-экономических систем	46
Кирик Е.С., Литвинцев К.Ю., Харламов Е.Б. О применении программного комплекса «Сигма ПБ» для расчета вероятности эвакуации из здания	53
Терешков В.И. Формирование комплексной системы безопасности в Арктической зоне районов Красноярского края	61
Кабанов А.А., Подружкина Т.А. Понятие и содержание информации и информационного обеспечения безопасности жизнедеятельности	66

Сведения об авторах	70
Информационная справка	72
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты)	80

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 присыпать 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

ISBN 2307-7476

© Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2014

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫЕЗДА КАРАУЛА ПОЖАРНОЙ ЧАСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЖУРНАЛА ПУНКТА СВЯЗИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

В.С. Коморовский, кандидат технических наук;

Н.В. Мартинович;

В.А. Якимов.

Сибирская пожарно-спасательная академия – филиал

Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Рассмотрена имитационная модель выезда караула пожарно-спасательной части. Модель построена на основе анализа журнала пункта связи методом «process mining». Показаны некоторые возможные количественные оценки деятельности пожарной части, которые можно получить с использованием данной модели.

Ключевые слова: пожарная часть, караул, системный анализ, имитационное моделирование, «process mining»

IMITATION MODEL OF THE FIRE SERVICE WATCH DEPARTURE ON THE BASIS OF THE FIRE STATION CONNECTION LOG ANALYSIS

V.S. Komorovskiy; N.V. Martinovich; V.A. Yakimov. Siberian fire and rescue academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Imitation model of the fire service watch departure is considered. The model has been developed on the basis of the fire station connection log analysis by process mining technique. Some possible quantitative estimations of the fire station activities, which could be obtained by the model are shown.

Keywords: fire station, watch, system analysis, imitation modeling, «process mining»

Для эффективного управления любой системой необходимо наличие возможности проводить измерение показателей, характеризующих деятельность системы. Выбор таких показателей, способов их измерения напрямую влияет на качество принимаемых управленческих решений. Для исследования сложных систем используется системный анализ, в котором в настоящее время господствует парадигма функционального моделирования. Согласно данному подходу, сложная система разбивается на более мелкие функциональные подсистемы. Наряду с очевидными достоинствами, такой метод обладает и рядом недостатков. Например, не учитывается временная последовательность выполнения различных функций, затруднен стоимостной (в широком смысле) анализ и т.д. Альтернативой функциональной модели системы является процессный подход. Такой подход не является абсолютно новой идеей, он реализован, например, в нотации ARIS eEPC. Любой процесс в организации представлен в виде цепочки событий, связанных с ресурсами, обеспечивающими исполнение данных событий.

Источником наиболее достоверной информации о функционировании социально-экономической системы являются первичные документы. Тем не менее потенциал этого источника информации используется недостаточно, что связано с трудностями анализа больших массивов данных. Для извлечения информации из первичных данных информационных систем разработана методика, называемая «process mining». Данная методология предназначена для извлечения бизнес процессов из журналов событий [1]. Краткий перевод данного термина на русский язык пока не сложился, поэтому далее будет использоваться английский термин. Концепция «process mining» позволяет восстанавливать процессы по журналам событий (логам) информационных систем.

Управление подразделениями федеральной противопожарной службы МЧС России существенно отличается от управления другими хозяйственными субъектами. Целью подразделений МЧС России является не извлечение прибыли, а предотвращение и устранение стихийных бедствий, пожаров, техногенных аварий и катастроф и других чрезвычайных ситуаций. Реальное функционирование такого рода субъектов изучено слабо, а существующие модели, как правило, базируются на регламентирующих документах.

Использование только регламентирующих документов для построения моделей деятельности организаций является методологически неверным, так как реальная деятельность компании или подразделения всегда выходит за рамки нормативной документации. Для получения наиболее полной и объективной картины необходимо использовать весь комплекс сведений, которые возможно собрать об изучаемом объекте. Важнейшим звеном такого комплекса являются первичные документы.

Любая организация, осуществляющая деятельность, имеет информационную систему. Эта информационная система может быть в той или иной степени автоматизирована. Данную информационную систему можно рассматривать как отображение (в математическом смысле) деятельности организации. Изучение информационной системы организации является важным этапом в построении модели хозяйственных процессов. Для изучения деятельности пожарно-спасательной части федеральной противопожарной службы МЧС России наиболее удобным документом является журнал пункта связи (журнал ПСЧ). В данном документе отражается информация о поступивших вызовах, выездах отделений и доклады по радиоканалам.

Журнал № 19 г. Красноярска был проанализирован в рамках работы В.С. Коморовского и др. «Исследование деятельности караула пожарной части методом «process mining» [2]. Полученная в ходе анализа модель выезда в нотации ARIS EPC приведена на рис. 1. Данная модель достаточно хорошо описывает процесс, но не удобна для вычислительных экспериментов. На базе упомянутой модели была создана имитационная модель с помощью системы имитационного моделирования Anylogic. При моделировании использовался дискретно-событийный подход.

Принципиальная схема имитационной модели приведена на рис. 2. Для облегчения восприятия процесса моделирования была разработана анимация модели, представленная на рис. 3.

Заявкой в терминах модели считается любое решение на выезд отделения за пределы пожарной части как по вызову на тушения пожара и проведение аварийно-спасательных работ, так и на проведение работ, связанных с обеспечением готовности подразделения к выполнению задач.

В качестве моделирующей среды определена сеть, к которой присоединен пул ресурсов (объекты network и ac_res на рис. 2). Поступающая заявка захватывает ресурс (отделение пожарной части) и далее обрабатывается данным отделением на выезде. Отделение освобождается при окончании тушения пожара и возвращении в подразделение.

Логические переключатели типа «ИЛИ» и «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», показанные на рис. 1, реализованы в имитационной модели с помощью компонента «select output», возвращающего значения истина и ложь случайным образом с заданной вероятностью. Вероятность попадания в пробку и/или гололед принята равной 0,3, а в анимации это выражается удлинением пути до цели. Вероятность того, что заявка представляет собой вызов на пожар или проведение аварийно-спасательных работ составляет 0,7.

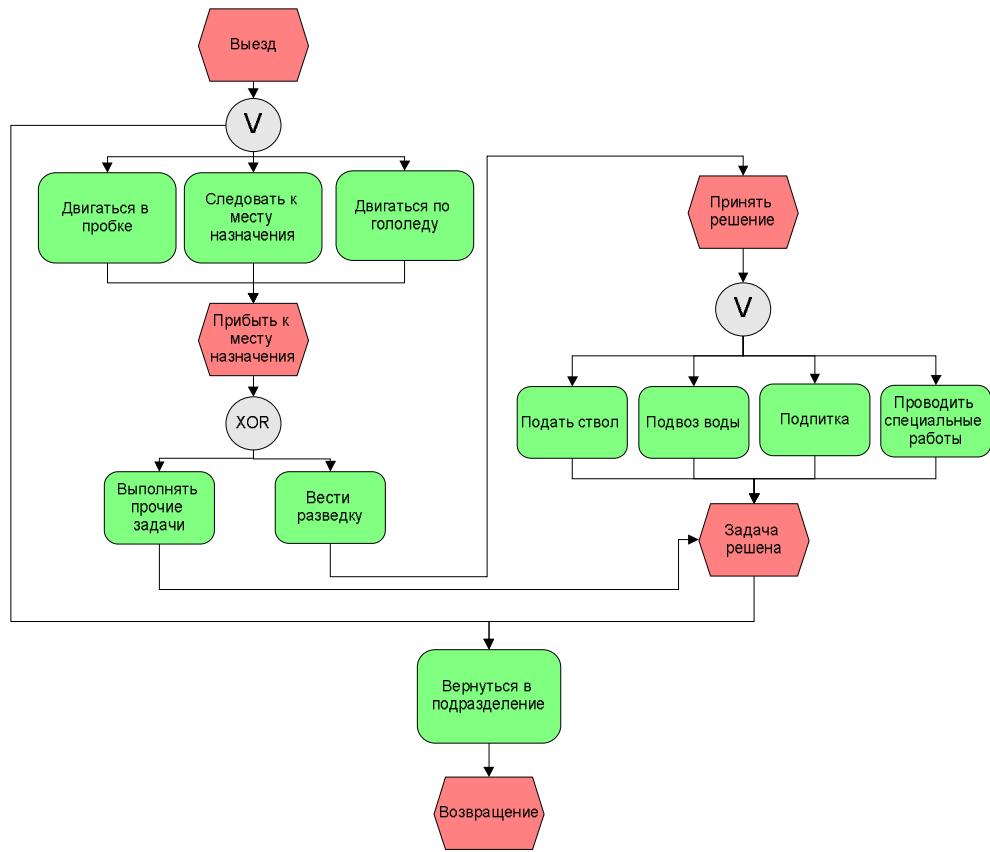


Рис. 1. Описание процесса в нотации ARIS EPC

Условное модельное время измеряется в часах. Частота поступления заявок на выезд отделений составляет $0,252 \text{ ч}^{-1}$. Данная величина рассчитана при анализе журнала ПСЧ, приведенного в работе В.С. Коморовского и др. [2]. Общее проанализированное время составляет 888 ч, за это время поступило 224 заявки, таким образом, легко рассчитать среднюю частоту поступления заявок.

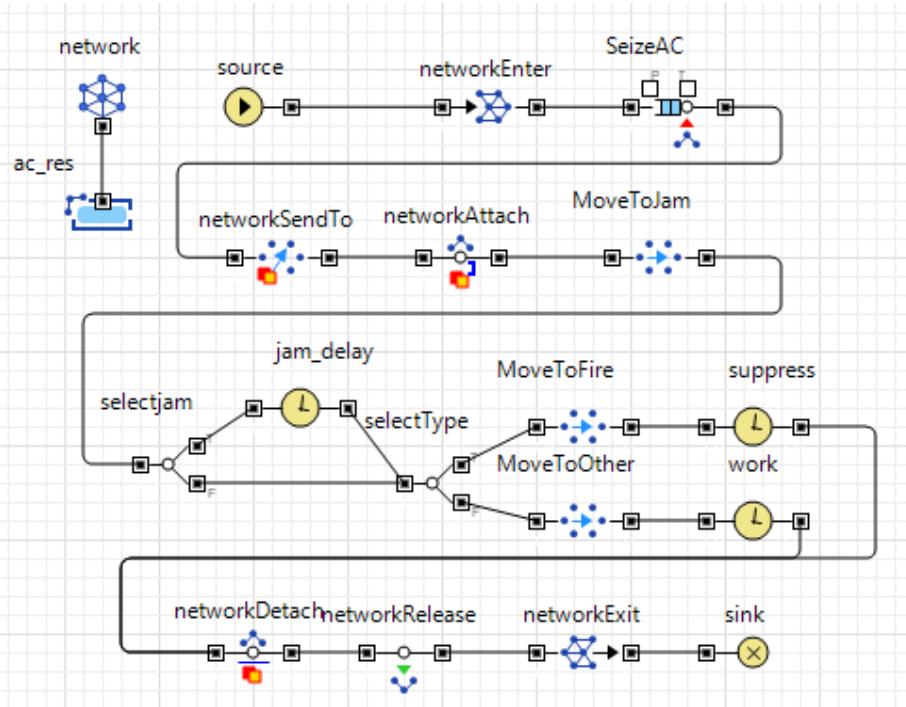


Рис. 2. Схема имитационной модели процесса выезда

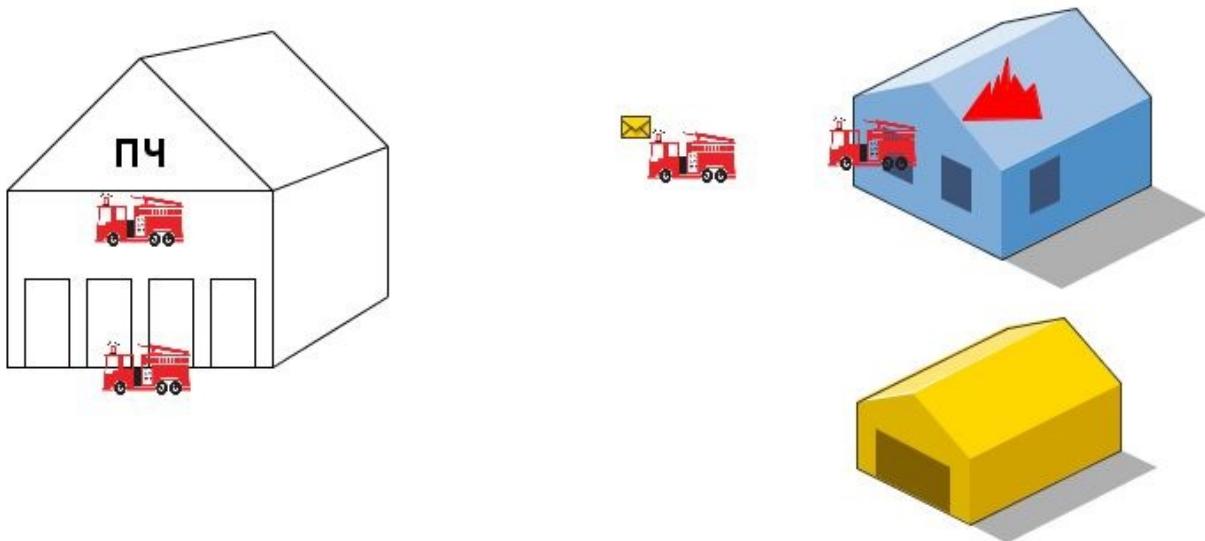
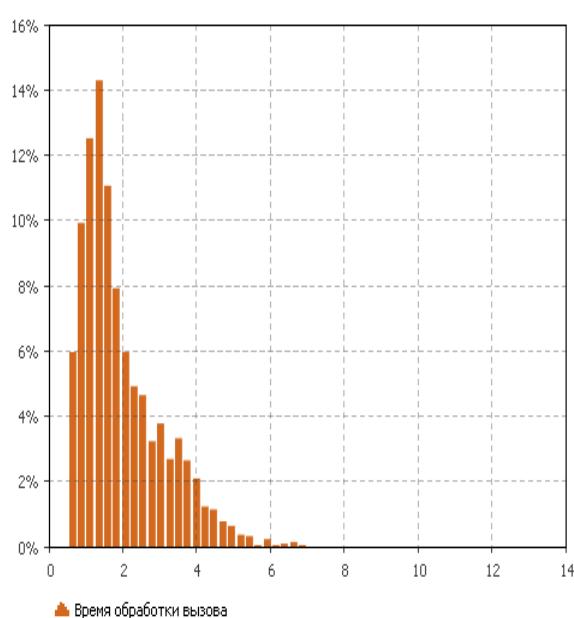


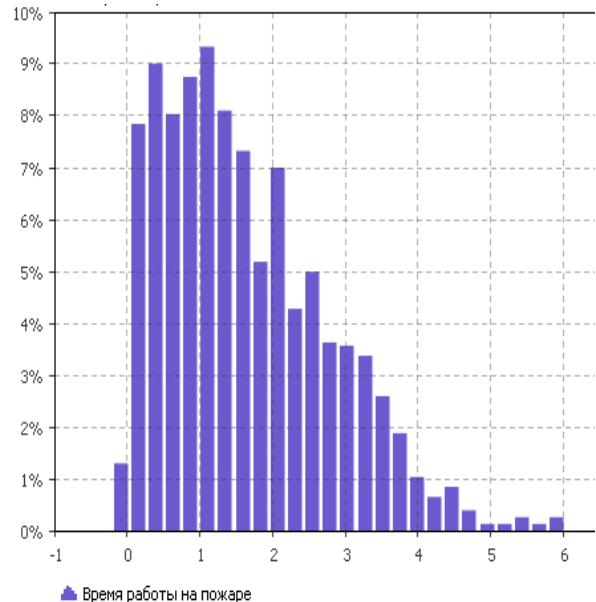
Рис. 3. Анимация имитационной модели

Имитационное моделирование времени, затрачиваемого на проезд, тушение пожара, выполнение иных работ осуществляется с помощью компонентов «delay» и «NetworkMoveTo». Время на тушение пожара рассчитывается как нормально распределенная случайная величина с параметрами среднеквадратического отклонения $s=93,8$ и среднего значения времени 75,8 мин.

Исследования, проведенные в работе В.С. Коморовского [2], охватывают промежуток в 1 месяц. В связи с тем, что информационные системы в пожарных частях имеют низкую степень автоматизации, оцифровка данных занимает наибольшую часть времени и делает весьма сложным процессное моделирование на более продолжительных периодах времени. Достоинством имитационных моделей является возможность построения различных зависимостей на достаточно большие промежутки времени. Например, на рис. 4 приведены гистограммы времени обработки вызова и времени работы на пожаре на период 1 год.



а) время обработки вызова



б) время работы на пожаре

Рис. 4. Гистограммы времени обработки вызова и работы на пожаре

В условиях функционирования пожарно-спасательного подразделения в крупном городе важными факторами становятся скорость прибытия к месту происшествия и общее время, проведенное подразделениями в пути. Эти факторы влияют как на качество проведения работ по борьбе с пожарами и других аварийно-спасательных работ, так и на общую утомляемость личного состава, выработку ресурса специальных машин. На рис. 5 приведено соотношение времени, проведенного в дороге, ко времени проведения полезных работ.

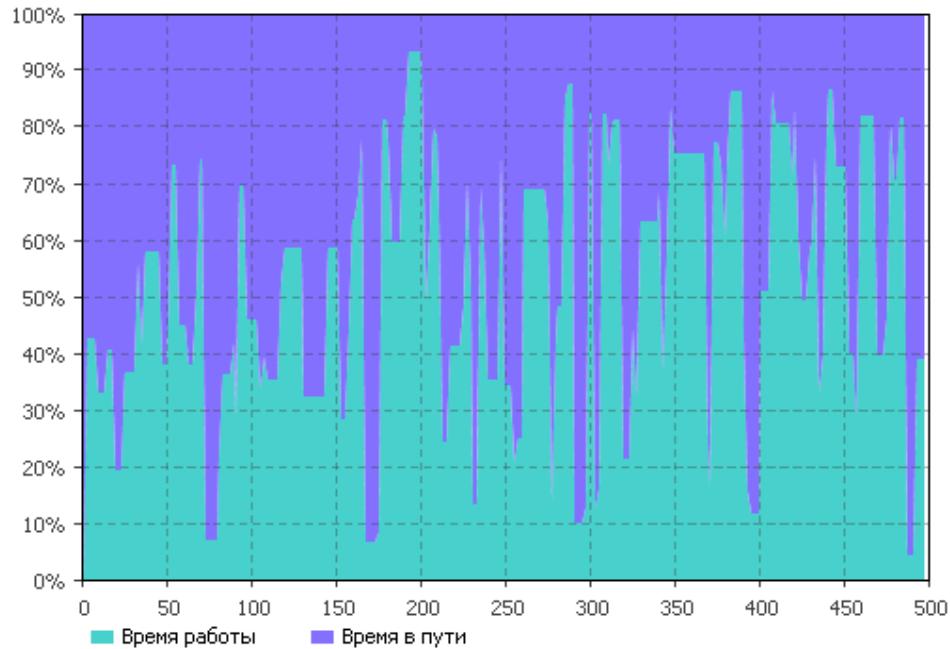


Рис. 5. Соотношение времени в пути и времени полезной работы

Как можно видеть из рис. 5, в некоторых случаях подразделения тратили существенно больше времени на то, чтобы добраться до нужного места, чем на непосредственное проведение работ. Согласно анализу журнала ПСЧ, в большинстве случаев это относится к выездам на загорания, малозначительные происшествия, выездам, связанным с поддержанием готовности подразделения. Однако данная проблема требует дополнительных исследований.

Таким образом, приведенная имитационная модель может быть использована для быстрого получения различных количественных оценок деятельности пожарно-спасательной части. Модель построена на базе статистики деятельности функционирующей в г. Красноярске пожарно-спасательной части и может быть, после дополнительных исследований, обобщена на деятельность других типовых пожарно-спасательных частей МЧС России.

Приведенные результаты являются предварительными, однако могут служить примером использования имитационных моделей при анализе и управлении пожарно-спасательной частью МЧС России. В дальнейшем предполагается совершенствование имитационной модели в части расширения функциональности и добавления интерактивных элементов управления, а также более детальная проверка адекватности данной модели.

Литература

1. Van der Aalst W., Weijters A., Maruster L. Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. Vol. 16. №. 9. Pg. 1128–1142.
2. Исследование деятельности караула пожарной части методом «process mining» / В.С. Коморовский [и др.] // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2014. № 3 (55).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Н.В. Трофимова;

А.А. Мельник, кандидат технических наук, доцент.

Сибирская пожарно-спасательная академия – филиал

Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

В работе рассмотрена возможность применения метода анализа иерархий для решения задач оценки опасности рекреационных территорий. В качестве объекта исследования выступает горнотаежная местность природного парка «Ергаки», Красноярский край.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, природные риски, туристическая деятельность

APPLICATION OF THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS FOR DANGER ASSESSMENT RECREATIONAL TERRITORIES

N.V. Trofimova; A.A. Melnik. Siberian fire and rescue academy – the branch of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The paper considers the possibility of using the analytic hierarchy process for solving risk assessment of the recreational territory. As the object of research is the highland taiga natural park «Ergaki», Krasnoyarsk Region.

Keywords: analytic hierarchy process, natural risks, tourism activities

При решении задач оценки рекреационных территорий возникает сложность, выражаемая в слабой формализации исходных данных, неопределенности оценок, отсутствии в отечественной практике решений проблемы комплексного зонирования территорий по степени опасности [1]. Задача оценки степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности сводится к определению факторов, негативное воздействие которых является причиной травматизма при занятиях тем или иным видом туристической деятельности (факторы опасности территории) и факторов, ограничивающих это негативное воздействие посредством применения превентивных мер по обеспечению безопасности данной территории (факторы обеспечения безопасности). Для ее решения необходимо определить оценочные показатели факторов и их удельный вес в комплексном показателе степени опасности территории [2].

Подобного рода задачи являются слабоструктурированными, поскольку факторы, которые необходимо учесть в решении, являются несоизмеримыми и не имеют явного количественного выражения. Для таких задач характерно отсутствие методов решения на основе непосредственных преобразований данных. Постановка задач базируется на принятии решений в условиях неполной информации, для решения которых используются методы экспертных оценок [3].

Метод анализа иерархий (МАИ) позволяет формализовать слабоструктурированные задачи посредством систематизации и иерархического представления факторов, определяющих сущность решаемой задачи путем декомпозиции этих факторов на частные показатели, поддающиеся количественному выражению. Интенсивность влияния частных показателей на решение поставленной задачи выражается посредством парных суждений о важности критериев и присвоении им соответствующих весовых коэффициентов [4]. МАИ позволяет представить комплексные показатели, характеризующие опасность и обеспечение безопасности

территории в виде иерархической структуры. На нижнем уровне иерархии представлены частные критерии, для которых существуют объективные численные характеристики. На верхнем уровне располагаются факторы, определяющие степень опасности (безопасности) территории. Механизм композиции удельного вклада этих факторов включает в себя оценку вклада каждого критерия в зависимости от весовых коэффициентов, присваиваемым связям в иерархии. Иными словами, построенная иерархия в МАИ – это ориентированный граф, в вершинах которого лежат оцениваемые критерии, а весовые коэффициенты дуг определяют конечные оценки комплексных показателей.

На первоначальном этапе была проведена декомпозиция факторов опасности и обеспечения безопасности территории с целью получения набора критериев, числовые значения которых являются мерой оценки комплексного показателя степени опасности рекреации для ведения туристической деятельности (рис. 1). Для определения критериев использован системный подход, при котором каждый из факторов (опасности территории и обеспечения безопасности) рассматривается как совокупность критериев, определенным образом характеризующих фактор. Критерии имеют атрибуты, определяющие удельный вес в общей оценке данного фактора.

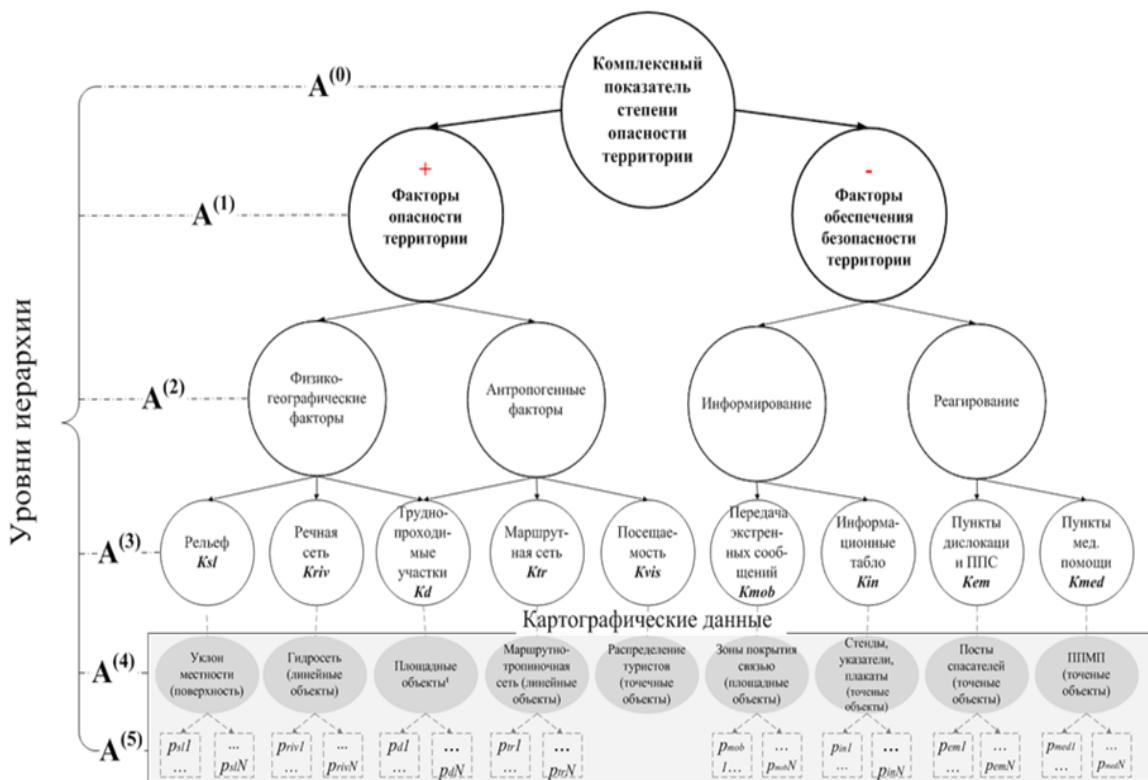


Рис. 1. Структурная схема иерархии оценки комплексного показателя степени опасности горно-таежной местности

В общем виде схема декомпозиции описывается функцией:

$$\{f(x,y)\} \rightarrow A^{(n)},$$

где $f(x,y)$ – множество пространственно-распределенных критериев оценки степени опасности территории, с координатами x и y ; $A^{(n)}$ – n -уровневая декомпозиция, устанавливающая правило предпочтительности выбора критериев, необходимых и достаточных для адекватной оценки степени опасности территории.

Глубина декомпозиции факторов определяется пространственным распределением критериев по территории исследования.

На вершине иерархии $A^{(0)}$ расположена цель исследования – оценка комплексного показателя степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности.

На первом уровне декомпозиции $A^{(1)}$ представлены факторы опасности и безопасности территории, характеризующие в общем виде степень опасности рекреации.

На втором уровне иерархии $A^{(2)}$ проведена декомпозиция факторов:

– обеспечение безопасности территории характеризуется наличием параметров информирования о возможных опасностях данной территории и оперативностью реагирования при возникновении происшествия;

– опасность территории характеризуется набором природно-климатических, физико-географических и антропогенных параметров опасности, оказывающих негативное воздействие на туристов.

На третьем уровне декомпозиции $A^{(3)}$ определены критерии, позволяющие количественно оценить параметры информирования и реагирования [5], являющиеся характеристикой факторов безопасности территории, и оценочные критерии, наиболее полно описывающие физико-географические и антропогенные параметры с позиции травматизма по характерным для данной местности видам туристической деятельности.

Для определения критериев физико-географических и антропогенных параметров опасности горно-таежной местности проведен статистический анализ туристического травматизма. Использованы как литературные данные [6, 7], так и отчетные материалы поисково-спасательных операций, выполненных Сибирским региональным центром спортивной подготовки и реабилитации спасателей [8].

В результате было получено девять критериев, позволяющих дать количественную оценку степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности: уклон местности, плотность распределения речной сети, плотность распределения труднопроходимых участков, плотность распределения маршрутной сети, плотность распределения туристов, распределение зон покрытия территории мобильной связью, плотность распределения информационных указателей, плотность распределения постов спасателей, плотность распределения пунктов первой медицинской помощи.

Для визуализации результатов оценки территории решается задача зонирования территории по степени опасности. Для решения этой задачи на четвертом уровне иерархии $A^{(4)}$ представлены картографические эквиваленты критериев оценки территории по степени опасности.

На пятом уровне иерархии $A^{(5)}$ представлены атрибуты картографических эквивалентов оценочных критериев, которые представляют собой качественные или количественные свойства или характеристики пространственно-распределенных по территории критериев оценки. Удельный вес атрибутов определен эксперты путем.

Для интерпретации значимости критериев были рассчитаны их весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты были вычислены эксперты путем, используя метод попарного сравнения [2]. В оценке значимости критериев принимали участие 16 экспертов, являющиеся сотрудниками Сибирского регионального поисково-спасательного отряда МЧС России, непосредственно принимающие участие в организации и проведении поисково-спасательных работ. В результате анализа составлена усредненная матрица парных сравнений суждений о значимости критериев оценки степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности (рис. 2).

Максимальное собственное значение матрицы $\lambda_{\max} = 10,17$. Индекс согласованности матрицы суждений $\beta = 0,146$. Отношение согласованности $\varepsilon = 0,1000843$ является верхним пределом условия $\varepsilon < 0,10$, что позволяет утверждать о приемлемости результатов экспертной оценки суждений попарного сравнения критериев оценки степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности.

	K_{tr}	K_{vis}	K_d	K_{sl}	K_{riv}	K_{mob}	K_{em}	K_{in}	K_{med}
K_{tr}	1,00	2,45	0,24	0,33	1,03	0,50	0,27	3,98	5,80
K_{vis}	0,41	1,00	0,14	0,21	0,52	0,28	0,13	1,03	0,52
K_d	4,17	7,00	1,00	0,67	5,10	7,70	8,97	2,96	8,01
K_{sl}	3,00	4,76	1,50	1,00	3,10	1,67	1,48	8,03	8,94
K_{riv}	0,97	1,92	0,20	0,32	1,00	0,50	0,26	2,45	3,12
K_{mob}	2,00	3,57	0,13	0,60	2,00	1,00	0,49	4,02	4,80
K_{em}	3,70	8,00	0,11	0,68	3,85	2,04	1,00	3,10	2,30
K_{in}	0,25	0,97	0,34	0,12	0,41	0,25	0,32	1,00	0,48
K_{med}	0,17	1,92	0,12	0,11	0,32	0,21	0,43	2,08	1,00

Рис. 2. Матрица суждений попарного сравнения критериев оценки степени опасности горно-таежной местности для ведения туристической деятельности

Для иллюстрации удельного веса критериев по группам факторов опасности и обеспечения безопасности рекреационной территории данные представлены на графике (рис. 3). На оси абсцисс (x) – представлены оценочные критерии, агрегированные в группы, в соответствии с иерархией, представленной на рис. 1, а на оси ординат – соответствующие им весовые коэффициенты.

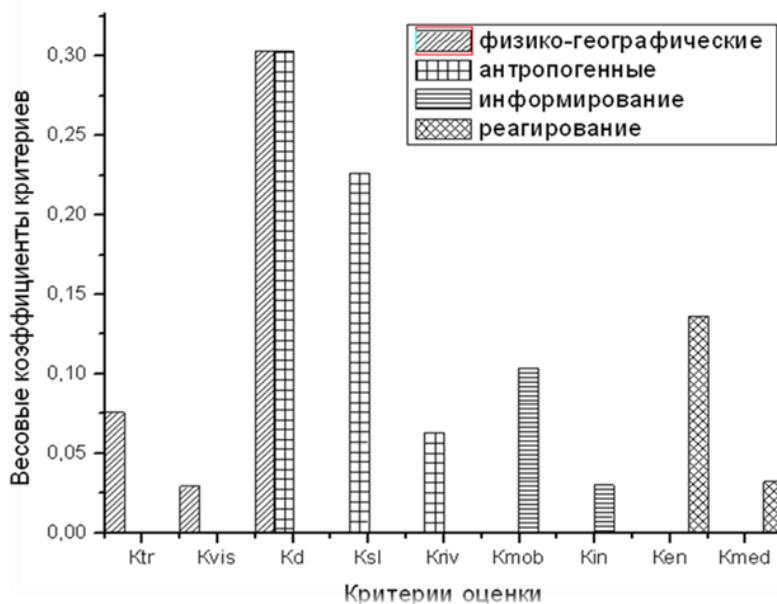


Рис. 3. Удельный вклад критериев и их весовых коэффициентов в совокупную оценку степени опасности горно-таежной местности для ведения туристической деятельности

В соответствии с графиком наибольший вклад в совокупную оценку степени опасности горно-таежной местности вносит критерий K_d – плотность распределения труднопроходимых участков, представленных естественными (физико-географические факторы) и искусственными (антропогенные факторы) препятствиями на туристическом маршруте.

Наиболее действенным фактором обеспечения безопасности горно-таежной местности, по результатам экспертной оценки, является критерий K_{em} – плотность распределения постов спасателей. Таким образом, эффективными мерами снижения степени опасности горно-таежной местности для ведения туристической деятельности являются:

- увеличение количества и плотности распределения постов спасателей в горно-таежной местности, претерпевающей рекреационно-туристическое воздействие;
- оборудование экотроп, минимизирующих проявление труднопроходимых участков маршрута [9].

Для количественного выражения интегральных свойств оценочных критериев посредством скалярной свертки Лапласа [9] получено выражение для расчета комплексного показателя степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности:

$$S = \sum_{i=1}^n K_i \times w_i ,$$

где K_i – i -ый критерий оценки; w_i – соответствующий ему весовой коэффициент; $i = (1, 2, \dots, n)$, $n=9$ по числу критериев.

Для учета баланса между факторами опасности и факторами обеспечения безопасности горно-таежной местности критерий Лапласа был модифицирован. Используя данное выражение, можно произвести количественную оценку степени опасности рекреационной территории для ведения туристической деятельности, выраженной через комплексный безразмерный численный показатель:

$$S = \sum_{i=1}^n (-1)^r \times K_i \times w_i ,$$

где $(-1)^r$, $r = 2$ – для критериев факторов опасности горно-таежной местности; $r = 1$ – для критериев факторов безопасности горно-таежной местности.

Таким образом, на основании метода анализа иерархий была разработана методика оценки степени опасности территории для ведения туристической деятельности с учетом природно-климатических и физико-географических характеристик местности, особенностей туристической деятельности и готовности сил и средств для проведения поисково-спасательных операций на данной территории.

Литература

1. Mapping of risk for not urbanized territories / N.V. Trofimova [et al.] / Proceeding 14 GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote sensing. Bulgaria, 2014. Vol. 3. P. 731–736.
2. Trofimova N.V., Nicheporukh V.V., Gerasimov V.S. Method of territory ranging in terms of the level of danger // Journal of International scientific publications: Ecology and Safety. Burgas, Bulgaria. 2014. Vol. 8. P. 237–248.
3. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000.
4. Трофимова Н.В., Мельник А.А., Техтереков С.А. Информационная поддержка принятия решений по организации поисково-спасательных работ в горно-таежной местности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 2 (30). С. 145–149.
5. Альпинизм / И.И. Антонович [и др.]. Киев: Вища школа, 1981.
6. Учебник спасателя / С.К. Шойгу [и др.]; под ред. Ю.Л. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: Сов. Кубань, 2002.
7. Развитие туризма в регионах Российской Федерации и некоторые предложения по обеспечению безопасности туристической деятельности / С.П. Чумак [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 4 (34). С. 24–34.
8. Комов В.В., Орестов Я.И. Тропа в гармонии с природой: сб. российского и зарубежного опыта по созданию экологических троп. М.: Валент, 2007.
9. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Кукинский М.В. Многокритериальные решения: модели и методы. Киев: Национальный авиационный ун-т, 2011. С. 348–356.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

ДАТЧИКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ И РАСХОДА ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

**В.А. Кораблёв, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
А.В. Шарков, доктор технических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики.**

Д.А. Минкин, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

**И.И. Гончар, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
П.Ю. Тихомиров, кандидат технических наук.**

ОАО «Авангард», Санкт-Петербург

Предложен метод измерения уровня с помощью терморезисторных сенсоров, разработана экспериментальная установка, имитирующая прохождение границы жидкость-газ.

Ключевые слова: терморезистор, сенсор, датчик уровня, расходомер

SENSORS FOR MEASURING LIQUID LEVEL AND RATE-OF-FLOW WITH HELP OF THERMORESISTORS

V.A. Korablev; A.V. Sharkov.

Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

D.A. Minkin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

I.I. Gonchar; P.Yu. Tikhomirov. OJSC «Avangard», Saint-Petersburg

Method of measuring liquid level with help of thermo resistors is suggested, experimental setup modeling of liquid-gas line crossing is suggested.

Keywords: thermo resistor, sensor, level gauge, rate-of-flow indicator

Пожар на борту летательных аппаратов является одной из основных причин их крушения, а также большого числа жертв при возгорании топлива после приземления (аварийной посадки, падения). Авиационные топлива самовоспламеняются уже при температуре 230–240 °C и имеют высокую температуру горения (порядка 1100 °C). В таких условиях живучесть элементов конструкции составляет единицы минут, а тушение осложняется тем, что прямой доступ человека в зону пожара во многих случаях невозможен.

Исходя из этого, контроль температуры топлива, уменьшение количества излишков топлива при заправке и невыработанных остатков топлива при окончании эксплуатации являются актуальными задачами для повышения пожарной безопасности летательных аппаратов и ракетной техники.

Решение этих задач невозможно без датчиков контроля температуры, уровня и расхода.

В настоящей работе предложен метод измерения уровней криогенных жидкостей с использованием малоинерционных пленочных терморезисторных сенсоров. Основу их конструкции представляет подложка из тонкого теплоизоляционного материала. Толщина подложки составляет 40–50 мкм. На подложке изготовлен методами микроэлектроники терморезистор, расположенный на площади приблизительно $0,2 \times 0,2$ мм. В качестве примера на рис. 1 приведен чертеж одного из сенсоров.

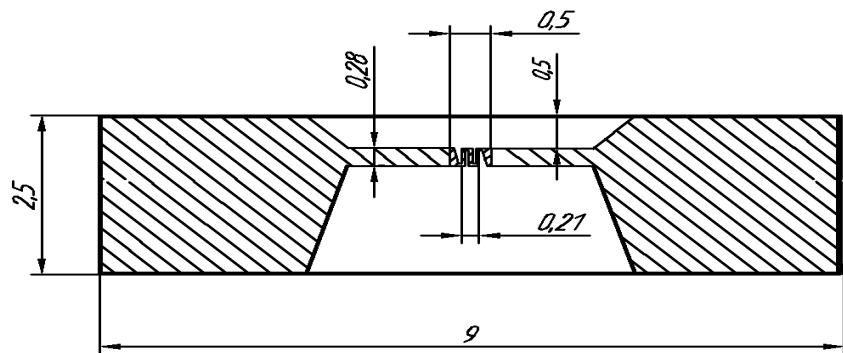


Рис. 1. Топологический чертеж сенсора
с одним терморезистором

На терморезистор подается постоянное напряжение. В зависимости от интенсивности теплоотдачи в среду изменяются его температура и электрическое сопротивление. По изменению электрического сопротивления можно определить границу перехода жидкость-газ или газ-жидкость. Тонкая теплоизоляционная подложка, миниатюрные габариты конструкции сенсора позволяют определять границу перехода газ-жидкость в контрольной точке с высокой точностью. Погрешность измерения уровня жидкости в контрольной точке определяется временем задержки срабатывания (переходного процесса) сенсора при прохождении им зеркала жидкости.

Схема подключения терморезисторного сенсора для измерения уровня приведена на рис. 2. Резистор R2 – терморезистор сенсора. Резисторы R1, R3 и R4 установлены на печатной плате сенсора.

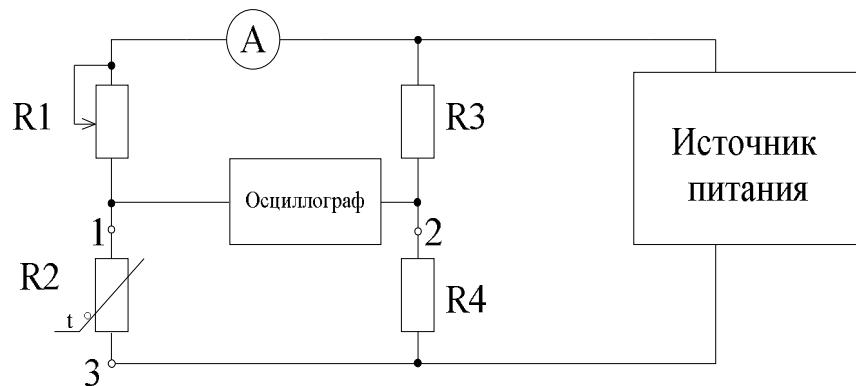


Рис. 2. Схема подключения терморезисторного сенсора:
А – амперметр; R1 – балансировочный резистор (диапазон: от 20 до 200 Ом); R2 – терморезистор;
R3 – резистор 240 Ом ± 1%; R4 – резистор 320 Ом ± 1%

Перед началом измерений на балансировочном резисторе R1 выставляется сопротивление 50 ± 5 Ом. Величина сопротивления контролируется универсальным вольтметром В7-40/4. На источнике питания Б5-45 выставляется напряжение, при котором сила тока, измеряемая амперметром, равна $8 \pm 0,2$ мА.

Для оценки точности измерения уровня с помощью терморезисторных сенсоров была подготовлена экспериментальная установка. Ее основу представляет собой сосуд с криогенной жидкостью (азот) (рис. 3), в котором погружается в жидкость или поднимается из нее рамка с сенсорами. Таким образом, имитируется прохождение через сенсор границы жидкость-газ.

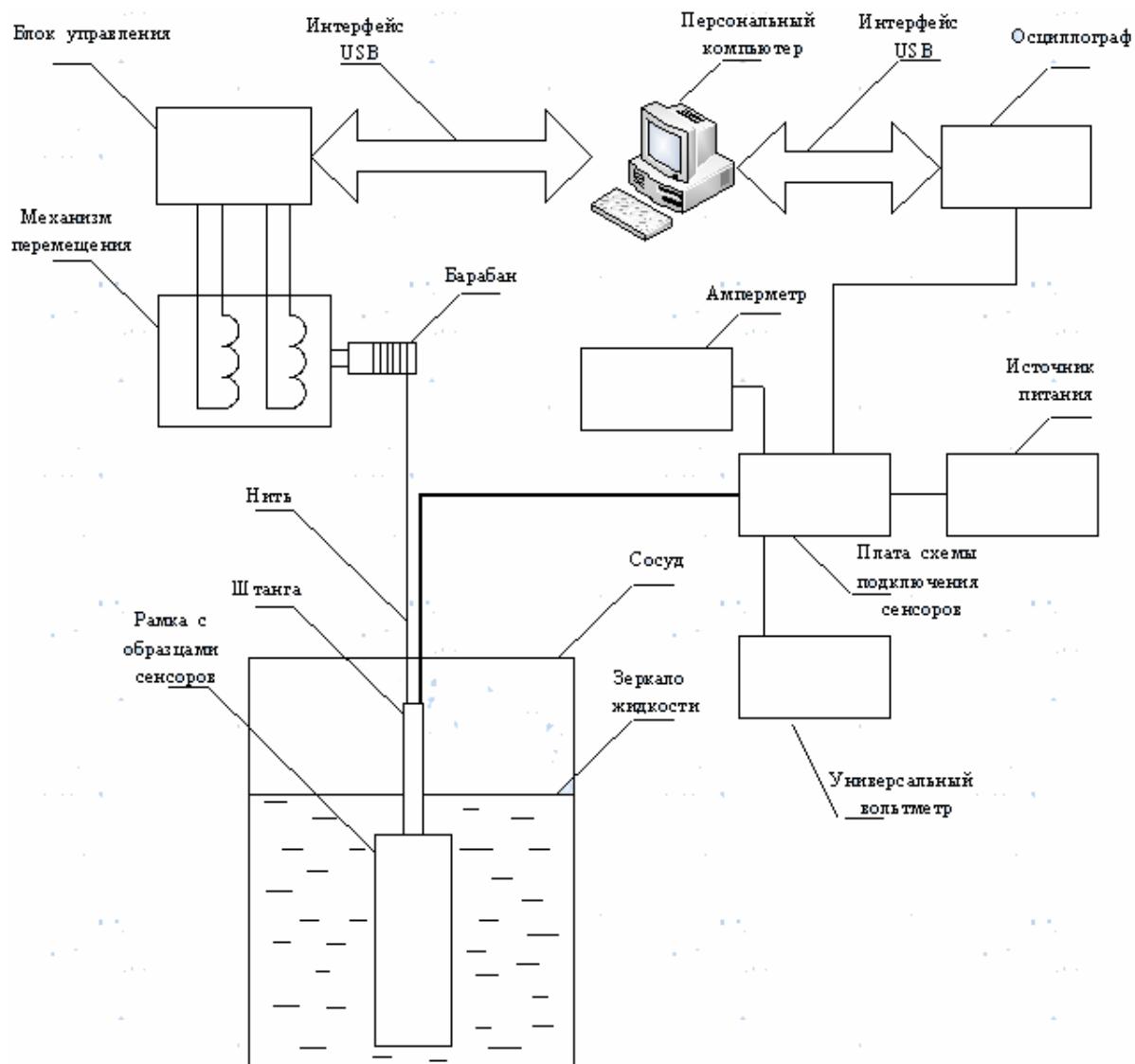


Рис. 3. Схема измерения терморезисторных сенсоров с использованием механизма перемещения (шаговый двигатель или микрометрическая головка)

Испытываемые сенсоры устанавливаются на рамке, как показано на рис. 4. Рамка крепится к штанге (рис. 3) и подвешивается на нити. Вертикальное перемещение рамки осуществляется с известной скоростью с помощью вращения барабана, установленного на оси шагового двигателя. Растворение нити не учитывается, так как оно не изменяется в процессе измерений.

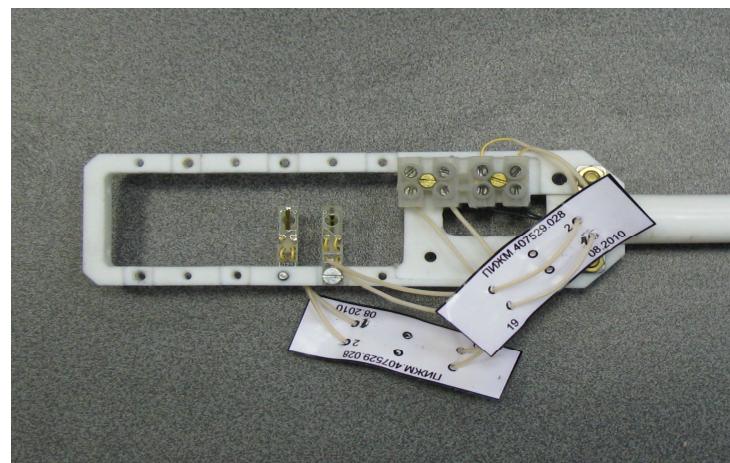


Рис. 4. Рамка с терморезисторами

Порядок проведения эксперимента

Испытываемый сенсор помещается на рамке в жидкость, производится балансировка моста: в диагонали моста устанавливается напряжение не менее -10 мВ и не более $+10$ мВ. Включается шаговый двигатель, рамка с сенсором медленно поднимается, при этом граница жидкость-газ постепенно проходит по всей длине терморезистора, и он попадает в газовую среду. Далее на шаговом двигателе изменяется направление вращения оси на противоположное, и штанга с сенсором погружается обратно в жидкость.

С помощью осциллографа снимается зависимость падения напряжения в диагонали моста от времени. В качестве примера на рис. 5 приведена осциллограмма для сенсора, погруженного в жидкость со скоростью 1 мм/с. Начальное время (t_0) соответствует минимальному значению напряжения U_0 (не более 10 мВ), когда сенсор полностью находился в жидкости. Конечное время (t_2) соответствует максимальному значению напряжения U_1 (не менее 150 мВ), когда сенсор полностью перешел в газовую среду.

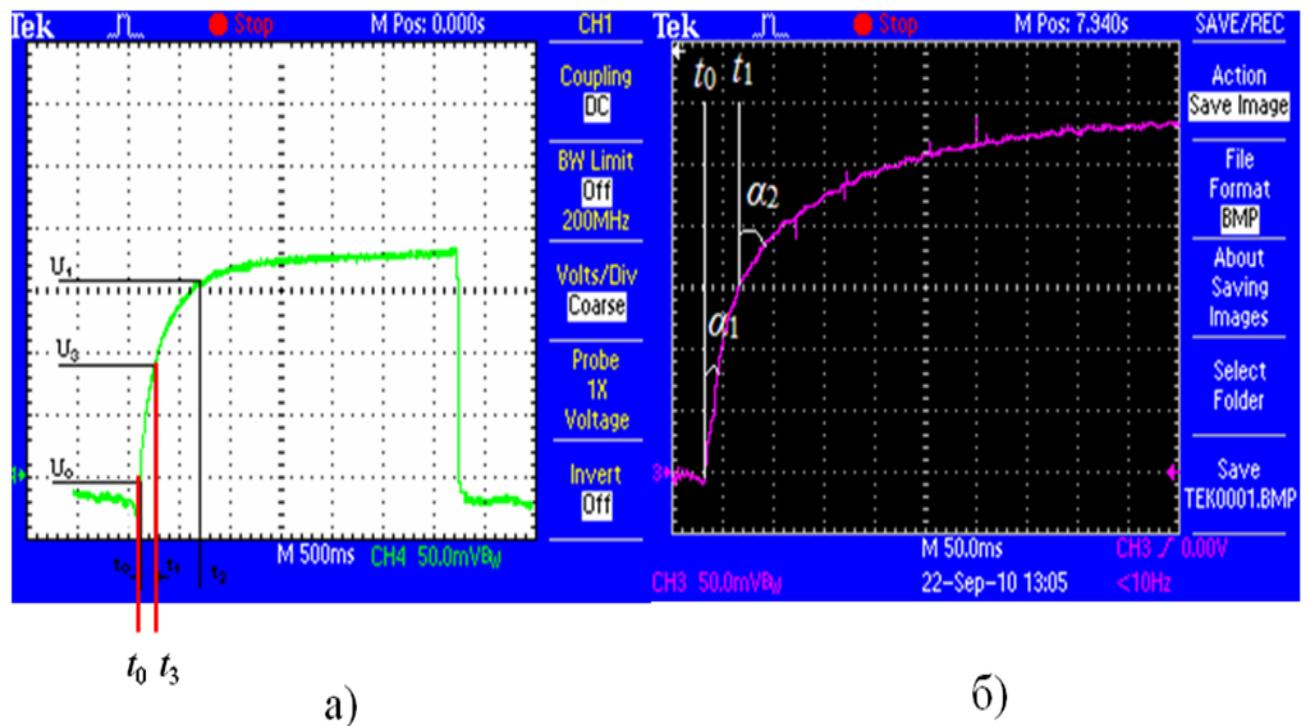


Рис. 5. Осциллограммы изменения напряжения в диагонали измерительного моста при переходе границы жидкость-газ: а) определение пороговых значений, б) определение углов α_1, α_2

Для определения порогового значения напряжения срабатывания U_3 сенсора воспользуемся методикой [1]. Для этого вычисляется разность напряжений $\Delta U = U_1 - U_0$, рассчитывается напряжение $U_2 = 0,63\Delta U$. Значение напряжения срабатывания U_3 рассчитывается по формуле:

$$U_3 = U_0 + U_2.$$

Из осцилограммы видно, что срабатывание датчика (фиксирование порогового напряжения U_3) происходит с некоторой задержкой во времени ($t_{зад} = t_0 - t_1$) с того момента, как граница жидкость-газ начинает перемещаться по терморезистору. За время $t_{зад}$ граница жидкость-газ успевает переместиться на некоторое расстояние l . Для определения этого перемещения уровня жидкости предложено измерять в ходе эксперимента время задержки сигнала (переходного процесса) $t_{зад}$ сенсора при прохождении им зеркала жидкости и скорость v перемещения рамки с сенсором. Изменение уровня в контрольной точке, в которой расположен сенсор, определяется длиной отрезка l , равного:

$$l = v \cdot t_{зад},$$

где v – скорость перемещения рамки с сенсором; $t_{зад}$ – время задержки.

Таким образом, величина l является абсолютной погрешностью измерения уровня сенсором.

Относительная погрешность определения l равна сумме относительных погрешностей времени задержки и скорости перемещения зеркала жидкости:

$$\delta l = \delta v + \delta t_{зад},$$

где δv – относительная погрешность скорости перемещения сенсора внутри сосуда, ее величина зависит от характеристик шагового двигателя.

В экспериментальной установке используется двигатель FL42STH47-1684A. Угловой шаг двигателя составляет $1,8^\circ$; погрешность угловая не более $5,4'$; относительная угловая погрешность 5% . Диаметр барабана 6,6 мм. Вращение двигателя со скоростью 154 шага в секунду приводит к перемещению рамки с сенсорами со скоростью 1 мм/с с относительной погрешностью 5% .

Абсолютная погрешность измерения временных интервалов осциллографа TDS 2024, согласно данным внесенным в государственный реестр (регистрационный номер 32618.06), составляет:

$$\Delta_i = +K_p/250 + 50 \cdot 10^{-6} \cdot T_{изм} + 0,6 \text{ нс},$$

где K_p – коэффициент развертки осциллографа; $T_{изм}$ – измеренный интервал времени.

Абсолютная погрешность измерения времени задержки $t_{зад}$ ЧЭ ДКУ при прохождении границы жидкость-газ определяется как сумма двух абсолютных погрешностей:

$$\Delta t_{зад} = \Delta_i + \Delta_{фр},$$

где Δ_i – абсолютная погрешность измерения временного интервала осциллографом; $\Delta_{фр}$ – дополнительная абсолютная погрешность измерения временного интервала, зависящая от крутизны фронта и скачка напряжения сигнала.

Для интервалов 0,01–0,2 с абсолютная погрешность измерения временного интервала Δ_i может быть вычислена с использованием упрощенной формулы:

$$\Delta_u = K_p / 250,$$

где K_p – коэффициент развертки осциллографа.

Дополнительная абсолютная погрешность измерения временных интервалов $\Delta_{\phi p}$ определяется:

$$\Delta_{\phi p} = \pm \sqrt{\tan^2 \alpha_1 + \tan^2 \alpha_2} \cdot \Delta_u,$$

где α_1 – угол между линией графика осцилограммы и вертикальной осью в точке t_0 (рис. 5, б); α_2 – угол между линией графика осцилограммы и вертикальной осью в точке t_1 . На рис. 5 б) $\alpha_1=12^\circ$; $\alpha_2=45^\circ$.

Относительная погрешность измерения времени задержки $t_{зад}$ сенсора, переходная характеристика которого представлена на рис. 5 б), равна 10,1 %.

В результате, относительная погрешность измерения изменения уровня l :

$$\delta l = \delta v + \delta t_{зад} = 15,1 \text{ \%}.$$

В ходе работы была проведена серия измерений l на двенадцати различных сенсорах при переходе границы жидкость-газ со скоростью 1 мм/с. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

№ сенсора	$U_0, \text{ мВ}$	$U_1, \text{ мВ}$	$U_2, \text{ мВ}$	$U_3, \text{ мВ}$	$t_{зад}, \text{ мс}$	$l, \text{ мм}$
3	2	95,24	150	93,24	38	0,04
5	-2	93,76	150	95,76	50	0,05
6	-2	95,02	152	97,02	22	0,02
9	-8	91,54	150	99,54	50	0,05
10	0	95,76	152	95,76	22	0,02
14	2	95,24	150	93,24	36	0,04
17	-4	95,54	154	99,54	96	0,10
18	0	94,50	150	94,50	26	0,03
19	-2	93,76	150	95,76	38	0,04
30	10	99,46	152	89,46	54	0,05
38	-2	95,02	152	97,02	28	0,03
46	2	95,24	150	93,24	44	0,04

В ходе работы так же проводились испытания на меньших и больших скоростях перемещения сенсоров.

На рис. 6 представлен график изменения сигнала в диагонали измерительного моста при перемещении сенсора, пересекающего зеркало жидкости, с шагом 0,1 мм. Измерения производились при низкой скорости перемещения сенсора не более 0,5 мм/с, поэтому экспериментальная характеристика, изображенная на графике, отличается от осцилограмм. На начальном участке медленное увеличение сигнала объясняется влиянием колебаний верхнего слоя жидкости в результате кипения. Резкое увеличение сигнала происходит в интервале 0,1 мм. Этот интервал определяет погрешность измерения изменения уровня жидкости.

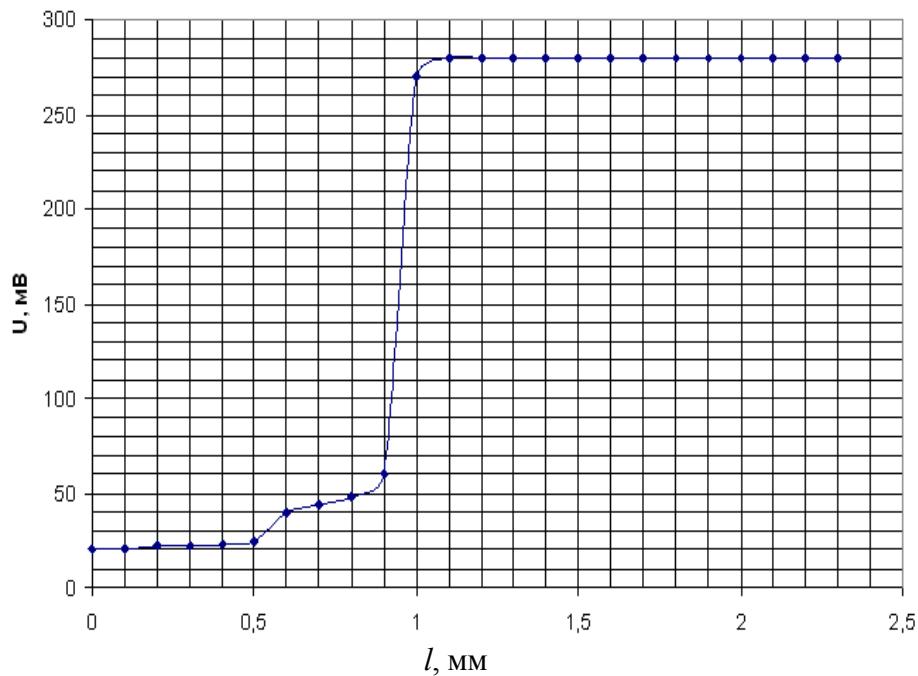


Рис. 6. Экспериментальная зависимость изменения сигнала при перемещении уровня жидкости

Следует отметить, что при больших скоростях перемещения уровня, более 1 мм/с, предложенная методика оценки погрешности l не применима, так как невозможно на крутом фронте установить пороговое значение напряжения U_3 , по которому определяется расстояние перемещения при пересечении сенсором границы зеркала жидкости.

Для подтверждения полученных результатов при более высокой скорости изменения уровня жидкости были изготовлены сенсоры с двумя терморезисторами на одной подложке, расположенные на расстояниях 0,5 мм и 1,2 мм друг от друга. Изготовленный сенсор с двумя терморезисторами представлен на рис. 7.



Рис. 7. Сенсор с двумя терморезисторами, расположеннымными на расстоянии 1,2 мм

Осциллограммы с переходными характеристиками сенсоров с двумя терморезисторами, расположенными друг от друга на расстоянии 0,5 и 1,2 мм, представлены на рис. 8.

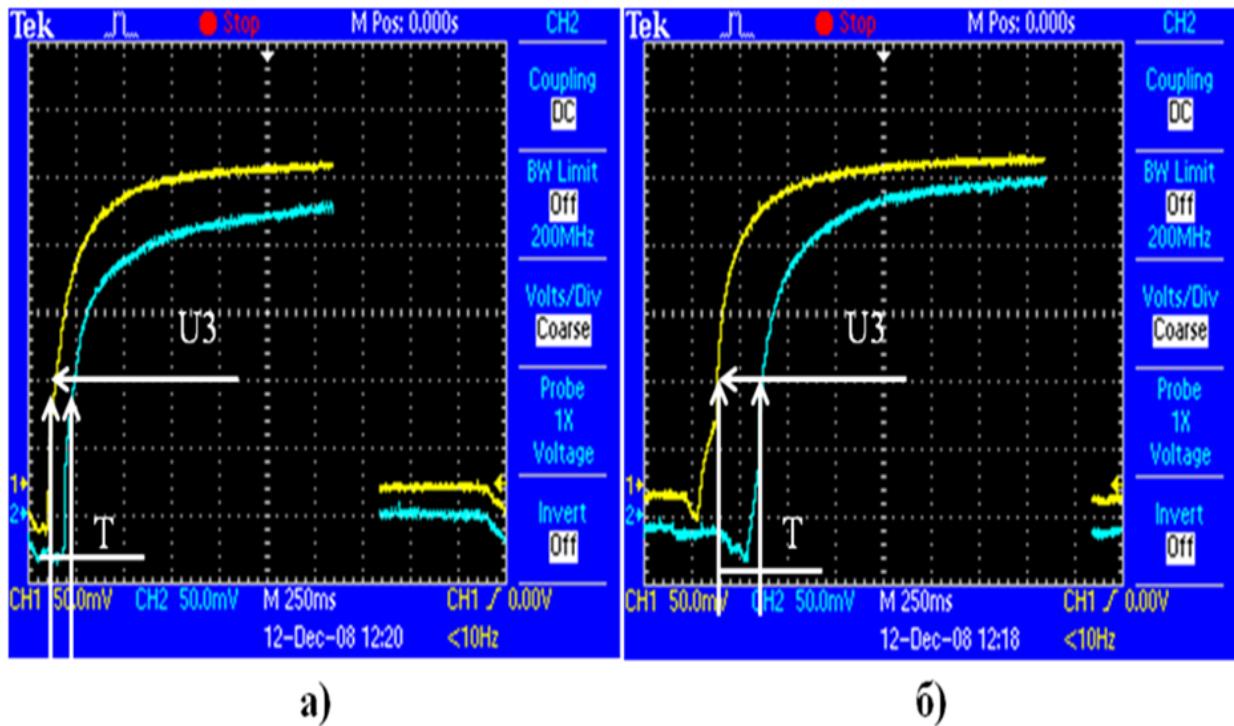


Рис. 8. Осциллограммы изменения напряжения в диагонали измерительного моста при переходе границы жидкость-газ двух терморезисторов, расположенных на расстоянии: а) 0,5 мм; б) 1,2 мм

При пересечении зеркала жидкости верхним резистором нижний находился в жидкости в течение 0,1 и 0,25 с (рис. 8). По истечении этого времени напряжение в диагонали измерительного моста верхнего резистора начинало возрастать.

Результаты измерений с использованием двух терморезисторов на одной подложке подтверждают результаты, полученные с помощью измерений времени задержки переходной характеристики: время задержки не более 50 мс. Погрешность измерения уровня при скорости изменения уровня ~ 5 мм/с не более 0,12 мм, что значительно меньше расстояния между резисторами.

Разработанный метод измерения уровня с использованием терморезисторов, изготовленных методами микроэлектроники на тонких теплоизоляционных подложках, позволяет определять изменения уровней криогенных сред с погрешностью не более 0,5 мм и быстродействием менее 0,2 с.

Достоинством предложенного метода является возможность автоматизировать процесс измерения (заменяя измерения механических перемещений электронными измерениями временных интервалов).

При использовании современных методов построения измерительных систем на микропроцессорах, в которых для определения состояния применяются пороговые значения, предложенный метод является наиболее приемлемым.

Литература

1. Фрайден Дж. Современные датчики: справ.; пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 188 с.

ИСТОКИ И БУДУЩЕЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

А.П. Карташова, кандидат физико-математических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Приведен краткий исторический обзор работ по полупроводниковым светодиодам. Рассмотрены тенденции и перспективы развития твердотельного освещения. Указана роль описания структурных особенностей материала для улучшения параметров излучения светодиодов.

Ключевые слова: светодиоды, твердотельное освещение, мультифрактальный анализ, характер организации наноматериала, внешняя квантовая эффективность

ORIGINS AND FUTURE OF SOLID STATE LIGHTING

A.P. Kartashova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article provides a brief historical overview of semiconductor LEDs. Examined trends and prospects for the development of solid-state lighting. A role is specified in the description of the structural characteristics of the material to improve the parameters of radiation of the LEDs.

Keywords: light-emitting diodes, solid-state lighting, multifractal analysis, nanostructural arrangement of the material, external quantum efficiency

Нобелевская премия 2014 г. по физике присуждена японским ученым Исamu Акасаки, Хироши Амано и Шуджи Накамура «за изобретение эффективных синих светодиодов, обеспечивающих яркие и энергосберегающие источники белого света». В начале XXI в. открылись новые возможности создания энергосберегающего освещения. На цели освещения в мире расходуется примерно 20 % от всей производимой электроэнергии (2×10^{12} кВт×час в год). При этом широко распространенные для целей освещения лампы накаливания имеют крайне низкую светоотдачу около 10 лм/Вт (в усовершенствованных галогенных модификациях ~ 20–25 лм/Вт), а наиболее эффективные люминесцентные лампы низкого давления – около 80 лм/Вт, и эти значения близки к физическому пределу. Кроме того, лампам присущи такие недостатки, как весьма ограниченный срок службы – от нескольких сотен до десяти тысяч часов, механическая хрупкость, наличие разогретых элементов и др. Необходимость решения проблемы энергосберегающего освещения инициировала развитие новой отрасли техники, которая в буквальном переводе с английского звучит как «твердотельное освещение» (Solid-State Lighting). По существу, речь идет об использовании полупроводниковых спонтанных источников излучения – светодиодов (СД) для решения широкого круга светотехнических задач. Среди них сигнальные системы большого радиуса действия – светофоры, маяки, бортовые огни, навигационные огни; крупномасштабные информационные табло; локальные осветительные системы для медицинского оборудования, автомобилей, взрывоопасных объектов и т.д. Наконец, наиболее амбициозный проект связан с применением светодиодов для общего освещения (general illumination), и для его реализации необходимы мощные белые СД на основе нитридов III-группы. Надежды на решение проблемы энергосберегающего освещения не случайно возлагаются на светодиоды. СД потребляют около 17 % электрической энергии относительно ламп накаливания и в два раза меньше, чем люминесцентные лампы. Ресурс работы лучших светодиодов составляет сто тысяч часов (10 лет), что примерно в 300 раз больше, чем у накальных ламп и в 90 раз больше, чем у компактных. СД имеют малый вес, устойчивы к деформациям и вибрациям и не представляют экологической опасности. Теоретический предел светоотдачи белых светодиодов близок к 350 лм/Вт. Экономия электроэнергии при внедрении светодиодного освещения (по оценкам, сделанным в США) будет эквивалентна отказу от строительства 100 атомных электростанций. О масштабах и перспективах работ

в указанном направлении свидетельствует множество фактов. Это и принятие специальных государственных программ по твердотельной светотехнике в США, Европе, Китае, Японии и Корее, и быстрый рост капиталовложений и объема рынка мощных полупроводниковых светодиодов, и нарастающий поток статей, патентов и конференций по данной тематике [1–5].

Предполагается, что в 2016 г. общий объем светодиодного рынка будет превышать 20 млрд долл. В нашей стране исследование и разработка технологии белых СД проводится российскими академическими и университетскими организациями и отечественными промышленными фирмами, в том числе ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (Санкт-Петербург). Однако реализация потенциальных преимуществ светодиодов как источников света требует еще значительных усилий по их разработке и совершенствованию. В первую очередь это совершенствование технологии эпитаксиального выращивания нитридных AlGaN/GaN квантово-размерных гетероструктур, являющихся основой большинства мощных современных СД видимого диапазона, в том числе и белых. Для подобных применений помимо высокой эффективности требуется также высокая выходная оптическая мощность, а значит использование больших плотностей тока накачки. Создание твердотельных источников освещения белым светом идет по нескольким направлениям. Наиболее развитое из них на сегодняшний день – использование синих светодиодов на основе квантоворазмерных гетероструктур InGaN/GaN с люминофорным покрытием. Следует отметить, что в настоящее время серийные СД имеют светоотдачу 160–200 лм/Вт, а рекордные лабораторные образцы достигли 303 лм/Вт, что приближается к теоретическому пределу (350 лм/Вт) [6]. Однако основная проблема, препятствующая успешному решению задачи энергосберегающего твердотельного освещения – падение внешней квантовой эффективности этих СД начиная с низких плотностей тока 10 A/cm^2 (для сравнения – в красных СД этот эффект начинается при плотностях тока 100 A/cm^2), не решена, и природа этого эффекта не выяснена. Этот эффект приводит к потерям мощности до 50 % в рабочем режиме плотностей тока 100–200 A/cm^2 и, как следствие, к тому, что стоимость 1 лм светового потока оказывается существенно выше, чем у люминесцентных ламп. Прежде чем обсуждать возможные пути решения этой проблемы, кратко вспомним историю развития синих СД, особенности технологии этих материалов и их структурных, электрических и оптических свойств.

История создания первых СД на основе нитридов III-группы достаточно драматична [1]. Разработки светоизлучающих приборов для коротковолновой области спектра на основе нитридов III-группы начались в нескольких странах мира, в том числе и в России в 60-х гг. прошлого века. Однако сразу же возникла проблема роста слоев, жидкофазная эпитаксия не обеспечивала получение гладких слоев. Важным этапом в выращивании GaN были работы Маруска по получению кристаллов GaN методом газофазной эпитаксии (HVPE). Первые СД на GaN были получены в 1971 г. в США Ж.И. Панковым, а в России в 1977 г. – С.И. Радауцаном и В.Г. Сидоровым с сотрудниками. Эффективность СД составляла десятые доли процента. Для получения эффективных источников излучения необходим был p-n переход и зеркально-гладкие эпитаксиальные слои. Получение слоя p-типа проводимости стало камнем преткновения на многие годы, так как легирование GaN примесями Mg, Zn, Be, которые должны были действовать как акцепторы, не обеспечивало получение p-типа проводимости. В результате во многих странах, в том числе и в России, к середине 70-х гг. финансирование этих работ практически прекратилось. Работы продолжали отдельные энтузиасты. Сапарин Г.В. и Чукичев М.В. (МГУ) в 1981–1982 гг. обнаружили люминесценцию GaN, легированного магнием, под действием электронного пучка.

Японскому профессору И. Акасаки в 1986 г. удалось получить методом эпитаксии из металлоганических соединений пленки GaN высокого качества, благодаря выращиванию тонкого зародышевого слоя AlN на сапфире и последующего роста GaN, что отчасти позволило снять несоответствие параметров решетки. Кроме того, И. Акасаки и Т. Амано обнаружили свечение GaN, легированного магнием, под действием электронного пучка и установили, что получен материал p-типа проводимости. Однако эти сообщения не привлекли внимания, также как статьи молодого исследователя Ш. Накамуры [5]

из практически неизвестной в оптоэлектронной промышленности компании «Nichia Chemical Industries Ltd.». Сообщение этой компании в ноябре 1993 г. о завершении разработки голубых СД на основе GaN и о начале их массового производства было подобно взрыву атомной бомбы. С этого момента Ш. Накамура много лет был лидером в разработке СД на основе III-нитридов. Первый коммерческий СД (рис. 1) был сделан Ш. Накамурой в 1994 г. и имел эффективность 5,4 %.

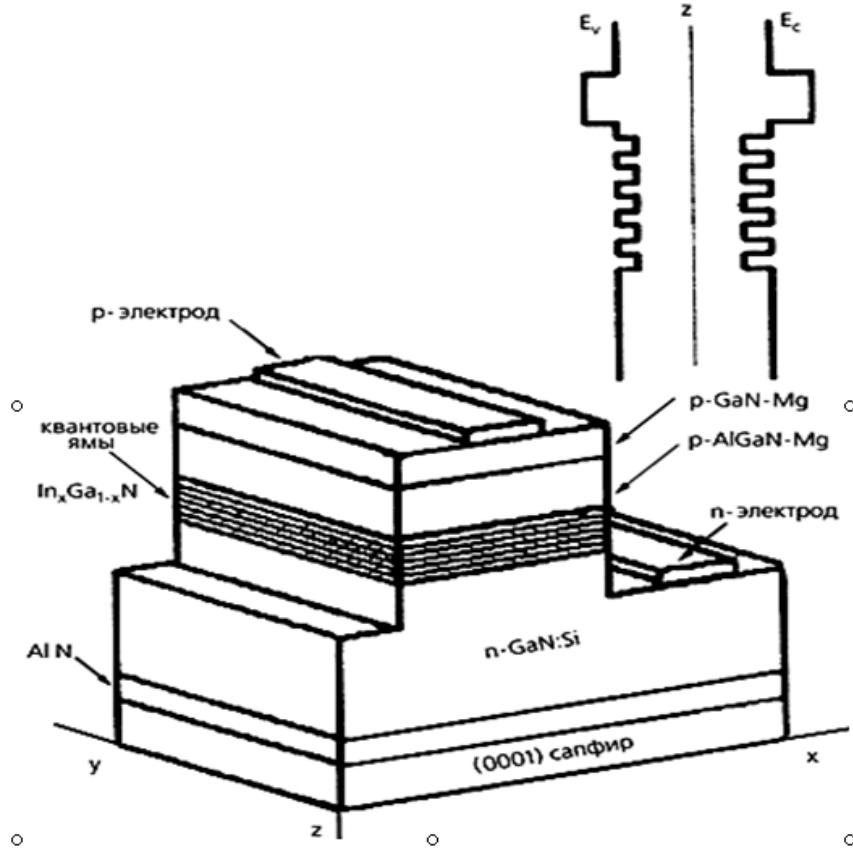


Рис. 1. Конструкция светодиода Ш. Накамуры

Потребовалось больше 10 лет, чтобы улучшить этот параметр до 60 % объединенными усилиями нескольких фирм и гигантскими финансовыми вложениями. В России работы по развитию этого направления возобновились в годы перестройки, когда финансирование было сведено к минимуму, но благодаря энтузиазму профессора МГУ А.Э. Юновича направление выжило. В 1997 г. А.Э. Юновичем была организована ежегодная российская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы», объединившая энтузиастов, число которых растет с каждым годом. Почему же путь в светлое будущее оказался таким долгим и сложным? Казалось бы, конструктивное решение вполне понятно: физика светоизлучающих приборов на основе гетероструктур A^3B^5 исследована и пути повышения квантовой эффективности СД выяснены в многочисленных исследованиях, в том числе и наших соотечественников, сотрудников Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе, во главе с Ж.И. Алферовым. Технология, позволяющая реализовать светодиодную структуру на Ш-нитридах, найдена, и ростовые установки выпускаются несколькими фирмами. Тем не менее в течение нескольких лет никто не мог приблизиться к параметрам, полученным Ш. Накамурой, а свойства даже единичных слоев GaN, выращенных на однотипных установках в близких режимах, более того, даже на одной установке, но в разных процессах, могли отличаться, например по подвижности носителей, почти на порядок. Результаты исследований, проведенных в различных лабораториях мира, показали, что этот эпитаксиальный материал по своим структурным свойствам принципиально отличается от традиционных гетероструктур A^3B^5 и не только высокой плотностью дислокаций (краевых,

винтовых, а также смешанного типа) до 10^{10} см^{-2} , но и мозаичной или доменной структурой (рис. 2) [7, 8]. Кроме того, он содержит дефекты упаковки, микропоры и микротрубки. Эти структурные особенности типичны как для отдельных слоев, так и светоизлучающих структур [7, 9]. Формирование такой сложной внутренней организации наноматериала нитридов Ш-группы обусловлено, во-первых, способом его получения в неравновесных условиях, во-вторых, на подложках, рассогласованных с растущим слоем, в-третьих, гексагональной модификацией, когда постоянная решетка по оси с значительно отличается от постоянных решетки а и б.

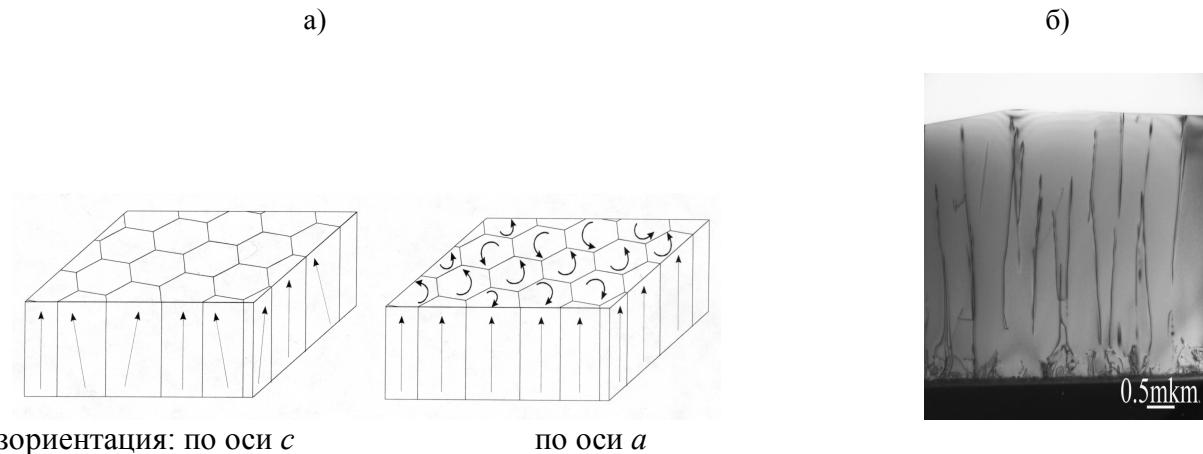


Рис. 2. Структурные особенности нитридов Ш-группы: а) модель доменной структуры; б) типичное изображение слоя GaN в просвечивающем микроскопе (хорошо видны прорастающие дислокации, пронизывающие весь слой и образующие доменную или мозаичную структуру)

Рост осуществляется в несколько стадий: на начальной стадии роста формируется зародышевый слой, идет образование дислокаций несоответствия и появляются островки (нанодомены) с размерами от нескольких до десятков нанометров, имеющие разные углы наклона и разворота оси с относительно друг друга (рис. 3).



Рис. 3. Начальная стадия роста, формирование зародышевого слоя (просвечивающая микроскопия)

На последующих стадиях происходит разрастание доменов и релаксация дислокаций на границах доменов и вырастает эпитаксиальный слой со следами доменных границ. За эти годы разработано множество способов управления этими стадиями роста, направленных на снижение плотности прорастающих дислокаций. Обширная литература посвящена этим важнейшим и интереснейшим вопросам [10, 11]. Отметим лишь то, что, несмотря на многолетние усилия, снизить плотность дислокаций до значений меньше 10^4 см^{-2} , типичной для полупроводников A^3B^5 , не удалось. Более того, средняя плотность дислокаций по-прежнему достаточно высока – 10^8 см^{-2} , но при этой плотности фирма Cree получила

светодиоды с внешней квантовой эффективностью 40 %, хотя в теоретических работах предсказывалось, что повышения эффективности более 20 % можно ожидать при снижении плотности дислокаций до значений меньше 10^7 см^{-2} [12]. До сих пор отсутствует общепринятая точка зрения о роли дислокаций в формировании электрических и оптических свойств как отдельных слоев, так и светоизлучающих структур [13]. В результате механизм безызлучательной рекомбинации не выяснен. Не лучше обстоит дело и с механизмом излучательной рекомбинации. Из многолетней практики разработки СД на других материалах следует однозначный вывод, что при такой плотности протяженных дефектов излучательная рекомбинация должна быть полностью подавлена. Однако СД на нитридах светят. Есть несколько предположений: малая диффузионная длина дырок, низкая электрическая активность дислокаций, локализация носителей в потенциальных ямах, связанных с флуктуациями состава твердого раствора InGaN (модель с квантовыми точками), «залечивание» дефектов атомами индия [3]. На сегодняшний день общепринятых механизмов, объясняющих высокую квантовую эффективность СД на этих материалах, не выработано.

Существующие модели, как правило, удовлетворительно объясняют спектры электролюминесценции, причины улучшения параметров конкретного исследуемого СД, но не дают ясных рекомендаций по увеличению квантовой эффективности и мощности излучения СД, в том числе и при плотностях тока выше 100 A/cm^2 . Экспериментальные результаты разных исследователей нередко противоречивы, а компании – лидеры в получении высокоэффективных СД, как правило, приводят только лучшие значения полученных параметров, а не результаты исследований. Представляется, что противоречия и трудности в понимании физических механизмов и в развитии теоретических представлений во многом связаны, как уже упоминалось, с многообразием форм организации наноматериала светоизлучающих структур, большой энергией ионизации акцепторных примесей (160–200 мэВ, что в несколько раз больше, чем на традиционных материалах), а также с особенностями твердого раствора InGaN. Распад твердого раствора начинается с малых толщин 4 нм, что препятствует исследованию его объемных свойств, а, кроме того, активную область СД приходится делать составной в виде набора ям и барьеров. Организация наноматериала твердого раствора существенно зависит от организации наноматериала поверхности, на которой проводится рост слоя. Это приводит к тому, что информация о свойствах твердого раствора InGaN извлекается из исследований спектров фотolumинесценции и электролюминесценции светоизлучающих структур. Эта суммарная информация как об особенностях квантовых ям и барьеров, так и о слое твердого раствора создает многочисленные версии интерпретации, полученных экспериментальных данных. До недавнего времени количественная характеристика особенностей организации наноматериала была затруднена, так как методы диагностики, хорошо зарекомендовавшие себя при разработке СД на основе гетероструктур A^3B^5 , характеризуют материал локально или интегрально, практически не отражая внутренних связей между частями сложной системы, то есть особенностей организации наноматериала. Такая возможность открывается при применении информационно-вероятностных методов мультифрактального анализа [14]. Эти методы, в отличие от традиционного фрактального анализа, используют не одну меру, а набор самоподобных мер и функций распределения, что позволяет количественно охарактеризовать особенности организации наноматериала с помощью таких мультифрактальных параметров, как уровень самоорганизации наноматериала, степень упорядоченности, нарушение общей и локальной симметрии [14]. Эти параметры могут быть получены из данных исследования поверхности слоев и приборных структур методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) путем обработки математического множества, соответствующего изображению поверхности, методами мультифрактального анализа, заложенными в компьютерные программы [14, 15]. Согласно

проведенным теоретическим и экспериментальным исследованиям, в целях количественной параметризации целесообразно использовать такие мультифрактальные характеристики, как обобщенные энтропии (размерности) Ренни D_q и упорядоченности Δ_q . По изменению этих характеристик можно получать дополнительную информацию о темпах протекания процессов структурообразования, смене механизмов формирования структур и т.п.

Использование контроля характера организации наноматериала светоизлучающих структур InGaN/GaN с применением мультифрактального анализа дает возможность выяснить особенности излучательной и безызлучательной рекомбинации в этих материалах [16, 17]. Таким образом, можно исследовать причины падения внешней квантовой эффективности и деградации СД для решения задач энергосберегающего освещения.

Литература

1. Бахтизин Р.З. Голубые диоды // Соровский образовательный журнал. 2001. № 3. С. 75.
2. Закгейм А.Л. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) // Светотехника. 2012. № 6. С. 12–21.
3. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. А.Э. Юновича. 2-е изд. М: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
4. Юнович А.Э. Светодиоды и их применение для освещения. М.: Знак, 2011.
5. Nakamura S., Senoh M., Iwasa N. High-power single-quantum-well structure blue and violet light-emitting diodes // Appl. Phys. Lett. 1995. № 13. P. 1868.
6. CREE LED Lighting. URL: <http://www.cree.com/Lighting/Document-Library> (дата обращения: 21.10.2014).
7. Degave F., Ruterana P., Nouet G. Metalorganic chemical vapor deposition growth of a GaN epilayer on an annealedGaN buffer layer // Phys. stat. sol.(c). 2002. P. 546.
8. Lafford T.A., Parbrook P.J. Direct, independent vtasurement of twist and tilt mosaic as function of thickness in epitaxial GaN // Phys. stat. sol.(c). 2002. P. 542.
9. Peculiarities of extended defect system in III-nitrides with different degrees of order of mosaic structure / A.V. Ankudinov [et al.] // Physica B. 2003. P. 462.
10. Karpolek D., Keller S., Speck J.S. Structural evolution in epitaxial metalorganic chemical vapor deposition GaN films on sapphire // Appl. Phys. Lett. 1995. № 11.
11. Gibar P. Metal organic vapour phase epitaxy of GaN and lateral overgrouth // Rep. Prog. Phys. 2004.
12. Karpov S.Yu., Makarov Yu.N. Dislocation effect on light emission efficiency in gallium nitride // Appl. Phys. Lett. 2002. P. 4721.
13. Li D.S., Chen H., Yu H.B. Dependence of leakage current on dislocations in GaN-based Light-emitting diodes // J. of Appl. Physics. 2004. P. 1111.
14. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Бунин И.Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. С. 116.
15. Emtsev V.V., Kolmakov A.G., Kryzhanovsky A.D. A new approach to analysis of mosaic structure peculiarities of gallium nitride epilayers // Physica B: Physics of Condensed Matter. 2001.
16. Динамика излучательной и безызлучательной рекомбинации синих светодиодов: тезисы докладов IV-й Всерос. конф. «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы» / А.А. Гречнов [и др.]. М.: 2007. С. 27.
17. Влияние уровня легирования кремнием и характераnanoструктурной организации на падение с током внешней квантовой эффективности InGaN/GaN-светодиодов / Б.Я. Бер [и др.] // Физика и техника полупроводников. 2011. № 3. С. 425–431.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ – ФТОРОПЛАСТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОРОШКОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

**Ю.П. Заричняк, доктор физико-математических наук, профессор.
Санкт-Петербургский национальный университет информационных
технологий, механики и оптики.**

**В.А. Иванов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.
Институт физико-технических проблем Севера, Сибирское отделение
Российской академии наук, г. Якутск.**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены возможности аналитических методов теории обобщенной проводимости для интерполяции и экстраполяции результатов измерений и прогнозирования эффективной теплопроводности композиционных материалов – фторопластов с различными порошковыми наполнителями.

Ключевые слова: наполнитель, эффективная теплопроводность, композиционные материалы, концентрация, плотность

ANALYTICAL ESTIMATIONS OF THE EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF COMPOSITE MATERIALS – TEFLON WITH VARIOUS POWDER FILLERS

Yu.P. Zarichnyak. Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

V.A. Ivanov. Institute of physical and technical problems of the North, Siberian branch of the Russian academy of sciences, Yakutsk.

N.N. Romanov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The possibilities of analytical methods of the theory of generalized conductivity for the interpolation and extrapolation of the results of measurement and prediction of effective thermal conductivity of composite materials – teflon with various powder fillings.

Keywords: filler, heat conduction, composite material, concentration, density

В области разработки моделей структур композиционных материалов и методик расчета теплопроводности композитов опубликовано большое число зарубежных [1–5] и отечественных [6–13] работ. К числу основных параметров, определяющих эффективную теплопроводность композита, отнесены следующие основные факторы: теплопроводность и объемная доля компонентов; форма и размеры частиц наполнителя, равномерность распределения наполнителя; монодисперсность или полидисперсность наполнителя.

Одной из наиболее ранних можно считать формулу Релея [1] для теплопроводности двухкомпонентной смеси с шарообразным наполнителем:

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_1} = \frac{2\lambda_1 + \lambda_2 - 2m(\lambda_1 - \lambda_2)}{2\lambda_1 + \lambda_2 + m(\lambda_1 - \lambda_2)},$$

где λ_K , λ_1 , λ_2 – соответственно коэффициенты теплопроводности композиции, матрицы и наполнителя; m – объемное содержание наполнителя.

Оделевский В.И. [6], используя метод электроаналогии, получил соотношение для расчета теплопроводности композиционного материала при хаотическом распределении не контактирующих изомерных частиц:

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_1} = 1 - m \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} - \frac{1-m}{3} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Миснар А. [8] исследовал влияние формы частиц наполнителя и различную их ориентацию. Для кубических частиц наполнителя и теплового потока, ориентированного параллельно боковым граням куба, была предложена формула:

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_1} = 1 + m \frac{1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}{1 - m^{1/3} \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)}. \quad (2)$$

В случае же теплового потока, ориентированного параллельно диагонали куба:

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_1} = 1 - m^{1/3} + \frac{\sqrt{2}m^{1/3}}{2(1 - m^{1/3}) + \sqrt{2}m^{1/3} \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}. \quad (3)$$

Проведенное А. Миснаром [8] параметрическое сопоставление эффективной теплопроводности композиций с различной формой не контактирующих частиц наполнителя и различной их ориентацией в диапазоне изменения объемной доли компонентов от 0 до 0,2–0,3 показало, что разница в расчетных значениях коэффициента теплопроводности для всех рассмотренных моделей не превышает 7,5 %. Это является очень важным результатом, так как в дальнейшем позволяет рассматривать простейшие для математического описания варианты формы и ориентации частиц наполнителя по отношению к направлению потока тепла.

Сопоставление результатов расчетов по формулам (2), (3) с измеренными значениями, приведенные в работе Н.М. Дацко, Л.Н. Новиченко, Э.А. Спорячина [14] для расплава полиэтилена с наполнителями различной химической природы, подтвердили удовлетворительную сходимость опытных и расчетных данных, где максимальные расхождения не превышали 15 %, а среднеквадратичные – $<= 10 \%$.

При этом наполненный полимер представляется гетерогенной системой матричного типа, в котором полиэтилен образует связующую матрицу с равномерно дисперсированными частицами наполнителя.

Наряду с системой, состоящей из изолированных не контактирующих вкраплений, рассмотрим систему с хаотическим распределением невытянутых частиц, описанную в работе «Теплопроводность смесей и композиционных материалов» [10]. Согласно этой модели, при малых объемных концентрациях наполнителя ($0 < m < 0,15$) образование цепочек контактирующих частиц, длина которых сопоставима с размером образца в направлении потока тепла, мало вероятно. Но, в соответствии с теорией протекания [11], начиная с пороговой («критической») объемной концентрации $0,1 < X_c < 0,2$ наполнителя она

скачкообразно увеличивается, образуя при превышении объемной концентрации наполнителя более 0,2 непрерывные пространственные цепочки.

Процесс теплопереноса в этой модели рассматривается на основании хаотической двухкомпонентной модели, состоящей из плотно уложенных двух типов кубов: кубов с теплопроводностью связующего компонента λ_1 (в рассматриваемом случае – полимерной матрицы) и кубов теплопроводностью $\lambda_{\text{эфф}}$, охватывающих частицы наполнителя с теплопроводностью λ_2 [10]:

$$\lambda_{\text{эфф}} = \lambda_1 \left[0,215 - \frac{1,57}{1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - 1 \right) \right]. \quad (4)$$

Анализ результатов расчета показывает, что функциональная зависимость $\lambda_K = f(m)$ в широком диапазоне отношения теплопроводности наполнителя и теплопроводности полимера λ_2/λ_1 является монотонной и вогнутой к оси концентраций. Теплопроводность композита определяется выражением [13]:

$$\lambda_K = \lambda_{\text{эфф}} (m'_2)^2 + 4m'_1 m'_2 \frac{\lambda_1 \lambda_{\text{эфф}}}{\lambda_1 + \lambda_{\text{эфф}}} + \lambda_1 (m'_1)^2. \quad (5)$$

Здесь m'_1 – объемная концентрация связующего, не вошедшего в кубы, и m'_2 – объемная концентрация кубов – связаны с объемной концентрацией наполнителя m_2 соотношениями:

$$m'_2 = 1,91 \cdot m_1; \quad m'_1 = 1 - m'_2.$$

Такая модель работает до объемной концентрации наполнителя.

Если известна массовая концентрация наполнителя n_2 , то пересчитать ее в объемную, зная справочные значения плотности компонентов ρ_1 и ρ_2 , можно по формуле:

$$m_2 = \frac{1}{1 + \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{1 - n_2}{n_2}}. \quad (6)$$

Результаты расчета эффективной теплопроводности λ_K , проведенного по формулам (4) и (5) для систем с хаотическим распределением частиц наполнителя, сопоставлены с результатами расчета по модели с изолированными вкраплениями (1) и (2). Из сопоставления полученных результатов с результатами расчета систем с изолированными включениями следует, что модель с хаотическим распределением частиц учитывает возможность возникновения цепочек контактирующих частиц с ростом объемной доли наполнителей, точнее отражает структуру композита, дает более быстрый рост теплопроводности композита и лучшее соответствие с результатами измерений.

Данная модель и схема расчета эффективной теплопроводности наполненных полимеров не учитывают влияние размера частиц наполнителя на свойства композиции. Такое допущение не вносит существенной погрешности, когда размеры частиц наполнителя

находятся в обычных пределах ($100 < d < 5 \cdot 10^3$ мкм), а средние размеры невытянутых частиц наполнителя отличаются не более чем в 2–3 раза.

Если различие в размерах частиц наполнителя более значительно (5–10 раз), то при объемной концентрации дисперсного наполнителя более $m > 0,2$ структура полидисперсной системы заметно отличается от выше рассмотренных моделей, так как частицы мелкой фракции располагаются вокруг точек контакта более крупной фракции. Модель структуры полидисперсных композиционных материалов и методика расчета коэффициентов их эффективной теплопроводности предложена в работе «Моделирование структуры и расчет теплопроводности полидисперсных материалов» [15].

Следует отметить, что на коэффициент теплопроводности наполненных полимеров большое влияние оказывает структурообразование на молекулярном и надмолекулярном уровнях, обусловленное химическим составом, структурой, формой, концентрацией и размером частиц наполнителя. Однако на сегодняшний день практически отсутствуют четкие модельные представления процесса теплопереноса в наполненных полимерных системах, хотя на базе имеющегося экспериментального материала при помощи известных методов теории теплопроводности можно получить расчетные эмпирические зависимости, которые позволяют оценить в каждом частном случае значение коэффициента теплопроводности и наполненных полимерных систем.

Исследования проводились на образцах композиционных материалов, представляющих собой политетрафторэтилен (ПТФЭ), наполненный коксом КЛ-1 (ФК) и дисульфидом молибдена MoS₂ (ФМ). Материалы были изготовлены в Институте естественных наук Бурятского филиала Сибирского отделения Академии наук СССР. Для расчета эффективного коэффициента теплопроводности ПТФЭ с наполнителем из дисульфида молибдена использована модель, в которой процесс переноса тепла рассматривается на хаотической двухкомпонентной модели. Расчет ведется по формулам (4), (5) и (6).

Массовая концентрация наполнителей изменялась в диапазоне от 5 до 40 % для ФК (ФК5, ..., ФК40), от 5 до 30 % – для ФМ с шагом 5 % (ФМ5, ..., ФМ30).

В табл. 1 представлены результаты расчета пористости материалов марки ФМ и ФК, где ρ_1 – плотность исследуемого материала, найденная гидростатическим методом (Коваленко и др., 1979 г.); ρ – беспоровая плотность композита, рассчитанная по формуле:

$$\rho_2 = \rho_{\text{наполн}} \cdot m_{\text{наполн}} + \rho_{\text{ПТФЭ}} \cdot m_{\text{ПТФЭ}},$$

где $\rho_{\text{наполн}}$, $m_{\text{наполн}}$, $\rho_{\text{ПТФЭ}}$, $m_{\text{ПТФЭ}}$ – плотность и объемная концентрация наполнителя (кокс или дисульфид молибдена) и ПТФЭ соответственно.

Поры в материалах рассмотрены как изолированные включения в системе. Для композита ПТФЭ + MoS₂ влияние пористости рассчитано на трех пористых материалах ФМ5, ФМ25, ФМ30, при этом считалось, что поры имеются между зернами дисульфида молибдена (вариант MoS₂ + воздух). Результаты расчета теплопроводности материалов ФМ и ФК с учетом пор и без учета пор приведены в табл. 2, 3.

Для сравнения расчеты произведены для двух моделей, более приемлемых для данного класса материалов.

Учет влияния пористости при наполнении ПТФЭ коксом проведен в трех вариантах: 1) кокс + воздух; 2) ПТФЭ + воздух; 3) композиция + воздух. Во всех трех вариантах воздух считался как изолированное включение.

Процедура расчета сводилась к следующему: сначала рассчитывался эффективный коэффициент теплопроводности бинарной системы при вышеперечисленных вариантах 1 и 2 по формуле В.И. Оделевского (1). Кокс и ПТФЭ при расчете считались матрицей системы. Результаты расчета приведены в табл. 1, 2. Далее расчет проводился для двух моделей по формулам (1) и (5). В первом случае (вариант 1) матрицей считался ПТФЭ. Во втором случае (вариант 2) ПТФЭ + воздух.

Для расчета варианта 3 использовались данные табл. 1 для двух моделей с последующим учетом пористости. В этом случае матрицей считалась композиция ПТФЭ + кокс.

Расчет теплопроводности композиций произведен при следующих исходных данных по теплопроводности Вт/(мК): ПТФЭ $\lambda_{\text{ПТФЭ}} = 0,270$; кокса КЛ-1; $\lambda_{\text{кокс}} = 1,50$; дисульфида молибдена $\lambda_{\text{MoS}_2} = 19,8$; воздуха $\lambda_{\text{возд}} = 0,03$; и плотности (кг/м³) ПТФЭ $\rho_{\text{ПТФЭ}} = 2182$; кокса КЛ-1 $\rho_{\text{кокс}} = 1783$; дисульфида молибдена $\rho_{\text{MoS}_2} = 4811$ кг/м³.

Сопоставление результатов расчетов с экспериментом показывает, что модель с хаотическим распределением частиц является наиболее приемлемой для материалов ФМ и ФК. Учет влияния пористости в различных вариантах табл. 4, 5 дает практически одинаковые значения коэффициента теплопроводности материала ФК. Вариант кокс + воздух более соответствует реальной системе.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений коэффициента теплопроводности, представленных в табл. 2–5, позволяет сделать вывод, что модель в виде хаотической двухкомпонентной системы достаточно достоверно описывает зависимость коэффициента теплопроводности наполненных фторопластов от концентрации. Как показывают проведенные оценки, погрешность метода, которая в значительной степени обусловлена погрешностью исходных данных, вполне удовлетворительна для инженерных расчетов.

Таблица 1. Определение пористости Π наполненных фторопластов

Материал	m_{MoS_2}	$m_{\text{ПТФЭ}}$	ρ_1 , кг/м ³	ρ_2 , кг/м ³	Π
Материал марки ФМ					
ФМ5	0,023	0,977	2239	2239	0,0018
ФМ10	0,048	0,952	2313	2313	–
ФМ15	0,074	0,926	2390	2390	–
ФМ20	0,102	0,898	2459	2459	–
ФМ25	0,131	0,869	2499	2499	0,011
ФМ30	0,163	0,837	2568	2568	0,016
Материал марки ФК					
ФК5	0,061	0,939	2130	2158	0,013
ФК10	0,120	0,880	2123	2134	0,005
ФК15	0,178	0,822	2077	2105	0,046
ФК20	0,234	0,766	2034	2089	0,026
ФК25	0,290	0,710	2015	2065	0,024
ФК30	0,344	0,656	1943	2053	0,053
ФК35	0,397	0,610	1809	2023	0,106
ФК40	0,449	0,551	1791	2003	0,106

Таблица 2. Теплопроводность композитов ФМ Вт/(м·К)

Материал	Массовая доля m_{MoS_2}	Теплопроводность Вт/(м·К)		
		λ'_{pac} (1)	λ''_{pac} (5)	$\lambda_{\text{эксп}}$
ФМ5	0,023	0,298	0,290	0,30
ФМ10	0,048	0,310	0,312	0,32
ФМ15	0,074	0,332	0,340	0,39
ФМ20	0,102	0,358	0,375	0,39
ФМ25	0,131	0,388	0,420	0,45
ФМ30	0,163	0,420	0,470	0,47

Таблица 3. Теплопроводность композитов ФК, Вт/(м·К)

Материал	λ'_{pac} (1)	λ''_{pac} (5)	$\lambda_{\text{экс}}$
ФК5	0,284	0,296	0,32
ФК10	0,333	0,325	0,34
ФК15	0,367	0,357	0,40
ФК20	0,403	0,391	0,39
ФК25	0,442	0,429	0,44
ФК30	0,482	0,467	0,40
ФК35	0,523	0,508	0,42
ФК40	0,570	0,551	0,45

Таблица 4. Влияние пористости на теплопроводность композитов ФК (вариант: ПТФЭ + воздух)

Материал	$m_{\text{ПТФЭ}}$	$m_{\text{возд}}$	$\lambda_{\text{ПТФЭ+воздух}}$, Вт/(м·К)
ФК5	0,986	0,014	0,265
ФК10	0,994	0,006	0,268
ФК15	0,943	0,057	0,251
ФК20	0,986	0,014	0,258
ФК25	0,986	0,014	0,258
ФК30	0,918	0,082	0,242
ФК35	0,825	0,117	0,214
ФК40	0,808	0,192	0,209

Таблица 5. Влияние пористости на теплопроводность композитов ФК (вариант: кокс + воздух)

Материал	$m_{\text{кокс}}$	$m_{\text{возд}}$	$\lambda_{\text{ПТФЭ+воздух}}$, Вт/(м·К)
ФК5	0,787	0,213	1,050
ФК10	0,957	0,043	1,380
ФК15	0,738	0,262	0,973
ФК20	0,887	0,113	1,242
ФК25	0,916	0,084	1,298
ФК30	0,844	0,156	1,160
ФК35	0,735	0,265	0,986
ФК40	0,764	0,236	1,018

$m_{\text{ПТФЭ}}$, $m_{\text{кокс}}$, $m_{\text{возд}}$ – объемные концентрации в системе ПТФЭ + кокс + воздушные поры, соответственно.

Литература

1. Rayleigh S.R. On influence of obstacles arranged in rectangular order upon the properties of medium // Phil. Mag and Journ. of Science. 1892. V. 34. P. 481–485.
2. Lichtenegger K. // Physikalische Zeitschrift. 1929. 30, 22, 805.
3. Deissler R.G., Boegli J.S. Thermal Conductivity of mixtures // Trans. ASME. 1958. V. 80. P. 1417–1421.
4. Hory M., Yonezawa F. Statistical theory of Effective Electrical, Thermal and Magnetic Properties of Randomly Packed Heterogeneous Mixtures // Journ. Math. Phys. 1975. V. 16. P. 352–360.
5. Carson J.K., Lovatt S.J., Tanner D.J. Thermal conductivity bounds for isotropic, porous materials // Int. J. Heat Mass Transfer. 2005. V. 48. P. 2150–2054.

6. Оделевский В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем // ЖТФ. 1951. Т. 21. Вып. 6. С. 667–685.
7. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: ФМ, 1962. 456 с.
8. Миснар А. Теплопроводность газов, жидкостей, твердых тел и их композиций. М.: ИЛ, 1967. 412 с.
9. Васильев Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. Минск: Наука и Техника, 1971. 265 с.
10. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Термопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
11. Шкловский Б.М., Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // УФН. 1975. Т. 117. Вып. 3. С. 401–433.
12. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. М.: Энергоатомиздат, 1991. 243 с.
13. Заричняк Ю.П. Структура, теплофизические свойства и характеристики композиционных материалов и сплавов: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Новосибирск: Ин-т теплофизики СО РАН, 1989. 470 с.
14. Дацко Н.М., Новиценок Л.Н., Спорячина Э.А. Влияние наполнителей на теплопроводность полиэтилена // Пластические массы. 1970. № 11.
15. Волков Д.П., Заричняк Ю.П. // ИФЖ. 1981. Т. 1. № 4. С. 601–606.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ

**А.В. Шарков, доктор технических наук, профессор;
В.А. Кораблёв, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики.**

А.С. Некрасов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Целью исследования является проверка быстрого метода определения теплопроводности и теплового сопротивления ограждающих конструкций. Исследование включает в себя экспериментальную проверку полученной зависимости на одном эталонном (оптическое стекло ЛК-5) и двух строительных материалах (фрагмент кирпичной кладки и экструдированный пенополистирол).

Ключевые слова: тепловой поток, теплопроводность, тепловое сопротивление, ограждающая конструкция, измерение теплового потока, измерение теплопроводности, измерение теплового сопротивления

METHOD OF RAPID MEASUREMENT THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMAL RESISTANCE OF SHIELDING CONSTRUCTIONS

A.V. Sharkov; V.A. Korabilev. Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

A.S. Nekrasov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The aim of investigation the paper below deals with is testing of the rapid method of evaluation thermal conductivity and thermal resistance of shielding constructions. The investigation includes experimental verification equation on the one calibration and two construction materials.

Keywords: thermal flux, thermal conductivity, thermal resistance, shielding, heat flux measurement, thermal conductivity measurement, thermal resistance measurement

Установка для измерения эффективной теплопроводности теплоизоляционных материалов

Эффективная теплопроводность теплоизоляционных материалов (зернистых засыпок, волокнистых набивок, твердых пористых материалов, элементов составных сотовых конструкций) существенным образом зависит от ряда факторов, основными из которых являются: теплофизические свойства материала и газа, геометрические размеры ячеек и пор, уровень температуры теплоизоляционного слоя и градиенты температуры в нем, пространственная ориентация слоя или элементов конструкции по отношению к тепловому потоку, давление газа-наполнителя. Перенос тепловой энергии через слой материала или элементы конструкции может происходить одновременно за счет теплопроводности (по твердому и газовому компонентам конструкции), излучения и конвекции. Сложность строгого математического описания процессов теплопереноса в таких системах порождает необходимость разрабатывать приближенные методы расчета и проводить измерения их теплофизических свойств.

Установка, разработанная и изготовленная в Ленинградском институте точной механики и оптики, служит для измерения эффективной теплопроводности (теплового сопротивления) теплоизоляционных материалов в стационарном режиме в интервале температур от -60 до +90 °C. Образцы размером 250×250 мм с толщиной от 5 до 40 мм располагаются между изотермическими поверхностями с известными температурами. Тепловой поток, проходящий через образец, измеряется термомерами, расположенными с двух сторон образца, термомеры работают по принципу «дополнительной стенки».

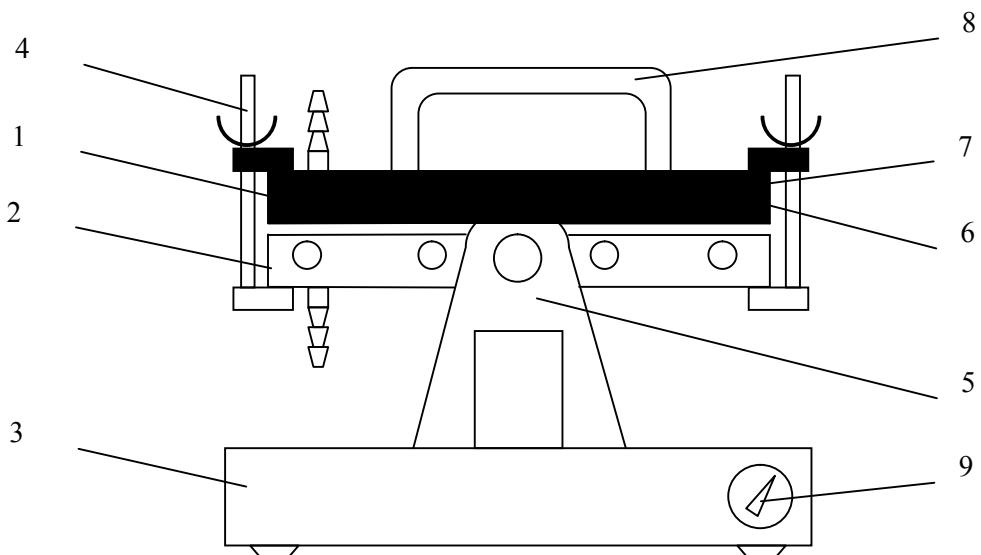


Рис. 1. Общий вид установки

Прибор (рис. 1) состоит из двух одинаковых терmostатируемых плит 1 и 2, смонтированных на основании 3. Исследуемый образец размещается между плитами и зажимается винтами 4. Поворотное приспособление 5 позволяет ориентировать плиты в вертикальном и двух горизонтальных положениях (нагретая плита сверху и снизу). К боковым поверхностям плит привинчиваются винтами 6 металлические шторки 7. В шторках проделаны вырезы, позволяющие устанавливать их с зазором 0,5 мм друг от друга, несмотря на различную толщину испытуемых пластин. Плита 2 непосредственно связана с поворотным устройством. Плита 1 может сниматься с помощью рукояток 8 после освобождения винтов 4, что позволяет вложить образец между плитами. Все температурные измерения производятся при помощи термопар, холодные спаи которых помещены

в массивный металлический блок. Переключатель 9 служит для поочередного подключения термопар к измерительному прибору. Терmostатирование плит 1, 2 осуществляется пропусканием соответствующих жидкостей через каналы в плитах. Задание температур в интервале от 20 до 90 °C производится протекающей в плитах водой, в интервале от -30 до -20 °C через каналы плит пропускается раствор антифриза, охлажденный при помощи твердой углекислоты, в интервале температур от -30 до -60 °C используются пары жидкого азота. Вода и раствор антифриза подаются из терmostатов, в которых поддерживаются нужные температуры с абсолютной погрешностью $\pm 0,1$ К. Пластины 1, 2 – многослойные, они состоят из медных пластин, обращенных к образцу тепломера и латунных пластин с каналами для протока жидкости. Плоскости медных пластин, обращенные друг к другу, полированы и хромированы. Тепломерами служат слои вакуумной резины толщиной 2 мм, приклеенные к металлическим пластинам kleem БФ-2. При работе прибора изменение удельного давления на слой вакуумной резины 4 не превышает $2 \cdot 10^3$ Па. В этих условиях изменение толщины слоя 4 составляет менее 0,01 мм.

Для измерения перепада температур на тепломере использован семиспайный терmostолбик. Холодные спаи терmostолбика вмонтированы в латунную пластину, горячие спаи – в медную. Электроды терmostолбика проложены в двухканальных фарфоровых трубочках, а корольки спаев изолированы от металла слоем бумаги и kleem БФ-2. В медные пластины вмонтированы спаи термопар, измеряющих средние температуры пластин.

Вывод расчетных формул для теплового сопротивления и эффективной теплопроводности образца, расположенного между плитами, основан на анализе тепловых потоков, идущих между плитами. На рис. 2 представлены схемы тепловых потоков с учетом утечек тепла на торцах исследуемого образца и распределение температур во всех элементах установки. Горячая 1 и холодная 2 плиты имеют температуры t_1' и t_2' : предполагаем, что температуры примыкающих к ним шторок 3 такие же. Обозначим Q_1''' , Q_1'' , Q_1 – тепловые потоки, идущие от горячей плиты 1 через шторки 3 в резину тепломера 4, медную пластину 5 и образец 6; Q_1''' , Q_1'' , Q_1 – тепловые потоки, идущие от образца 6, медной пластину 5 и резину тепломера 4 через шторки к холодной плите. Тепловые потоки через тепломеры на горячей и холодной пластине обозначены как Q_1 и Q_2 ; тепловой поток, прошедший через образец, – Q .

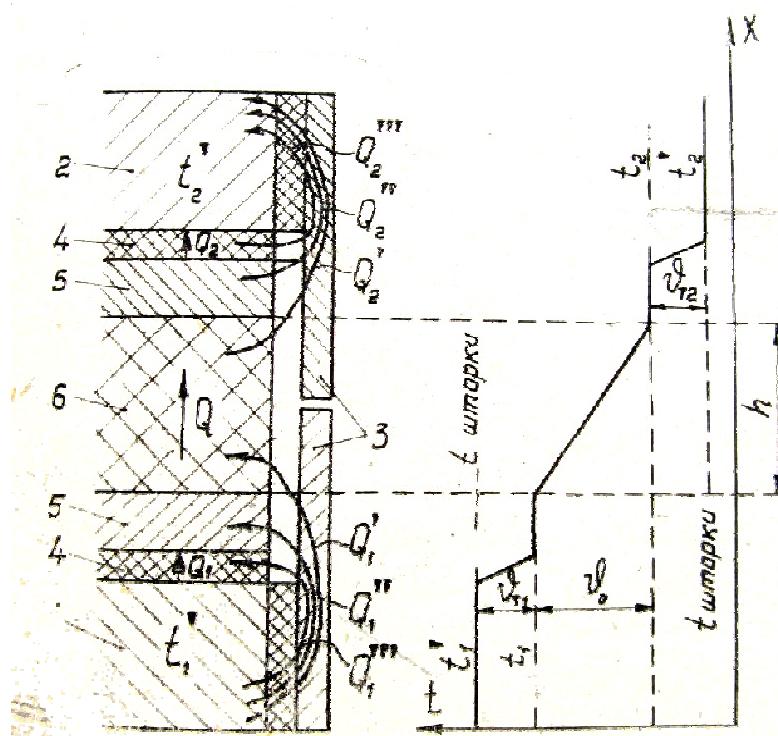


Рис. 2. Схемы тепловых потоков

Из уравнений теплового баланса получаются соотношения:

$$R = \frac{1}{K_c \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + 1 \right)}, \quad (1)$$

или

$$R = \frac{1}{K_h \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + 1 \right)}. \quad (2)$$

Здесь R – тепловое сопротивление всей системы, расположенной между спаями термопар, вмонтированных в медные пластины; ϑ_1 , ϑ_2 , ϑ_0 – перепады температур на термомерах и образце; K_c , K_h – тепловые проводимости слоев резины на первом (съемном), втором (неподвижном) термомерах; P – поправочный коэффициент, учитывающий теплообмен с торца; h – расстояние между пластинами (высота образца).

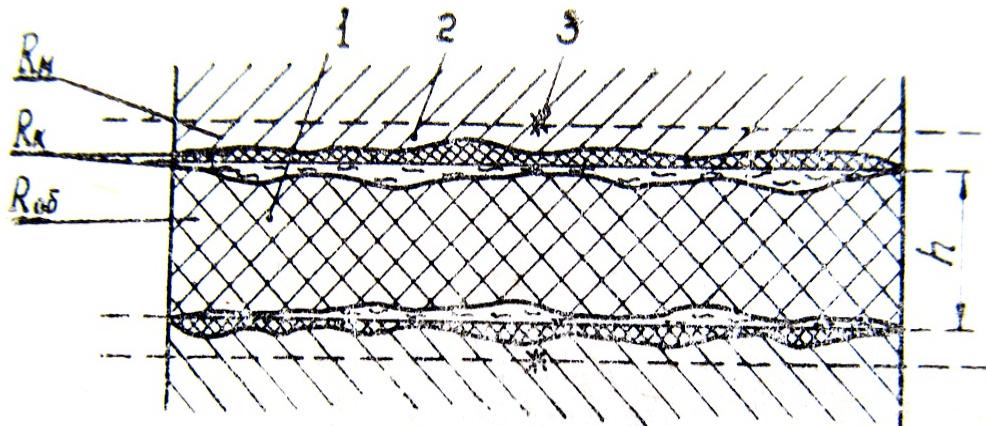


Рис. 3. Схема расположения слоев

На рис. 3 приведена схема расположения слоев. Здесь 1 – образец, обладающий неровными поверхностями; 2 – медные пластины прибора со своими неровностями на поверхностях; 3 – места заделки термопар. Между спаями термопар заключено сложное тепловое сопротивление R , состоящее из теплового сопротивления образца R_{oob} , тепловых сопротивлений участков медных пластин R_m , контактных тепловых сопротивлений между медными пластинами и образцом R_k . На рис. 4 видно, что тепловое сопротивление R определяется как:

$$R = R_{oob} + 2R_m + 2R_k. \quad (3)$$

Поскольку $2R_m$ – величина пренебрежимо малая по сравнению с R_{oob} и R_k , то эффективная теплопроводность сложной конструкции, представленной в приборе в виде образца, можно определить как:

$$\lambda = \frac{h}{R - 2R_k}. \quad (4)$$

Из (1) – (4) получаем:

$$\lambda = h \left(K_c \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + 1 \right) \right) \frac{1}{1 - \Delta\sigma_{k1}}, \quad (5)$$

или

$$\lambda = h \left(K_c \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + 1 \right) \right) \frac{1}{1 - \Delta\sigma_{k2}}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{k1} &= 2R_k \left(K_c \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} + 1 \right) \right), \\ \Delta\sigma_{k2} &= 2R_k \left(K_c \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta_2}{\vartheta_0} + 1 \right) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $\Delta\sigma_{k1}, \Delta\sigma_{k2}$ – поправки на контактное тепловое сопротивление.

Градуировка установки заключается в определении проводимостей термометров K_c и K_h и коэффициента P . Значение K_h определялось из опытов, проводимых при различных толщинах h горизонтальных воздушных прослоек, образованных плитами 1 и 2 (рис. 1), поверхности которых были зачернены. Для задания величины h между пластинами устанавливались четыре мерные шайбы из текстолита. В градуировочных опытах температуры поддерживались равными 25 °C на несъемной и 55 °C на съемной плитах. Поскольку менее нагретая пластина находилась внизу, то конвекция воздуха в полости отсутствовала, и эквивалентная теплопроводность прослойки λ_{ek} рассчитывалась по формуле:

$$\lambda_{ek} = \lambda_a + 5,67 \varepsilon_{np} \varphi_{12} \frac{h}{t_1 - t_2} \left(\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right),$$

где λ_a – теплопроводность воздуха [1] при температуре $t_m = 0,5(t_1+t_2)$; ε_{np} – приведенная степень черноты прослойки; φ_{12} – коэффициент облученности.

Используя результаты опытов при двух толщинах прослойки, можно определить K_h и P , полагая, что $2R_k = 0$:

$$K_{h1} = \lambda_{ek1} \frac{\vartheta_0}{h_1 \vartheta'_2} - Ph_1 \left(4 + \frac{\vartheta_0}{\vartheta'_2} \right), \quad K_{h2} = \lambda_{ek2} \frac{\vartheta_0}{h_2 \vartheta''_2} - Ph_2 \left(4 + \frac{\vartheta_0}{\vartheta''_2} \right),$$

$$K_h = 0,5(K_{h1} + K_{h2})$$

$$P = \left(\lambda_{\text{эк1}} \frac{\vartheta_0}{h_1 \vartheta'_2} - \lambda_{\text{эк2}} \frac{\vartheta_0}{h_2 \vartheta''_2} \right) \left(h_1 \left(4 + \frac{\vartheta_0}{\vartheta'_2} \right) - h_2 \left(4 + \frac{\vartheta_0}{\vartheta''_2} \right) \right).$$

Здесь λ_0 , λ_2' , λ_2'' – перепады температур на образцах, на тепломере, находящемся на съемной плите, при толщинах воздушной прослойки h_1 и h_2 .

Значения проводимостей K_c тепломера на съемной плате определялись в зависимости от ее температуры в интервале от -60 °C до $+90$ °C. Температура на несъемной плате во всех опытах оставалась равной 25 °C, а температура на съемной плате варьировалась в указанном интервале. По формулам (5) и (6) рассчитывались значения K_c для разных значений температур при величине K_h , определенной при температуре 25 °C. Зависимость $K_c=f(t)$ оказалась линейной с температурным коэффициентом β . Так как слои резины в обоих тепломерах изготавливались одинаковыми, то приняли коэффициент β равным для обоих тепломеров.

Для установки, изготовленной в Ленинградском институте точной механики и оптики, получены значения: $K_h=(102\pm 2)(1-6\cdot 10^{-4}t)$, Вт/м³·К; $K_c=(89\pm 2)(1-6\cdot 10^{-4}t)$, Вт/м³·К; $p=(-8\pm 2)$, Вт/м³·К при доверительной вероятности $\alpha_d=0,95$.

Значение теплового сопротивления $2R_k$ не является величиной постоянной для прибора, поскольку может зависеть от чистоты и точности обработки поверхности образца, применяемой смазки и ряда других факторов. Величину $2R_k$ для исследуемых образцов можно определить расчетным путем [2] или при помощи градуировочных опытов с материалами с известной теплопроводностью.

В качестве примера приведем результаты градуировочного опыта с образцом из органического стекла. Температуры на плитах прибора поддерживались постоянными, равными 25 и 55 °C. Значение теплопроводности органического стекла при температуре 40 °C, $\lambda_{oc}=0,196$ Вт/м·К [3]. Высота образца $h=18$ мм. Из формул (6) и (7) получаем:

$$2R_k = \left(K_h \frac{\vartheta'''_2}{\vartheta_0} + Ph \left(4 \frac{\vartheta'''_2}{\vartheta_0} + 1 \right) \right)^{-1} - \frac{h}{\lambda_{oc}}, \quad (8)$$

здесь λ_2''' – перепад температур на тепломере несъемной плиты в опыте с образцом из органического стекла. После подстановки результатов измерений в расчетную формулу (8) получаем $2R_k=0,0030\pm 0,0005$ м²·К/Вт, при $\alpha_d=0,95$.

Проведенные исследования показали, что на представленной установке возможно проводить измерения эффективной теплопроводности теплоизоляционных материалов в диапазоне $0,03$ – $1,0$ Вт/м·К при температурах от -60 до $+90$ °C с относительной погрешностью менее 7 % [3].

Исследование теплопроводности стекла ЛК-5

Для градуировки прибора, оценки контактных сопротивлений и определения боковых потерь в среду использовалось оптическое стекло ЛК-5. Размеры образца составляют $250\times 250\times 40$ мм. Для уменьшения контактных сопротивлений использовалась теплопроводная паста КПТ-8. Образец исследовался в горизонтальном положении, верхняя плита прибора терmostатировалась при температуре 50 °C, нижняя – при температуре окружающей среды. Боковые плоскости образца были теплоизолированы 10 мм слоем экструдированного пенополистирола. Замеры показаний производились каждые 10 мин в течение 80 мин.

Исходя из полученных данных и известных параметров, можно оценить боковые потери и контактные сопротивления. Примем температуру на внутренней поверхности

бокового теплоизолятора равной средней температуре образца, $T_{\text{средн}}=38^{\circ}\text{C}$, на внешней – равной температуре окружающей среды, $T_{\text{среды}}=26^{\circ}\text{C}$. Из геометрических размеров образца можно определить его боковую площадь, $S_{\text{бок}}=0,04 \text{ м}^2$. Теплопроводность боковой изоляции равна $\lambda_{\text{бок.изол.}}=0,03 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а толщина $\delta_{\text{бок.изол.}}=0,01 \text{ м}$. Тогда потери через боковые поверхности равны:

$$Q_{\text{бок.}} = \frac{\lambda_{\text{бок.изол.}}(T_{\text{средн}} - T_{\text{среды}})S_{\text{бок}}}{\delta_{\text{бок.изол.}}} = \frac{0,03 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}(38^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}) \cdot 0,04 \text{ м}^2}{0,01 \text{ м}} = 1,44 \text{ Вт.}$$

Как показали измерения, с учетом поправки на боковой теплообмен, входящий поток отличается от выходящего в установившемся стационарном режиме примерно на 7 %, что лежит в пределах инструментальной погрешности прибора.

Сумма тепловых сопротивлений между плитами прибора будет равна сумме контактных сопротивлений и сопротивления образца $R_{\Sigma}=R_{\text{контакт}}+R_{\text{обр.}}$. Сопротивление образца можно определить, зная толщину, геометрические размеры и теплопроводность [1].

$$R_{\text{обр.}} = \frac{\delta_{\text{обр.}}}{\lambda_{\text{обр.}} S_{\text{обр.}}} = \frac{0,04 \text{ м}}{1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \cdot 0,0625 \text{ м}^2} = 0,53 \frac{\text{К}}{\text{Вт}},$$

где $\lambda_{\text{обр.}}$ и $S_{\text{обр.}}$ – теплопроводность и площадь образца соответственно.

Суммарное тепловое сопротивление можно определить, зная расстояние между плитами прибора $\delta_{\Sigma}=0,041 \text{ м}$, суммарную теплопроводность $\lambda_{\Sigma}=1,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ и площадь образца $S_{\text{обр.}}$.

$$R_{\Sigma} = \frac{\delta_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma} S_{\text{обр.}}} = \frac{0,041 \text{ м}}{1,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \cdot 0,0625 \text{ м}^2} = 0,62 \text{ К/Вт.}$$

Отсюда $R_{\text{контакт}}=R_{\Sigma}-R_{\text{обр.}}=0,62 \text{ К/Вт}-0,53 \text{ К/Вт}=0,09 \text{ К/Вт}$.

Исходя из поправки на контактное сопротивление, можно определить теплопроводность образца, опираясь на экспериментальные данные по формуле:

$$\lambda_{\text{обр.}} = \frac{\delta_{\text{обр.}}}{\frac{\delta_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma}} - R_{\text{контакт}} S_{\text{обр.}}}. \quad (9)$$

Из результатов видно (рис. 5), что стационарный режим с погрешностью менее 10 % наступает через один час наблюдений. Важно отметить, что полусумма потоков на гранях образца становится постоянной с погрешностью менее 7 % примерно через 20 мин после начала эксперимента. В результате расчета получилось $\lambda_{\text{обр.}}=1,2 \pm 0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

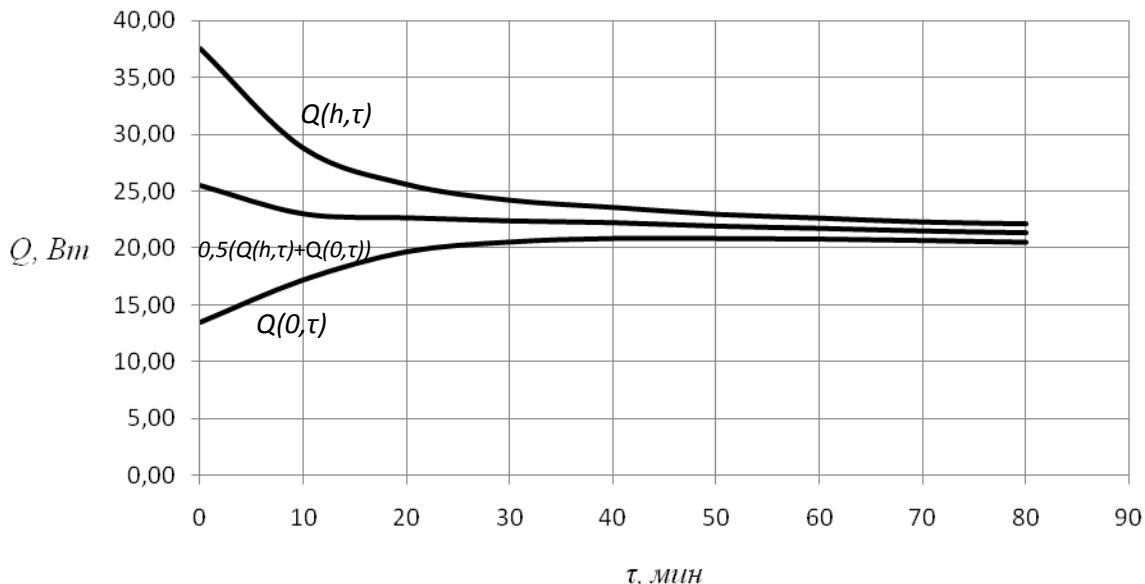


Рис. 5. Потоки на гранях стекла ЛК-5 и их полусумма

Этот факт означает, что, ориентируясь на полусумму потоков, можно определить теплопроводность образца намного раньше момента наступления стационарного режима. Теплопроводность образца при вычислении с помощью полусуммы потоков равна $\lambda_{обр}=1,10\pm0,07 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$.

Исследование теплопроводности кирпичной кладки

Фрагмент кирпичной кладки представляет собой два кирпича с размерами $120\times250\times65$ мм каждый. Для уменьшения контактных сопротивлений использовалась теплопроводная паста КПТ-8. Образец исследовался в горизонтальном положении, нижняя плита прибора термостатировалась при температуре 50°C , верхняя – при температуре окружающей среды. Боковые плоскости образца были теплоизолированы 10 мм слоем экструдированного пенополистирола. Замеры показаний производились каждые 10 мин в течение 5 ч.

Исходя из полученных данных и известных параметров, можно оценить боковые потери и контактные сопротивления. Примем температуру на внутренней поверхности бокового теплоизолятора равной средней температуре образца, $T_{\text{средн}}=39^\circ\text{C}$, на внешней – равной температуре окружающей среды, $T_{\text{среды}}=28^\circ\text{C}$. Из геометрических размеров образца можно определить его боковую площадь, $S_{\text{бок}}=0,0637 \text{ м}^2$. Теплопроводность боковой изоляции равна $\lambda_{\text{бок.изол.}}=0,03 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$, а толщина $\delta_{\text{бок.изол.}}=0,01 \text{ м}$. Тогда, потери через боковые поверхности равны:

$$Q_{\text{бок.}} = \frac{\lambda_{\text{бок.изол.}}(T_{\text{средн}} - T_{\text{среды}})S_{\text{бок}}}{\delta_{\text{бок.изол.}}} = \frac{0,03 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}(39^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) \cdot 0,0637 \text{ м}^2}{0,01 \text{ м}} \\ = 2,1 \text{ Вт.}$$

Как стало видно из измерений, с учетом поправки на боковой теплообмен, входящий поток отличается от выходящего в стационарном режиме примерно на 7 %, что лежит в пределах инструментальной погрешности прибора.

Контактные сопротивления можно оценить, опираясь на предыдущий опыт, они будут одного порядка, $R_{\text{контакт}}=0,1 \dots 0,2 \text{ К/Вт}$. Исходя из поправки на контактное сопротивление, можно определить теплопроводность образца, опираясь на экспериментальные данные, по формуле (9).

Из результатов видно (рис. 6), что стационарный режим с погрешностью менее 10 % наступает через 190 мин наблюдений. Важно отметить, что полусумма потоков на гранях образца становится постоянной с погрешностью около 7 % менее чем через 120 мин после начала эксперимента. В результате расчета получилось $\lambda_{\text{обр.}}=1,0 \pm 0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Этот факт означает, что, ориентируясь на полусумму потоков, можно определить теплопроводность образца намного раньше момента наступления стационарного режима. Теплопроводность образца при вычислении с помощью полусуммы потоков равна $\lambda_{\text{обр.}}=0,98 \pm 0,07 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

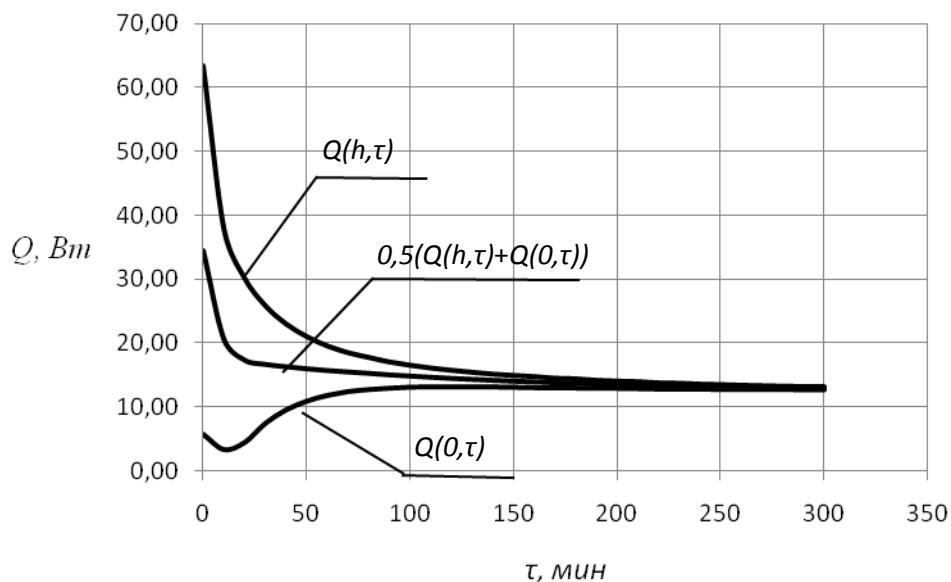


Рис. 6. Потоки на поверхностях фрагмента кирпичной вкладки и их полусумма

Исследование теплопроводности экструдированного пенополистирола

Фрагмент теплоизоляции из экструдированного пенополистирола представляет собой часть листа теплоизоляции с размерами $250 \times 250 \times 20$ мм. Для уменьшения контактных сопротивлений использовалась теплопроводная паста КПТ-8. Образец исследовался в горизонтальном положении, верхняя плита прибора термостатировалась при температуре 70°C , нижняя – при температуре окружающей среды. Боковые плоскости образца были теплоизолированы 10 мм слоем экструдированного пенополистирола. Замеры показаний производились каждые 10 мин в течение 5 ч (рис. 7).

Исходя из полученных данных и известных параметров, можно оценить боковые потери и контактные сопротивления. Примем температуру на внутренней поверхности бокового теплоизолатора равной средней температуре образца, $T_{\text{средн.}}=48^\circ\text{C}$, на внешней – равной температуре окружающей среды, $T_{\text{среды}}=26,5^\circ\text{C}$. Из геометрических размеров образца можно определить его боковую площадь, $S_{\text{бок.}}=0,04 \text{ м}^2$. Теплопроводность боковой изоляции равна $\lambda_{\text{бок.изол.}}=0,03 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а толщина $\delta_{\text{бок.изол.}}=0,01 \text{ м}$. Тогда потери через боковые поверхности равны:

$$Q_{\text{бок}} = \frac{\lambda_{\text{бок изол.}} (T_{\text{средн}} - T_{\text{среды}}) S_{\text{бок}}}{\delta_{\text{бок изол}}} = \frac{0,03 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К} (48^\circ\text{C} - 26,5^\circ\text{C}) \cdot 0,04 \text{ м}^2}{0,01 \text{ м}} = 1,29 \text{ Вт.}$$

Из результатов измерений стало видно, что с учетом поправки на боковой теплообмен входящий поток отличается от выходящего в установившемся стационарном режиме примерно на 17 %.

Контактные сопротивления можно оценить, опираясь на предыдущий опыт, они будут одного порядка, $R_{\text{контакт}}=0,1 \text{ К/Вт}$. Исходя из поправки на контактное сопротивление, можно определить теплопроводность образца, опираясь на экспериментальные данные по формуле (9).

Из результатов видно, что стационарный режим с погрешностью менее 20 % наступает через 20 мин наблюдений. Важно отметить, что полусумма потоков на гранях образца становится постоянной с погрешностью менее 10 % менее чем через 10 мин после начала эксперимента. В результате расчета получилось $\lambda_{\text{обр.}}=0,04 \pm 0,01 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$.

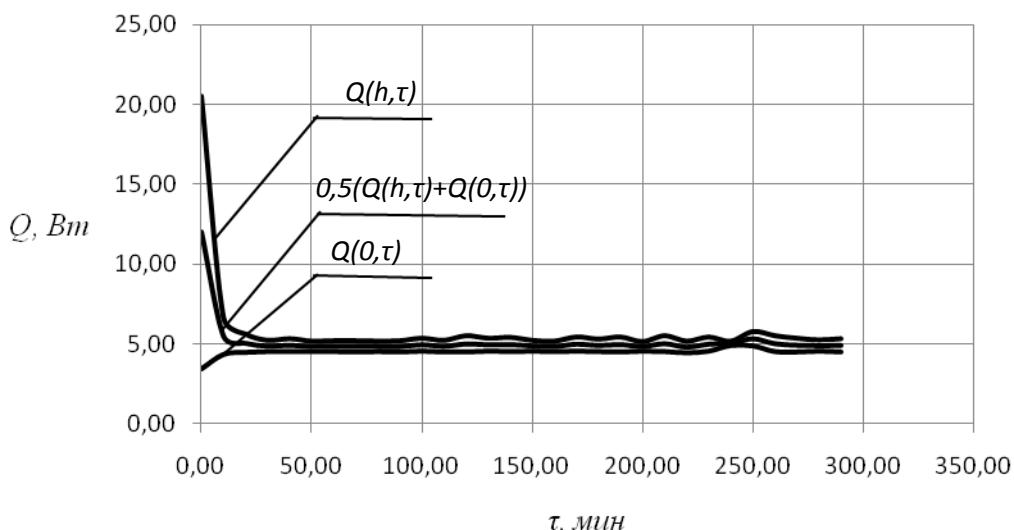


Рис. 7. Потоки на поверхностях фрагмента теплоизоляции из экструдированного пенополистирола

Этот факт означает, что, ориентируясь на полусумму потоков, можно определить теплопроводность образца намного раньше момента наступления стационарного режима. Теплопроводность образца при вычислении с помощью полусуммы потоков равна $\lambda_{\text{обр.}}=0,04 \pm 0,01 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$.

В результате лабораторных испытаний подтверждена эффективность способа и его возможность многократно ускорить процесс определения теплопроводности и теплового сопротивления. Описанный способ успешно прошел экспертизу по существу, патент на изобретение ожидается.

Литература

1. Теплопроводность газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик [и др.]. М.: Изд-во стандартов, 1970.
2. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. М.: Энергия, 1977.

3. Установка для измерения эффективного коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов / А.Ф. Бегункова [и др.] // Приборостроение. 1983. № 4. С. 84–88.

4. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1974. 320 с.

5. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения. М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1957. 244 с.



ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Матвеев, кандидат технических наук;

А.В. Максимов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматривается практическая возможность и целесообразность применения дескриптивных и нормативных моделей для исследования вопросов безопасности социально-экономических систем. Предложен теоретический подход к разработке моделей данных классов на вербальном уровне и в форме теоретико-множественных соотношений. Обосновывается необходимость использования данных моделей для синтеза управляющих воздействий в интересах обеспечения безопасности социально-экономических систем.

Ключевые слова: социально-экономическая система, безопасность, моделирование, дескриптивная модель, нормативная модель, формализация, живучесть, угрозы

THEORETICAL BASES OF MODELLING OF SAFETY OF SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

A.V. Matveev; A.V. Maksimov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article examines the feasibility and usefulness of the descriptive and normative models for the study of security issues of social and economic systems. The theoretical approach to modeling these classes on the verbal level and in the form of set-theoretic relations. The necessity of the use of these models for the synthesis of control actions in the interests of security of social and economic systems.

Keywords: social and economic systems, safety, modelling, descriptive model, normative model, formalization, survivability, threatening

В последние годы в научных кругах уделяется повышенное внимание безопасности региональных и производственных социально-экономических систем (СЭС). Под социально-экономической системой понимается совокупность организованных коллективов людей, отдельных лиц, населения, объектов экономики и инфраструктуры, а также природно-территориальных комплексов и экосистем, образующих единое структурно-функциональное целое.

Имеется в виду, что СЭС со своими пространственными и другими параметрами соответствуют административно-хозяйственным образованиям государства. Они могут быть

различного уровня иерархии: от федерального и регионального уровня до местного и объектового.

В настоящее время под влиянием складывающейся, в том числе в нашей стране, техногенной и экологической обстановки и возможных угроз и опасностей, грозящих СЭС в случае возникновения и развития военных конфликтов, в деятельности многих государственных и иных структур, в контексте обеспечения национальной безопасности страны, все большая озабоченность проявляется в вопросе обеспечении безопасности СЭС всех уровней иерархии при воздействиях техногенного, военного, экологического и экономического характера [1–4].

В соответствии с общепринятой в системной теории классификации, они могут быть отнесены к сложным системам с иерархической, в большинстве случаев ветвистой, структурой, обладающим определенной гибкостью и адаптивностью [5].

Адекватность комплекса мероприятий по обеспечению безопасности СЭС основана на познании и осознании окружающей нас действительности. Системы обеспечения общественной, государственной, природной, техногенной экономической и прочих безопасностей в большинстве своем являются уникальными, дорогостоящими объектами, экспериментальная отработка которых по понятным причинам весьма затруднительна, а некоторых объектов и невозможна в принципе [6]. Принятие любого решения на этапах их разработки, экспериментальной отработки и применения требует предварительного проведения моделирования процессов функционирования таких систем.

В этой связи представляется возможным рекомендовать такие области предпочтительного использования моделей, принадлежащих каждому из следующих трех основных классов:

- дескриптивные (описательные) модели – для словесной или формализованной интерпретации смысла и объекта безопасности социально-экономических систем, его конкретных компонентов и интересующих процессов в них;
- нормативные – для уточнения и ранжирования целей, ценностей или потребностей упомянутых объектов, а также обоснования оптимальных параметров и соответствующих режимов функционирования;
- ситуационные – для исследования явлений и процессов, оказывающих наиболее существенное влияние на обеспечение и нарушение жизнестойкости СЭС, причинение ущерба.

Данную рекомендацию не следует считать безальтернативной, поскольку изложенные формальные модели и методы исследования могут применяться и в различных сочетаниях. Более того, лишь комплексное их использование будет способствовать не только лучшей сравнимости полученных при моделировании результатов (а значит и взаимной проверке адекватности применяемых моделей), но и росту достоверности основанных на них рекомендаций.

В данной статье рассматривается практическая возможность и целесообразность применения первых двух классов моделей.

Дескриптивные модели и методы

По своему предназначению дескриптивные модели и методы исследования безопасности СЭС лучше всего приспособлены для обоснования ответа на группу примерно таких вопросов: Что такое безопасность? Что является ее объектом и предметом? Как возникают и протекают процессы и явления, влияющие на безопасность СЭС? или Как они могут развиваться в перспективе?

К основным функциям данных моделей и методов можно отнести следующие:

- описание людей как производителей и потребителей всевозможных благ, а государств, их различных инфраструктур и общественных организаций (СЭС различного

уровня иерархии) – как механизмов, необходимых для наиболее полного удовлетворения соответствующих потребностей;

– уточнение структуры каждого такого объекта и его предназначения, выявление наиболее существенных противоречий и тенденций развития разных объектов;

– уяснение их места и роли в регулировании отношений между всеми людьми и созданными ими институтами.

Большое число подсистем и элементов социально-экономической системы, их свойств и параметров ограничивает возможность использования строгих математических моделей для адекватного описания безопасности. Эта же особенность ее объекта, а также трудность в проведении четкой границы между ним и окружающей средой существенно затрудняет построение подобных моделей. Проиллюстрируем это на примере построения дескриптивной модели поддержания жизнестойкости какой-либо социально-экономической системы, которую представим вначале на вербальном уровне, а затем в форме теоретико-множественных соотношений.

Демонстрацию первого (словесного) уровня моделирования начнем с описания условий, обеспечивающих функционирование выбранного объекта. Для СЭС это означает, прежде всего, длительное сохранение безопасности, то есть поддержание такого способа существования образующих ее людей, при котором удовлетворяются все жизненно важные их потребности, а подстерегающие опасности, угрозы и вызовы – своевременно парируются.

Важное место при этом уделяется не только защите и уклонению, но и заблаговременному приспособлению территории страны путем обустройства ее разными инфраструктурами, предназначенными для более полного и качественного удовлетворения упомянутых выше потребностей.

Что касается инфраструктур, то все они могут быть поделены на два больших класса: материальные (техносфера) и нематериальные (духовная и общественная жизнь). Перечисленные инфраструктуры играют важную роль в поддержании безопасности, а любая из них сама является большой и сложной системой, то при составлении дескриптивной модели полезно воспользоваться универсальной классификацией содержимого инфраструктуры.

Следующим (после идентификации и классификации факторов) этапом построения рассматриваемой здесь модели может быть описание условий утраты СЭС своей безопасности. При их выявлении необходимо учитывать возможность потери ею безопасности как по причине несвоевременного парирования опасных для нее вызовов или угроз, так и вследствие разрушения либо снижения надежности отдельных инфраструктур или критически важных для них подсистем или элементов. Под критичностью здесь подразумевается степень влияния вызова (угрозы) либо отказа подсистемы (элемента) на живучесть соответствующей системы, оцениваемая величиной снижения показателей надежности или безопасности ее функционирования.

К примеру, среди техносферных причин понижения уровня безопасности СЭС можно выделить их следующие основные группы: непроизвольные ошибки и умышленные несанкционированные действия – эргатические факторы; отказы и поломки по естественным причинам или вследствие саботажа – технические факторы; нерасчетные (неожиданные либо превышающие допустимые значения) воздействия на людей и технику – энvironmentальные факторы.

На этом ограничимся в иллюстрации возможности представления дескриптивных моделей на словесном уровне и укажем на их ожидаемую конструктивность. Интерпретация объекта безопасности социально-экономической системы совместно с продемонстрированным выше словесным описанием процесса поддержания безопасности подтверждают принципиальную возможность решения в последующем ряде практически важных задач. К их числу можно отнести:

– обобщенное представление СЭС и обеспечивающих ее инфраструктур совокупностями перечисленных выше компонентов, подсистем и элементов;

- их объединение с целью образования какой-либо интегрированной и функционально целостной системы повышенной безопасности;
- последующая формализация процесса ее успешного и аварийного функционирования как управляемой динамической системы.

Продолжим иллюстрацию возможностей дескриптивных моделей путем перехода к более формализованному уровню описания только что рассмотренной вербальной модели. Сделаем это в предположении об известности некоторого минимального числа интегральных количественных показателей и вектора возможных состояний $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ интегрированной системы повышенной живучести. Цель данного этапа дескриптивного моделирования будет состоять в формулировании общей математической постановки и обосновании наиболее подходящего способа решения последней (третьей из обозначенных выше) задачи регулирования функционирования системы.

С учетом изложенного, задание на разработку дескриптивной модели поддержания безопасности системы с помощью обеспечивающих это инфраструктур может быть сформулировано следующим образом: «В известном пространстве состояний S определить управляющие воздействия, необходимые для перемещения этой интегрированной системы по некоторой траектории». В соответствии с рекомендациями теоретико-множественного подхода, математическая постановка этой задачи будет иметь вид оператора C , представляющего собой декартово произведение нескольких векторов:

$$C : T \times S_0 \times F \Rightarrow S,$$

где T – множество моментов времени (вещественных чисел); $F = F^{ex} \times F^{in}$ – множество воздействий (внешних и внутренних факторов), влияющих на рассматриваемую здесь интегрированную систему); S_0 – множество начальных состояний данной системы.

Кроме того, этот же оператор может быть также представлен и тетрадой $\{T, \Sigma_S, \Sigma_C, \Sigma_P\}$, включающей в себя такие составные части, как Σ_S – множество структур интегрированной системы, Σ_C – совокупность операторов ее компонентов и элементов, Σ_P – множество их параметров.

Что касается природы учтенных моделью векторных характеристик, то они, как правило, обусловлены следующими факторами. Внешние воздействия F^{ex} , к которым следует относить и начальные условия S_0 , обычно связаны с взаимодействием между конкретной социально-экономической системой и внешней для нее средой. Если система искусственно замкнута, в их число входят ошибки, связанные с такой упрощенной формализацией и невозможностью точного априорного описания ее будущего поведения.

Внутренние воздействия F^{in} могут быть обусловлены трансформацией связей между отдельными компонентами социально-экономической системы и обеспечивающими ее инфраструктурами, а также вариацией их многочисленных параметров P , включая наиболее существенные. Появившиеся при этом структурные и параметрические возмущения могут быть настолько сильными, что могут даже изменять размерность пространства S .

Последнее означает, что траектория движения интегрированной системы может быть не обязательно гладкой (эволюционной), но и иметь «революционные» разрывы. Причем предвидеть последние практически невозможно из-за их многоальтернативности и малой предсказуемости. Ведь появление таких разрывов во многом определяется не только характером окружающей среды с трудно прогнозируемым изменением ее параметров, но и теми свойствами самой этой системы, от которых зависит ее реакция на подобные внешние возмущения.

При этом вариацию во времени векторов $\Sigma_s(t)$, $\Sigma_c(t)$ и $\Sigma_p(t)$ можно считать как бы самодвижением образованной выше системы повышенной безопасности и называть развитием, хотя информационной характеристикой ее динамики для внешнего наблюдателя может являться только траектория $\Sigma_s(t) \in S$. Данное обстоятельство связано с тем, что изучение этой траектории в выбранном выше фазовом пространстве $(\Sigma_s) \times (\Sigma_c) \times (\Sigma_p)$ не дает прямых сведений о степени продвижения исследуемой социально-экономической системы к обозначенной для нее в этом пространстве цели S_G .

Однако и сама возможность введения конкретной цели S_G в процесс функционирования рассматриваемой здесь системы представляет собой далеко не тривиальную задачу, поскольку ее решение сопряжено с необходимостью определиться с множеством достижимых состояний реального пространства и руководствоваться набором общих ценностей при выборе одного из них. Более того, поскольку решение данной задачи многовариантно, то требуется показатель качества ее выполнения, способный служить критерием J оценки совершенства управления безопасностью данной системы.

Наконец, важным для оценки функционирования любой подобной системы является располагаемый ею ресурс I , который иногда сводят к ограничению или включают в состав оптимизируемого критерия J . Если же учесть еще многообразие допустимых управляющих воздействий U и множество сопутствующих их разработке и реализации ошибок $E = E^{ex} \times E^{in}$, то дескриптивную модель управляемого функционирования социально-экономической системы, обеспечивающего интегрированными в нее инфраструктурами, в выбранном фазовом пространстве можно записать в следующем виде:

$$C^U : T \times S_0 \times F \times J \times I \times U \times E \Rightarrow S_G . \quad (1)$$

Анализ полученной дескриптивной модели управляемого поддержания жизнестойкости СЭС свидетельствует о громоздкости математического выражения (1) даже без учета возмущений, обусловленных ошибками измерения состояний рассматриваемой системы в конкретном фазовом пространстве и неполным учетом ее взаимодействия с внешней средой вследствие искусственного замыкания соответствующей динамической модели.

Нетрудно также вообразить неизмеримо возросшую сложность той аналитической зависимости, которая может быть впоследствии получена из общей записи (1) после раскрытия содержимого входящих в нее векторных характеристик, поскольку число учитываемых при этом параметров может оцениваться уже сотнями.

Данное обстоятельство заметно затрудняет использование моделей подобной степени общности для системного анализа исследуемого процесса, например, с целью оперативного количественного прогноза интегральных характеристик данной системы. Однако они все же пригодны для получения некоторых выводов или предложений как качественного, так и количественного характера. Проиллюстрируем последнее путем обоснования трех соответствующих рекомендаций, логично вытекающих из только что рассмотренной дескриптивной модели.

Первая из них связана с возможностью классификации опасных факторов. Например, из выражения (1) видно, что на условие достижения конкретной цели влияют как внутренние, так и внешние причины, которые могут рассматриваться в виде соответствующих угроз безопасности СЭС. При этом к числу внутренних вызовов можно отнести, прежде всего, неожиданную самореструктуризацию этой системы, приводящую к непредсказуемым последствиям, а к внешним угрозам – те неблагоприятные воздействия окружающей среды, которые она не в состоянии своевременно парировать вследствие некачественного самоуправления.

Вторая рекомендация вытекает из анализируемой здесь дескриптивной модели. В частности, из последнего математического соотношения видно, что успешное для безопасности развитие, то есть движение социально-экономической системы в направлении к выбранной цели, требует таких моделей и алгоритмов управления Σ_U , которые способны привести к ней с учетом располагаемых ресурсов I и ограничений на параметры функционирования. А это, в свою очередь, требует от системы соответствующей управляемости, наблюдаемости и идентифицируемости.

Наконец, третья из рекомендаций связана с целесообразностью использования дескриптивных моделей в качестве основы для нормативных и ситуационных. Ведь лишь их совместное применение способно в полной мере подтвердить конструктивность и плодотворность моделирования, как одного из самых эффективных инструментариев обеспечения и совершенствования безопасности социально-экономической системы. В самом деле, использование всех моделей этого типа позволяет решить еще три задачи:

- системный анализ важных для безопасности СЭС элементов, подсистем и процессов с целью оценки значимости их индивидуального вклада в ее обеспечение или подрыв;
- системный синтез мероприятий по повышению защищенности наиболее критичных элементов СЭС и обеспечивающих их жизнестойкость компонентов инфраструктуры;
- компьютеризация перечисленных задач и создание на этой основе автоматизированных технологий и систем поддержки решений по совершенствованию исследования и обеспечения безопасности СЭС.

Завершая демонстрацию конструктивности математической модели в общей постановке, обратим внимание на невозможность раскрытия таких векторных операторов «напрямую», то есть без предварительного создания смысловых эквивалентов их параметров и последующего отображения их содержимого на бумаге или экране компьютера. Вот почему в качестве рабочих дескриптивных моделей для рассматриваемой предметной области наиболее предпочтительны более частные вербальные (словесные), графические модели, а также те средства их представления, которые более приспособлены для последующей разработки, например аналитических моделей и основанных на них имитационных алгоритмов или экспертных систем.

Среди так называемых «машинных» методов исследования безопасности социально-экономических систем наиболее перспективным может оказаться логико-лингвистическое моделирование. Оно основано на использовании соответствующих имитационных моделей, связанных с логической и математической обработкой тех данных, которые представлены в словесной форме, то есть являются лингвистическими переменными [7].

При этом параметры таких переменных могут не только измеряться различными единицами, но и иметь всевозможную нечетко определенную природу. Дело в том, что для их измерения применяются универсальные лингвистические шкалы качества, количества, периодичности и достоверности, имеющие многоступенчатую градацию от «очень, очень низко» до «очень, очень высоко».

Нормативные модели и методы

В отличие от дескриптивных моделей и методов исследования безопасности социально-экономических систем, нормативные должны быть направлены на поиск ответа на вопросы не о том, как есть или будет, а о том, как должно быть. Иначе говоря, основная функция нормативных моделей состоит не столько в отражении действительности, сколько в определении желательной стратегии поведения. Вот почему они обычно используются для обоснования рациональных структур, определения предпочтительных состояний и оптимальных параметров как исследуемой социально-экономической системы, так и обеспечивающих ее безопасность инфраструктур.

Однако главное предназначение предлагаемых нормативных моделей и методов – преднартание благоприятных условий и оптимальных траекторий развития СЭС, определение соответствующего вектора целей, обоснование приемлемой иерархии

ценностей, а также прогноз необходимости и возможности коррекции интересов и потребностей людей с учетом тенденций и противоречий, выявленных помостью рассмотренных выше дескриптивных моделей.

Достаточно результативной может быть интерпретация нормативных моделей, например, в виде графа целей государства, дерева ценностей народа, человека и схем функциональной целостности используемых ими инфраструктур.

Поясним кратко подобную возможность на примере дальнейшего развития рассмотренной выше дескриптивной модели – в части нормирования условий достижения описываемой там социально-экономической системы какой-либо цели, принадлежащей области желаемых состояний. При этом как и ранее речь будет идти об обеспечении безопасности, то есть о непрерывном сохранении данной системой жизнестойкости благодаря инфраструктурам, постоянно удерживающим ее в области своих безопасных состояний $S(I, C, U) \rightarrow J \in S_G$.

Если данная область определена и согласована, то следующей задачей будет создание и использование такой нормативной модели, например оператора C , который способен вырабатывать и реализовывать те управляющие воздействия, которые были бы способны привести соответствующую интегрированную систему в некоторую область S_s и удерживать ее там постоянно.

В предположении о возможности деления всех влияющих на это факторов на внешние F^{ex} и внутренние F^{in} может быть дана формализованная постановка задачи на разработку рассматриваемой здесь нормативной модели. Например, сформировать векторный оператор C^{-1} пересчета подпространства состояний Σ_s в пространство управляющих воздействий Σ_U , порожденных как внешней для социально-экономической системы средой – F_s^{ex} , так и внутренними для нее (инфраструктурными) факторами – F_s^{in} :

$$C^{-1} : T \times \Sigma_s^F \Rightarrow \Sigma_U = \{U_{ex}, U_{in}\} , \quad (2)$$

где T – множество моментов времени из рассматриваемого интервала; $\Sigma_s^F \Leftrightarrow \{F_s^{ex} \in F^{ex}, F_s^{in} \in F^{in}\}$ – подпространство состояний и его факторы.

Однако решение задачи в такой постановке представляется затруднительным, поскольку на основе выходных реакций социально-экономической системы практически невозможно выделить причинную обусловленность ее динамики и идентифицировать входные воздействия, то есть установить вклад каждого подобного возмущения в занимаемое этой системой положение в пространстве S_s^F . Поэтому вместо процедуры общего инвертирования (2) с целью получения оператора C^{-1} целесообразно по отдельности строить области безопасных состояний рассматриваемой системы для всех внешних U_{ex} и внутренних U_{in} для нее входных воздействий. Это означает, что представленная выше модель нормативного управления должна принять следующий вид:

$$\begin{cases} C_{ex}^{-1} : TS_s^{F_{ex}} \Rightarrow U_{ex} \\ C_{in}^{-1} : TS_s^{F_{in}} \Rightarrow U_{in} \end{cases} . \quad (3)$$

Приведенные математические соотношения нужно интерпретировать как синтез такого управления развитием социально-экономической системы, которое обеспечивает ее самосохраняемость благодаря парированию возмущений, препятствующих достижению и нахождению этой системы в области безопасных состояний. Естественно, что для

практического использования теоретико-множественной формы (3) необходимо ее раскрыть, то есть представить в явном виде все входящие туда векторы и операторы.

Очевидно, что столь общая нормативная модель не позволяет продемонстрировать это для любой универсальной СЭС по причине дефицита информации и громоздкости соответствующих преобразований.

Принципиальная же возможность нахождения явных аналитических выражений некоторых из входящих в модель (3) параметров может быть продемонстрирована для частных, более простых случаев. Однако данные вопросы, также как и проблематика разработки ситуационных моделей и методов, оставлены вне рамок данной статьи и рассматриваются отдельно.

В целом рассмотренный теоретический подход к разработке моделей безопасности СЭС действительно пригоден для системного (качественного и количественного) анализа интересующих исследователя процессов. Более того, данные модели необходимы и для системного синтеза управляющих воздействий в тех случаях, когда оцененный уровень надежности, живучести или безопасности конкретных компонентов социально-экономической системы не удовлетворяет требуемому.

Литература

1. Воробьев Ю.Л. Национальная безопасность и управление стратегическими рисками в России // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3. № 2. С. 95–104.
2. Матвеев А.В., Матвеев В.В. Концептуальные основы обеспечения национальной безопасности России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2014. № 1 (5). СПб.: Стратегия будущего. С. 3–20.
3. Арбатов А.Г. Национальная безопасность России в многополярном мире // Вестник РАН. 2000. № 11. С. 984–993.
4. Бетлер А. Национальные интересы, национальная безопасность и международная стабильность // Политические исследования. 2002. № 3. С. 146–158.
5. Матвеев А.В. Оптимальное управление ресурсами в интересах обеспечения безопасности социально-экономических систем: материалы IX съезда Петровской акад. наук и искусств «Социально-экономические проблемы современной России и пути их решения». СПб.: Северная звезда, 2014. С. 174–182.
6. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А. Исследование систем управления: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Академический проект; Трикста, 2004. 352 с.
7. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию решений. Новое в зарубежной науке и технике. М.: Мир, 1976. 196 с.

О ПРИМЕНЕНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СИГМА ПБ» ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЯ

Е.С. Кирик, кандидат физико-математических наук.

**Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения
Российской академии наук.**

К.Ю. Литвинцев, кандидат физико-математических наук;

Е.Б. Харламов, кандидат физико-математических наук.

Институт теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук

Рассмотрены вопросы применения моделирования эвакуации и развития пожара в задаче определения вероятности эвакуации из здания. Приводится пример решения этой задачи с использованием отечественного программного комплекса «Сигма ПБ».

Ключевые слова: опасные факторы пожара, программный комплекс «Сигма ПБ», расчет вероятности эвакуации

ON USING COMPUTER SIMULATION TOOL «SIGMA FS» TO DETERMING A PROBABILITY OF AN EVACUATION FROM A BUILDING

E.S. Kirik. Institute of computational modeling of Siberian branch of the Russian academy of sciences.
K.Yu. Litvintcev; E.B. Kharlamov. Institute of thermophysics of Siberian branch of the Russian academy of sciences

The paper deals with using an evacuation and fire spread Russian simulation tool «Sigma FS» to solve an evacuation probability task.

Keywords: dangerous factors of fire, simulation tool «Sigma FS», calculation of the probability of evacuation

С 2009 г. в результате принятия Технического регламента (Техрегламента) о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ) в России начал формироваться институт независимой оценки пожарного риска. Для реализации Техрегламента были изданы подзаконные акты. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» в области обеспечения пожарной безопасности ввело понятие расчета пожарных рисков при составлении декларации пожарной безопасности. Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 апреля 2009 г. № 304 «Об утверждении Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска» было введено понятие независимой оценки пожарного риска. Для реализации Постановлений № 272 и № 304 была разработана и утверждена Приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (Методика) [1].

Основные расчетные действия, предписанные Методикой, это определение времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП) (достигается за счет моделирования развития пожара) и определение времени эвакуации людей из отдельных частей здания и здания в целом (достигается путем моделирования эвакуации). На основе этих расчетов определяется вероятность эвакуации из здания. Специфика моделей и сложность решаемых задач таковы, что применение моделирования для определения времени эвакуации и блокирования ОФП путей эвакуации возможно только с применением компьютера, а для этого требуются вычислительные способы представления моделей и соответствующие численные алгоритмы. В Методике модели представлены в математической постановке. В то же время численная реализация любой из моделей не тривиальная задача и является предметом специализированного профессионального труда.

Компьютерный программный комплекс «Сигма ПБ»

В статье представлена уникальная отечественная разработка - специализированный компьютерный программный комплекс «Сигма ПБ», предназначенный для расчета вероятности эвакуации из здания в соответствии с Методикой [1]. В нем объединены многолетние наработки в вычислительной гидродинамике, моделировании движения людей, численных методах, высокопроизводительных технологиях и инженерной графике.

Программный комплекс «Сигма ПБ» предназначен для выполнения расчетов распространения опасных факторов пожара и эвакуации, расчета вероятности эвакуации из многоэтажных зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности.

Программный комплекс имеет компоненты:
– построитель трехмерной модели здания;

- редактор сценариев пожара;
- редактор сценариев эвакуации;
- модуль, реализующий расчет развития пожара;
- модуль, реализующий расчет эвакуации людей;
- модуль 3D-визуализации, анализа результатов расчета, определения вероятности эвакуации, формирования отчетов по входным данным и результатам расчета.

Для выполнения расчетов распространения ОФП и эвакуации используются вычислительные ядра отечественных программ SigmaFire © [2–4] и SigmaEva © [5, 6] соответственно, в которых реализованы полевая модель пожара и модель эвакуации индивидуально-поточного типа [1].

Программа «СИГМА ПБ» имеет следующие преимущества перед российскими и зарубежными аналогами:

- единая программная среда с единым полем информационных ресурсов и форматом данных для решения задач расчета эвакуации и распространения ОФП;
- собственный построитель объектов, включая функцию «подложки», а также интеграция с BIM-ориентированной системой проектирования AutoDesir Revit;
- собственные расчетные модули;
- 3D-визуализация эвакуации и распространения ОФП в трехмерной виртуальной среде объекта;
- автоматизированное формирование отчетов о входных данных и результатах расчетов, схемы эвакуации, автоматизированное определение вероятности эвакуации.

Пример применения. Приведем пример расчета вероятности эвакуации на основе офисного здания, на котором в 2013 г. проводилась апробация программного комплекса «Сигма ПБ» совместно с Главным управлением МЧС России по Красноярскому краю.

Здание можно разделить на две части (рис. 1): основная (пятиэтажное здание с цокольным этажом) и пристройка (ПЧ) в один этаж на уровне второго этажа основного здания. Основное здание содержит две лестницы, одна из которых не является эвакуационной (Лестница 2). В пристройке имеется одна лестничная клетка (Лестница из ПЧ). Обе части здания соединены открытым проходом через неэвакуационную лестничную клетку на уровне второго этажа основного здания. Неэвакуационная лестничная клетка (Лестница 2 + Лестница из цоколя) имеет свободный выход на цокольный этаж. Доводчики на дверях, соединяющих коридоры на этажах (за исключением первого этажа) с лестничными клетками (Лестница 1 (восточная), Лестница 2, Лестница из цоколя), не функционируют. Особенностями данного здания являются: отсутствие систем обнаружения возгорания, оповещения и дымоудаления; имеется единственная задымляемая эвакуационная лестница (Лестница 1 (восточная)).

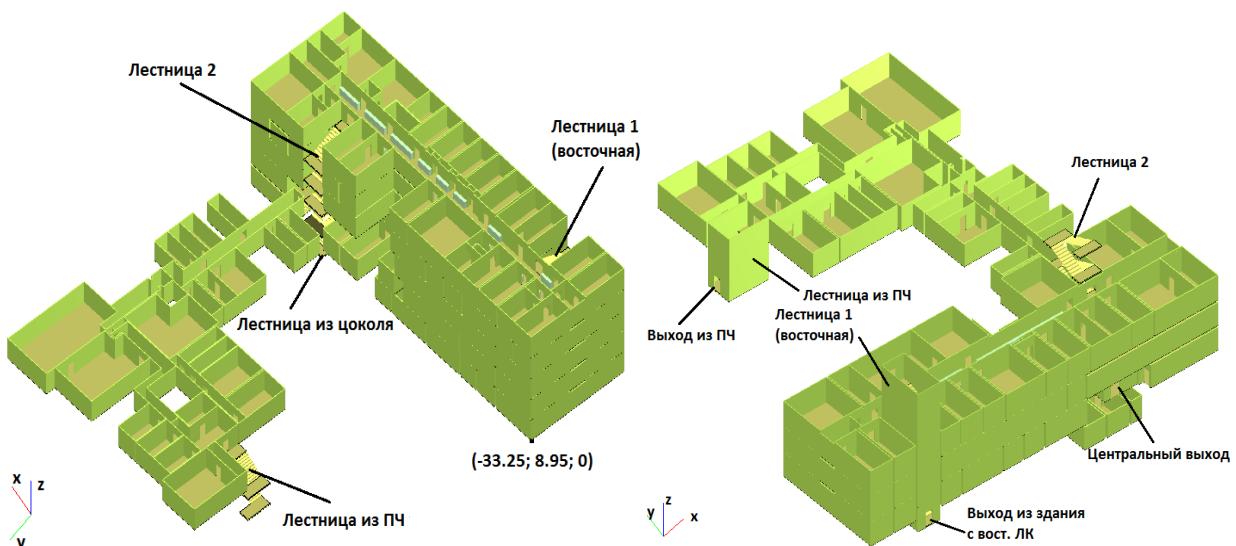


Рис. 1. 3D-модель здания. Вид 1 (слева), вид 2 (справа)

В компьютерную 3D-модель здания были включены только элементы, существенные для расчета эвакуации и распространения ОФП.

Рассматривался сценарий развития пожара (рис. 2) на цокольном этаже в складском помещении. Выбор обусловлен нахождением большого количества пожарной нагрузки, отсутствием противопожарной двери, низкой вероятностью обнаружения пожара на ранней стадии, свободным доступом ОФП с цокольного этажа через неэвакуационную лестничную клетку основного здания на верхние этажи (начиная со второго) и в пристойку.

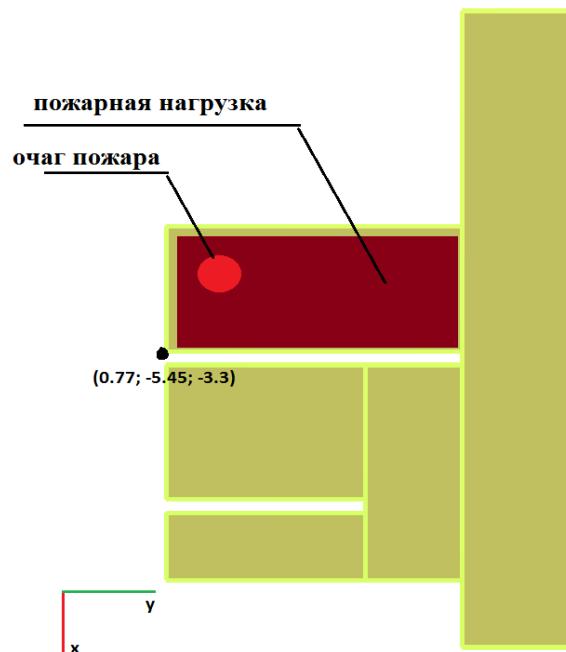


Рис. 2. Схема расположения пожарной нагрузки и очага пожара (цокольный этаж)

Для создания более худших условий в расчетную область включено помещение, где располагается очаг пожара, коридоры на всех этажах, включая пристойку, вестибюль первого этажа, лестничные клетки (другие помещения здания при расчете развития пожара не учитываются) (рис. 3). При расчете развития пожара принимались открытыми двери: «Центральный выход», «Выход из здания с восточной ЛК», «Выход из ПЧ».

В программе предусмотрена возможность сохранения в отдельный файл следующих начальных данных о сценарии пожара:

- пожарная нагрузка (номер помещения, в котором находится очаг пожара; координаты центра очага пожара; площадь пожарной нагрузки (ПН); площадь помещения; площадная плотность; характеристики ПН);
- системы вынужденного притока воздуха и дымоудаления (для каждой единицы указываются номер помещения, координаты центра области, площадь области, \pm расход);
- открытые проемы из здания, включая системы естественного дымоудаления (для каждой единицы указываются номер помещения, координаты центра области, площадь области);
- температура воздуха внутри здания в начальный момент времени, температура окружающей среды.

Сценарий эвакуации: количество людей соответствует максимальной загрузке здания (451 человек), расположение по зданию – в соответствии с распределением по рабочим местам, задержка начала эвакуации относительно начала пожара составляет 360 с ввиду отсутствия систем оповещения и управления эвакуацией людей. Физические характеристики были заданы для всех одинаковым образом: скорость свободного движения для всех людей –

нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием 1,66 м/с и среднеквадратичным отклонением 0,083 м/с, площадь проекции 0,125 м².

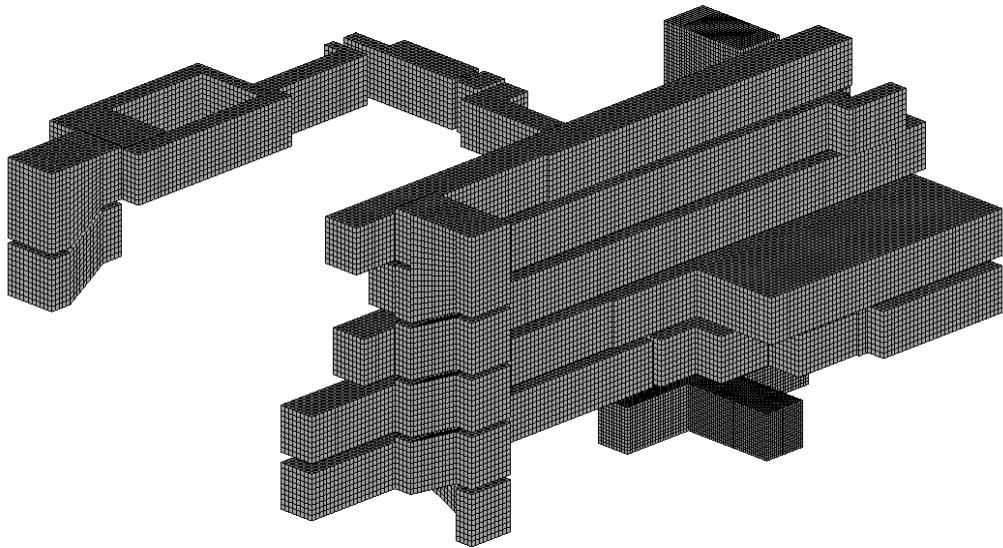


Рис. 3. Расчетная сетка для расчета распространения ОФП

В программе предусмотрена возможность сохранять в отдельные файлы следующую информацию:

- начальное расположение людей и поэтажные схемы путей эвакуации;
- данные по количеству людей в помещениях, времени начала эвакуации, проемах, связывающих помещение с соседними элементами здания;
- данные о геометрических характеристиках коридоров и списках проемов, связывающих помещения с каждым коридором;
- данные по геометрическим характеристикам проемов на путях движения людей, принятых в рассматриваемом сценарии;
- данные по геометрическим характеристикам лестниц, которые были включены в путь эвакуации людей в рассматриваемом сценарии.

Анализ расчетов. (На представленных ниже рисунках зоны, обозначенные красным цветом, области, в которых значения ОФП на высоте 1,7 м от пола достигли предельно допустимых значений. Поля ОФП отображаются только на горизонтальных участках расчетной области, на лестницах – только на площадках, примыкающих непосредственно к этажам.) При развитии пожара, как правило, наиболее быстро распространяется дым, и первой происходит блокировка по условию ограниченной видимости (или оптической плотности). Как видно из рис. 4, ко времени начала эвакуации полностью задымлен коридор пятого этажа и частично четвертого. Люди покидают пятый и четвертый этажи только к 403 с и 416 с соответственно. Дольше всего происходит эвакуация со второго этажа – заканчивается на 480 с, что связано с большим количеством людей на этаже и их выходом на заполненную людьми с верхних этажей лестничную клетку.

Распространение ОФП, за исключением цокольного этажа, быстрее происходит на верхних этажах основного здания, что связано с формированием устойчивой конвективной колонки на неэвакуационной лестничной клетке («Лестница 2» + «Лестница из цоколя»). Горячие газы, поднимаясь вверх, вытесняют холодные газы вниз по «Лестнице 1», формируя, таким образом, в здании круговое течение.

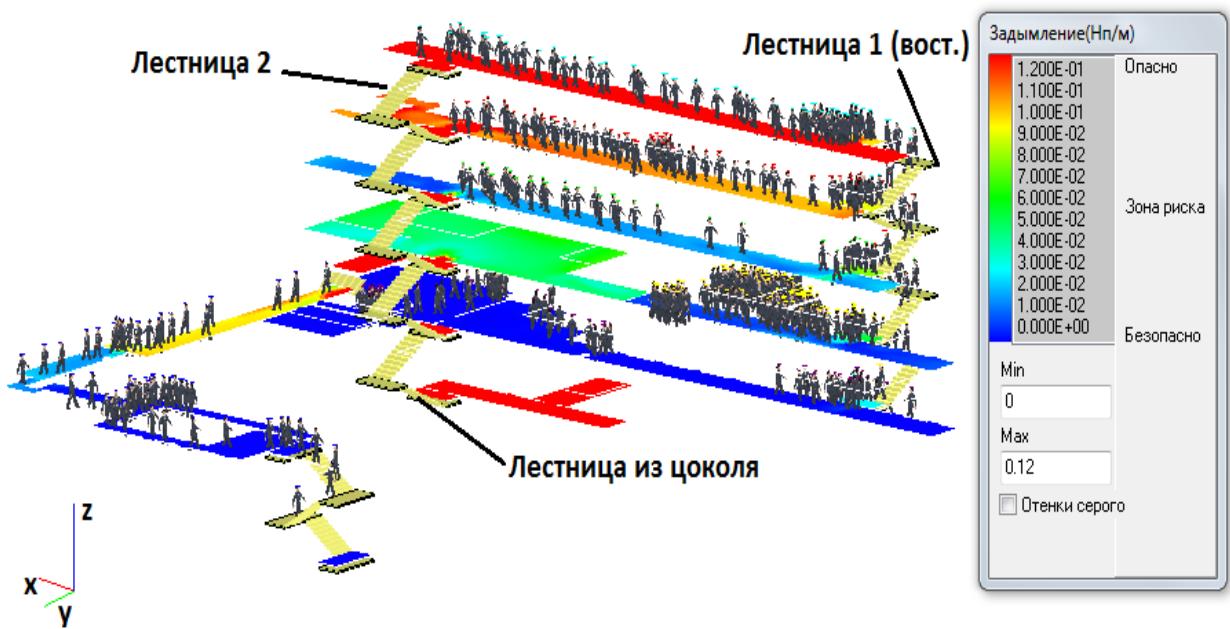


Рис. 4. Поле оптической плотности на 375 с, Нп/м, на всех этажах здания

В данном сценарии пожара блокирование путей эвакуации происходит в основном по видимости. Области, где температура достигла критических значений, появляются немногим медленнее (рис. 5), но на некоторых участках верхних этажей здания блокирование по температуре происходит (расчет выполнялся без учета теплопотерь на ограждающие конструкции).

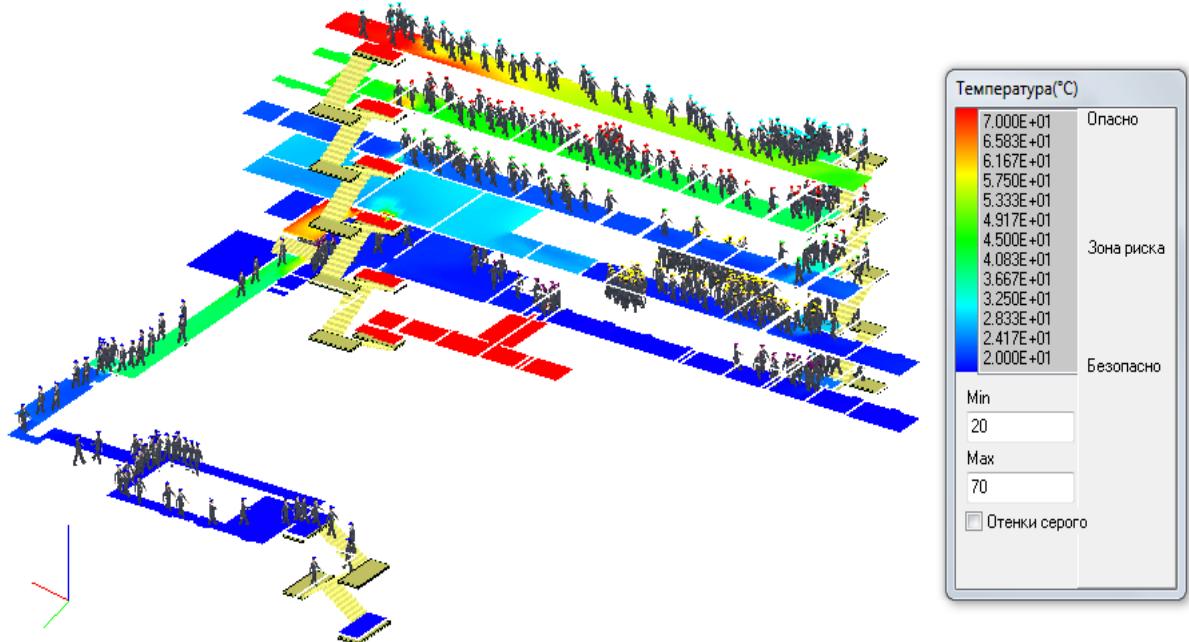


Рис. 5. Поле температуры на 375 с, градусы Цельсия

К моменту окончания эвакуации здание только частично заблокировано по видимости (рис. 6): цокольный, четвертый и пятый этажи основного здания и переход в пристройку.

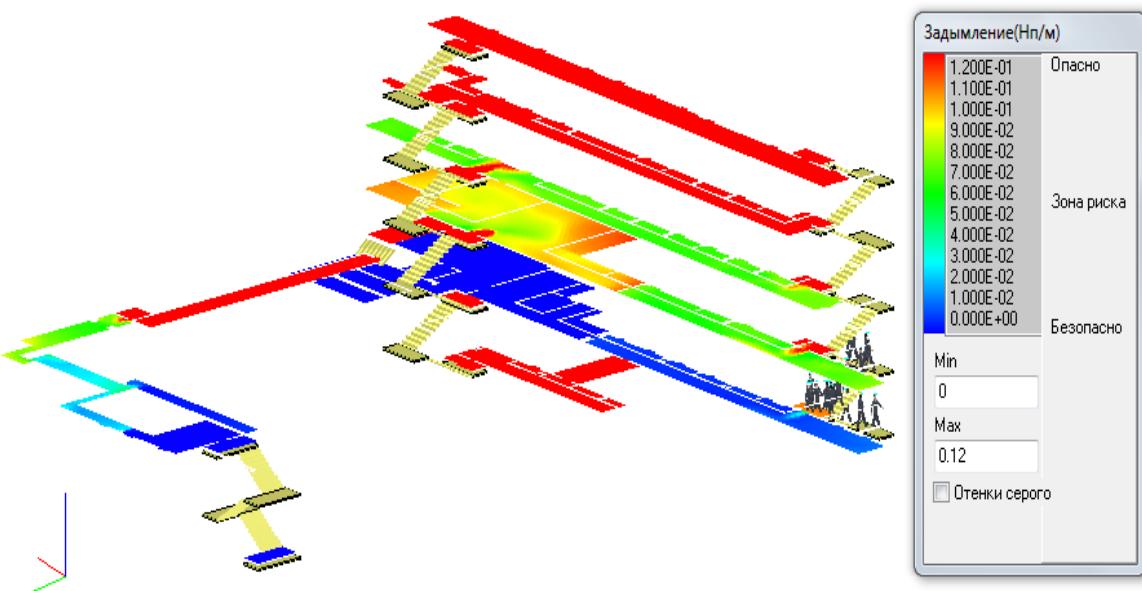


Рис. 6. Поле оптической плотности на 580 с, Нп/м, окончание эвакуации

В программе имеется модуль автоматизированного пространственно-временного анализа результатов расчета и определения вероятности эвакуации согласно Методике [1]. Результаты анализа заносятся в таблицу, в которой содержится подробная поэтажная информация для элементов здания, лежащих на путях эвакуации людей в рассчитанном сценарии. Для каждого такого элемента здания приводится следующая информация:

- номер элемента здания (i);
- имя элемента здания;
- количество человек в начальный момент времени (если применимо);
- время начала эвакуации из i -го элемента здания ($t_{\text{нэ}}^i$), с (для помещений определяется как время начала движения первого человека, для проемов – время прохождения первого человека через этот проем);
- длительность эвакуации из i -го элемента здания ($t_{\text{рэв}}^i$), с (расчетное время эвакуации из i -го элемента здания с момента ее начала, определяется по последнему человеку, покинувшему i -й элемент);
- время окончания эвакуации из i -го элемента здания ($t_{\text{рэв}}^i + t_{\text{нэ}}^i$), с;
- время блокирования i -го элемента здания ($t_{\text{бл}}^i$), с (случай 1 - если i -ый элемент включен в расчетную зону распространения ОФП: для помещения $t_{\text{бл}}^i$ определяется как максимальное время достижения любым из ОФП предельно допустимого значения на высоте 1,7 м от пола в дверных проемах этого помещения, через которые выходили люди; для проемов – при достижении ОФП предельно допустимых значений на высоте 1,7 м от пола; случай 2 – если i -ый элемент не включен в расчетную зону распространения ОФП: для помещения, в котором в начальный момент находились люди, и проемов, через которые они проходили, $t_{\text{бл}}^i = \max$ времени расчета распространения ОФП);
- блокирующий ОФП (блокировка по потере видимости для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости принимается равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);
- время скопления для i -го элемента здания, $t_{\text{ск.}}^i$, с (длительность скопления людей на i -м элементе с плотностью более $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$);
- вероятность эвакуации из i -го элемента здания ($P_{\text{эв}}^i$), которая рассчитывается, исходя из выполнения одного из условий:

Условие 1: если для i -го элемента здания выполняется условие $t_{\text{пэв}}^i \geq 0,8*t_{\text{бл}}^i$, тогда $P_e^i=0$;

Условие 2: если для i -го элемента здания выполняются условия $t_{\text{пэв}}^i + t_{\text{нэ}}^i \geq 0,8*t_{\text{бл}}^i \geq t_{\text{пэв}}^i$

и $t_{\text{ск}}^i < 360$, тогда $P_e^i = 0,999 \frac{0,8*t_{\text{бл}}^i - t_{\text{пэв}}^i}{t_{\text{бл}}^i}$, если $t_{\text{пэв}}^i + t_{\text{нэ}}^i \geq 0,8*t_{\text{бл}}^i \geq t_{\text{пэв}}^i$ и $t_{\text{ск}}^i \geq 360$, тогда $P_e^i=0$;

Условие 3: если для i -го элемента здания выполняются условия $t_{\text{пэв}}^i + t_{\text{нэ}}^i \leq 0,8*t_{\text{бл}}^i$ и $t_{\text{ск}}^i < 360$, тогда $P_e^i=0,999$; если $t_{\text{пэв}}^i + t_{\text{нэ}}^i \leq 0,8*t_{\text{бл}}^i$ и $t_{\text{ск}}^i \geq 360$, тогда $P_e^i=0$.

В зависимости от того, какое из условий выполняется, величина вероятности эвакуации из i -го элемента здания записывается в соответствующий столбец таблицы, в которой приводятся данные; вероятность эвакуации из здания (P_e):

$$P_e = \min \{ P_e^1, \dots, P_e^L \},$$

где L – количество элементов здания.

Отметим важный аспект при определении вероятности эвакуации из здания: происходит анализ времени блокирования и времени эвакуации для каждого элемента здания (помещения, проема) на путях эвакуации (а не только для выходов в безопасную зону). Вероятность эвакуации определяется для каждого такого элемента, а наименьшая величина по всем элементам здания принимается как вероятность эвакуации из всего здания. Такой автоматизированный подход исключает возможность намеренного манипулирования и искажения результатов при анализе выполненных расчетов.

На рис. 7 представлена часть таблицы с результатами анализа элементов путей эвакуации, сохраняемой в отдельный файл.

Отчет о результатах расчета											
Номер элемента здания	Имя элемента здания	Количество человек в начальный момент времени	Время начала эвакуации (t _{нэ}), сек	Длительность эвакуации (t _{рэв}), сек	Время окончания эвакуации (t _{бл}), сек	Время блокирования (t _{бл}), сек	Блокирующий ОФП	Время скопления, tick., сек	P _э , если t _{рэв} ≥ 0,8*t _{бл}	P _э , если t _{рэв} + t _{нэ} ≥ 0,8*t _{бл} ≥ t _{рэв}	P _э , если t _{рэв} + t _{нэ} ≤ 0,8*t _{бл}
Этаж 5											
564	Помещение	3	360.25	2.75	363	760					0.999
292	Проем		362	3	365	360	Задымление(Нп/м)			0.787	
722	Проем		363.5		363.5	350	Задымление(Нп/м)			0.77	

Вероятность эвакуации из здания Р_э 0.452

Рис. 7. Отчет по определению вероятности эвакуации из здания

Обработка результатов расчетов распространения ОФП и эвакуации для рассматриваемого офисного здания показывает, что итоговая вероятность эвакуации из здания равна 0,452. На практике это означает, что здание не отвечает требованиям пожарной безопасности. Таким образом, наличие лишь одной эвакуационной лестницы из основного здания, отсутствие доводчиков на дверях лестничных клеток и систем оповещения приводят к высокой вероятности гибели людей при возникновении пожара.

В ходе апробации программный комплекс «Сигма ПБ» получил высокую оценку специалистов Главного управления МЧС по Красноярскому краю как самодостаточный специализированный инструмент решения задачи определения вероятности эвакуации из многоэтажных зданий, сооружений и строений различных классов функциональной пожарной опасности в соответствии с Методикой [1]. Особое внимание получил модуль формирования отчетов по исходным данным автоматизированного анализа результатов расчетов и определения вероятности эвакуации.

Идеология, положенная в основу создания программного комплекса «Сигма ПБ», включает три принципа:

1. Минимизация усилий пользователя для проведения расчетов. Это достигается за счет единого информационного пространства для расчетов эвакуации и распространения ОФП, системы автоматического формирования отчетов, наглядности системы анализа.

2. Минимизация вмешательства пользователя в результаты расчетов. Это достигается минимизацией доступных пользователю параметров расчетных моделей, наличием системы автоматического формирования отчетов по исходным данным и результатов расчетов.

3. Открытость данных. При наличии выполненного и сохраненного проекта одним пользователем любой другой пользователь может проверить полученные результаты расчетов на предмет корректности исходных данных и соответствия представленных отчетов исследуемому объекту.

Литература

1. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: зарег. в Минюсте России 6 авг. 2009 г. № 14486 (в ред. Приказа МЧС России от 12 дек. 2011 г. № 749). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Программный комплекс для численного моделирования динамики пожаров (yFire): свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2010613073 (зарег. 11 мая 2010 г.) / К.Ю. Литвинцев: материалы Всерос. науч.-практ. конф. 2010.

3. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. реком. / А.П. Рыжов [и др.]. М., 2003. 35 с.

4. Литвинцев К.Ю., Дектерев А.А., Необъявляющий П.А. Моделирование развития пожаров в зданиях // Тепловые процессы в технике. 2011. Т. 2. № 1. С. 9–11.

5. Кирик Е.С., Малышев А.В. Программа по расчету времени эвакуации из многоэтажных зданий и сооружений моделью идивидуально поточного типа (SigmaEva): свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2013610824 (зарег. 9 янв. 2013 г.).

6. Кирик Е.С., Малышев А.В. Тестирование компьютерных программ по расчету времени эвакуации на примере модуля SigmaEva // Пожарная безопасность. 2014. № 1. С. 78–85.

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РАЙОНОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В.И. Терешков.

Главное управление МЧС России по Красноярскому краю

Рассмотрены вопросы формирования эффективного автоматического информационно-аналитического и управляющего комплекса системы обеспечения безопасности территории и населения с целью снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, террористического характеров в Арктической части Сибирского федерального округа.

Ключевые слова: Арктика, система безопасности, Арктический центр, стратегия, спасательный центр, мониторинг, прогнозирование ЧС

FORMATION OF A COMPREHENSIVE SECURITY SYSTEM IN THE ARCTIC ZONE DISTRICTS OF THE KRASNOYARSK REGION

V.I. Terechkov. Main Department of EMERCOM of Russia in Krasnoyarsk region

The article deals with development of effective automated information-analytical and control complex systems security, territory and population in order to reduce the risks and mitigation of consequences of emergency situations of natural, technological, terrorist characters in the Arctic part of the Siberian Federal district.

Keywords: Arctic, security system, Arctic centre, strategy, rescue center, monitoring, forecasting of emergencies

Сегодня уже все мировое сообщество пришло к единому мнению – будущее человечества тесно связано с освоением Арктики. У этой территории невероятный потенциал – богатейшие, практически не тронутые запасы природных ресурсов, уникальное географическое положение, огромное влияние на климат нашей планеты, удивительный растительный и животный мир. Значительная часть Красноярского края – это Крайний Север. На нашей территории находится г. Норильск – крупнейший в мире город, построенный за Полярным кругом, ни одна страна в мире не создала такой мощной, не имеющей аналогов в мире metallurgical промышленности, какая была создана в районе Норильска.

Вместе с тем особенную актуальность формирования системы безопасности в Арктической части Сибирского федерального округа придают сформированная и утвержденная Президентом Российской Федерации «Стратегия социально-экономического развития Сибири на период 2010–2020 годы» и «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу», утвержденные Президентом Российской Федерации 18 сентября 2008 г. № Пр-1969 [1], а так же утвержденная Президентом Российской Федерации «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [2].

В соответствии с вышеназванной стратегией, для формирования сбалансированной системы безопасности необходимо существенно расширить Арктическую систему управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) путем сочетания системы комплексного мониторинга и прогнозирования ЧС, своевременного выполнения предупредительных мероприятий и создания Арктической системы экстренного реагирования. Эти вопросы обсуждались на Международной научно-практической конференции «Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и создание комплексных аварийно-спасательных центров» в г. Норильске в период с 22 по 25 августа 2012 г., организованной МЧС России, в которой принимали участие представители федеральных органов исполнительной власти, представители 7 государств-участников Арктического совета (ЕПРР), а так же представители соседних (с Красноярским краем) Арктических регионов.

Понимая важность поставленных задач Президентом Российской Федерации, МЧС России начало формирование федеральной группировки спасательных сил и средств в Арктике, которая будет состоять из 10 Арктических специализированных спасательных центров. Развитие сил и средств Красноярской краевой территориальной подсистемы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в Арктической зоне Красноярского края планируется усилить за счет создания Арктического специализированного спасательного центра, обеспечивающего безопасность на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района и соседних районов, который введен в действие в г. Дудинке в 2013 г. Центр оснащен современной аварийно-спасательной техникой и оборудованием, включая воздушные суда.

Совместными решениями Ростехнадзора, Минобрнауки России и МЧС России принято решение о создании pilotной системы мониторинга потенциально-опасных объектов в Арктической зоне с местом дислокации в г. Дудинке, в том числе создание аппаратно-программных комплексов, обеспечивающих использование космической информации высокого пространственного разрешения при решении задач по поиску и спасению пострадавших в ЧС, в труднодоступных местах в г. Дудинке, а также создание автоматизированной системы оперативного контроля состояния подводных потенциально-опасных объектов с использованием ресурсов космической системы «КОСПАС-САРСАТ».

Роскосмос Российской Федерации предполагает организовать размещение в формируемом Арктическом центре мониторинга и прогнозирования (ЦМП) ЧС аппаратно-программного комплекса приема и обработки информации от космической системы дистанционного зондирования Земли «Арктика».

Указанные мероприятия включены в Перечень основных мероприятий федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года», реализуемых за счет средств федерального бюджета [3].

Назначение комплексной системы:

- проведение эффективного мониторинга текущей обстановки и представления информации для действий всех должностных лиц органов исполнительной власти, обеспечивающих своевременность принятия управленческих решений;
- совершенствование системы оперативного реагирования на ЧС и управления действиями сил РСЧС;
- предоставление текущей информации о состоянии защищенности объектов защиты;
- обеспечение аналитической и управленческой деятельности в рамках решения задач по противодействию угрозам природного, техногенного и иного характера;
- своевременное обеспечение аналитической, методической и управленческой информацией в рамках решения задач по противодействию угрозам природного, техногенного и иного характера.

Принципы создания

При создании комплексной системы чрезвычайно важным становится создание эффективной системы, адаптированной к новым вызовам и противодействию новым рискам ЧС, формирование действенных механизмов консолидации усилий государства, бизнеса и общества в этом направлении. Достижение указанных целей связано с разработкой и внедрением комплексной системы обеспечения безопасности территорий и населения от ЧС природного и техногенного характера по следующим направлениям:

- формирование эффективных автоматизированных информационных систем мониторинга обстановки на потенциально опасных источниках риска – крупнейших экономических и инфраструктурных образованиях (объектах нефте- и газодобычи, ядерной энергетики, металлургических, химических производствах, продуктопроводах, маршрутах транспортировки углеводородов и другого сырья, объектах переработки углеводородов);
- анализ и управление рисками ЧС на территориях Арктической зоны субъектов Российской Федерации, ориентированным на потенциально опасные источники риска – крупнейшие экономические и инфраструктурные образования (объекты нефте- и газодобычи, металлургические, химические производства, продуктопроводы, маршруты транспортировки углеводородов и другого сырья, объекты переработки углеводородов);
- формирование действенных организационных механизмов взаимодействия властных и бизнес-структур в сфере информационного обеспечения и использования государственных и негосударственных ресурсов при создании эффективной инфраструктуры обеспечения комплексной безопасности и условий устойчивого развития территорий.

Основные направления создания информационной системы комплексного аварийно-спасательного центра

Приоритетными направлениями решения поставленных задач являются:

- развитие и совершенствование дежурно-диспетчерских служб, имеющих информационные системы учета, обработки и хранения обращений граждан в службу пожарной охраны и службу реагирования в ЧС;
- совершенствование функционирования системы вызова экстренных оперативных служб через единый номер «112»;
- совершенствование системы мониторинга потенциально опасных объектов и территорий активного промышленного освоения, создание на стратегически важных направлениях комплексного аварийно-спасательного центра, располагающего данными мониторинга потенциально опасных объектов и силами быстрого реагирования, что позволит повысить оперативность немедленных эффективных действий в случае наступления ЧС.

Совершенствование системы мониторинга потенциально опасных объектов и территорий позволит активно развивать формирование объективной оценки текущего состояния комплексной безопасности (природной, промышленной, экологической, транспортной, биологической и др.) на основе автоматизированной региональной системы сбора и обработки данных объективного контроля, а также данных от заинтересованных ведомств и промышленных предприятий, прогнозировать риски возникновения природных, экологических, техногенных ЧС с целью своевременного информирования регионального руководства, контролирующих органов и принятия своевременных мер по снижению рисков.

В состав специализированного информационно-аналитического комплекса входит Арктический информационно-управляющий комплекс с периферийными элементами. Основное его предназначение – объединение информационных ресурсов и возможностей муниципального образования с целью оперативного управления в ЧС природного и техногенного характера, основные задачи которого:

- обеспечение консолидированной пространственно-распределенной информацией о текущем состоянии систем обеспечения безопасности на объектах муниципального образования;
- структурированное хранение и представление информации на электронных векторных картах, космоснимках, а также в виде трехмерных моделей объектов в целях реализации функции поддержки принятия решения при возникновении ЧС;
- сбор текущей информации от объектовых систем контроля и мониторинга;
- выборочное представление информации с систем контролем в записи и в реальном масштабе времени с учетом секторов обзора и пространственного расположения;
- сбор, обработка и отображение информации в реальном масштабе времени об обстановке в районе ЧС от мобильных оперативных групп по сетям сотовых операторов;
- осуществление доведения управленческой информации до объекта, органов управления, сил и средств и вывода необходимых информационных сообщений на информационные системы объекта;
- обеспечение информационной безопасности аппаратно-программного комплекса и процессов информационного взаимодействия в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- обеспечение мониторинга и управления в режиме реального времени мероприятиями по экстренному реагированию и ликвидации ЧС, в том числе автоматизированное построение схемы организации управления и взаимодействия, информационное взаимодействие и координация сил и средств, привлекаемых для ликвидации ЧС;
- моделирование последствий ЧС природного, техногенного и террористического характера;
- планирование мероприятий по предотвращению ЧС, снижению возможного ущерба от ЧС, ликвидации последствий ЧС, а также автоматизированного контроля за их выполнением;
- передача информации о состоянии объектов в Центр управления в кризисных ситуациях Красноярского края.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) ситуационного центра синхронизируется с ПАК Единой дежурно-диспетчерской службы и состоит из следующих подсистем:

- подсистемы отображения информации;
- подсистемы озвучивания зала;
- подсистемы оперативного управления;
- подсистемы структурированной кабельной системы;
- подсистемы видеоконференцсвязи;
- подсистемы серверных приложений;
- подсистемы видеомониторинга.

Одним из элементов Арктического информационно-управляющего комплекса является Арктический центр мониторинга и прогнозирования ЧС в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, основными задачами которого являются:

– сбор, анализ и предоставление в Главное управление МЧС России по Красноярскому краю информации о потенциальных источниках ЧС и причинах возникновения ЧС на территории Таймырского муниципального района, а также в Норильско-Туруханском территориально-производственном районе;

– организация мониторинга за деятельностью потенциально-опасных, взрывопожароопасных объектов, немедленное оповещение руководящего состава Территориальной Подсистемы единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (ТПРСЧС) при возникновении угрозы возникновения аварийной ситуации;

– прогнозирование ЧС природного и техногенного характера и их последствий на территории Таймырского муниципального района и Норильского промышленного района;

– организация проведения контрольных лабораторных анализов химико-радиологического и микробиологического состояния окружающей среды, продуктов питания, пищевого сырья и воды, представляющих потенциальную опасность возникновения ЧС;

– взаимодействие со Штабом морских операций Западного района Арктики (г. Мурманск) и Государственным учреждением «Архангельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» (г. Архангельск) по вопросам предоставления информации об угрозе возникновения ЧС в зонах ответственности данных организаций;

– организация мониторинга объектов ведения горных работ, а также за состоянием гидротехнических сооружений, линейных объектов (нефте-газопроводов), пульпопроводов водоводов и др. в Норильско-Туруханском территориально-производственном комплексе;

– сбор информации от технических систем мониторинга и других источников и информационная поддержка подсистемы непрерывного мониторинга и управления рисками техногенных ЧС;

– оценку уязвимости поднадзорных объектов и угроз возникновения ЧС;

– выработку необходимых критериев и оценок с последующим формированием рекомендаций по предупреждению ЧС и смягчению последствий их возникновения.

При создании Арктического специализированного аварийно-спасательного центра совместно с ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» и другими хозяйствующими организациями и предприятиями полагали бы целесообразным формирование Арктической межведомственной системы мониторинга и прогнозирования ЧС (с использованием существующих и перспективных ресурсов ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», территориальных и функциональных подсистем РСЧС), для чего необходимо сформировать межведомственное соглашение о сотрудничестве между МЧС России и ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» и другими хозяйствующими организациями и предприятиями, в которое следует включить:

– обеспечение сбора, анализа и предоставление в Арктический ЦМП и Арктический специализированный спасательный центр информации о потенциальных источниках ЧС и причинах возникновения ЧС на территории Таймырского муниципального района, а также в Норильско-Туруханском территориально-производственном районе;

– организацию беспрепятственного межведомственного мониторинга за деятельностью потенциально-опасных, взрывопожароопасных объектов, немедленное оповещение руководящего состава ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» и других хозяйствующих организаций и предприятий системы межведомственного взаимодействия при возникновении угрозы возникновения аварийной ситуации;

– прогнозирование ЧС природного и техногенного характера и их последствий на территории Таймырского муниципального района и Норильского промышленного района, в том числе организационно-методическое руководство, координацию и контроль деятельности территориальной подсистемы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера и территориального звена сети наблюдения и лабораторного контроля Таймырского муниципального района.

Литература

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу от 18 сент. 2008 г. № Пр-1969 // Рос. газ. 2009. 27 марта. Столичный выпуск № 4877.

2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года от 8 февр. 2013 г. № Пр-232. URL: <http://govergment.ru> (дата обращения: 02.08.2014).

3. О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года: Постановление Правительства Рос. Федерации от 7 июля 2011 г. № 555. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ИНФОРМАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**А.А. Кабанов, кандидат юридических наук, доцент;
Т.А. Подружкина, кандидат педагогических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Обсуждается вопрос о законе сохранения информации, аналогичном законам сохранения материи и энергии. Отмечается изменение роли информатики по отношению к кибернетике и другим фундаментальным наукам. Сделан вывод об актуальности исследования этих проблем в сфере безопасности жизнедеятельности.

Ключевые слова: информация в широком и узком смысле, отражение, материя, энергия, статистика, информационный шум, киберсфера, информатика, информационное обеспечение, безопасность жизнедеятельности

CONCEPT AND CONTENTS OF INFORMATION AND DATAWARE OF SAFETY

A.A. Kabanov; T.A. Podruzhkina.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The question of information conservation law similar to conservation laws of a matter and energy is discussed. Change of a role of informatics in relation to cybernetics and other

fundamental sciences is noted. The conclusion is drawn on relevance of research of these problems in the sphere of health and safety.

Keywords: information in broad and narrow sense, reflection, matter, energy, statistics, information noise, cybersphere, informatics, information support, health and safety

Долгое время понятие «информация» применялось лишь к определенным сторонам человеческой деятельности, чаще употреблялось по отношению к некоторой совокупности справочных данных и не требовало особой расшифровки. Своеобразным толчком для научного интереса к понятию термина «информация» стал открытый в кибернетике закон единства управления и информации в системах различной природы. Сейчас понятие «информация» широко вошло в самые различные области знания.

Понятие информации применяется практически во всех отраслях знания, однако до сих пор нет однозначного понимания, что же такое информация. Обеспечение безопасности жизнедеятельности не является исключением. Здесь также применяется это понятие и также в самых различных значениях. Однако очень важно правильно и однозначно понимать этот термин. В противном случае возникает масса проблем, связанных с непониманием людей друг друга, неправильным принятием решений, неудачами и катастрофическими последствиями.

Важным является также вопрос о соотношении понятий отражения и информации как свойств материи. Порой эти понятия необоснованно отождествляются. Хотя очевидно, что информационные процессы являются не только природным, но и общественным явлением. С другой стороны отражение – не единственное проявление информации. Другие ее проявления – это форма и свойства материи, направление движения и вращения, порядок расположения элементов, последовательность выполнения процессов и т.п.

Отражение носит субъективный характер, в то время как информация всегда остается явлением объективным, то есть существует независимо от использующего ее субъекта. Тем не менее, субъект всегда находится в зависимости от информации.

С другой стороны человек, как основной субъект социальных отношений, так или иначе использующий самую различную информацию, не только познает мир, не только отражает его, но и творит, изменяет, преображает и в некотором смысле очеловечивает его, создает так называемую «техносферу», искусственную природу, отличающуюся от естественной природы.

Взять, к примеру, человеческое жилье. Современный дом, даже в сельской местности, существенно отличается от природной пещеры или норы животного. Продукты питания редко применяются в необработанном виде. Даже фрукты человек моет чистой водой, прежде чем их съесть. Не говоря уже о том, что мало кто станет питаться сырым мясом или необработанными зернами злаковых растений.

Всем известны законы сохранения материи и энергии. Но никто пока не сформулировал «закон сохранения информации» [1].

Информация в широком смысле этого слова представляет собой неотъемлемое свойство материи, характеризующее ее способность отражать разнообразие окружающих предметов и событий, а также иметь форму, массу, размеры, температуру, направление движения, вращения, электрические и магнитные свойства и т.п. Аналогичного взгляда на сущность информации как фундаментальной характеристики мироздания наряду с материей, энергией, пространством-временем придерживается и доктор юридических наук, профессор О.А. Гаврилов [2].

Федеральный закон Российской Федерации «Об информации, информатизации и защите информации» от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ определял информацию как «сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы

их представления» [3]. В настоящее время этот закон отменен. Новый Федеральный закон Российской Федерации «Об информации, информационных технологиях и защите информации» [4] определяет информацию более обобщенно, как «сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления». Оба этих определения информации характеризуют ее в узком смысле слова как правовую категорию, то есть то, что можно определить, измерить и защитить по закону.

Информация в широком смысле слова отображает различные стороны бытия и в настоящее время может иметь самую разнообразную форму отображения, но в правовом значении должна быть зафиксирована (представлена) средствами письма, графики, печати, в виде фонограмм, кино и магнитозаписи, в перфолентах и перфокартах, в виде языка программирования (машинограммы) и прочими способами. Социальная информация не является каким-либо особенным ее родом, формой, разновидностью. Социальная информация – это не качественная, а содержательная сторона различного рода сведений в отношении значимых общественных явлениях, фактах, событиях.

Любой человеческий труд немыслим без информации, информационных процессов и обмена информацией. Однако в управлении информации выступает и как предмет труда, и как форма управляющих воздействий, и как средство осуществления связи, и как продукт труда. Именно благодаря информационным процессам система способна осуществлять целесообразное взаимодействие с окружающей действительностью, координировать деятельность собственных структур, направлять их функционирование в должное русло, обеспечивать безопасность жизнедеятельности.

Непосредственно в процессе управления информация, как совокупность сведений в различной форме отображения (фиксации), преобразуется в статистику, чтобы посредством ее осмысления, анализа преобразовать в новую информацию, появляющуюся в форме управляемого решения. Если этот процесс рассматривать по отношению к контуру управления (субъект управления – воздействие – управляемый объект), то на «входе» для субъекта управления необходима всесторонняя информация, но представленная в систематизированном виде.

Избыток информации, либо ее бессистемность создают эффект «информационного шума», в котором сложно установить значимые явления в их взаимосвязи, необходимые для выбора эффективного и безопасного метода управления. Избыток информации также представляет собой опасную угрозу. Для осуществления процесса управления необходима система информации, под которой понимают совокупность различных данных о социально-правовых явлениях и процессах. На «выходе» контура управления информация преобразуется в форму, порождающую конкретные последствия. Она предназначена для регулирования определенных общественных отношений.

По каналам обратной связи поступает информация, как правило, в виде статистических данных – это сведения о состоянии функционирования объекта, а так же о существенных изменениях среды функционирования. Благодаря этой информации субъект управления определяет степень достижения цели, поставленной перед объектом управления в условиях внешней среды [5].

Весь рассмотренный информационный процесс подвержен различным угрозам. На одну из таких угроз внимание общественности было обращено разоблачениями Э. Сноудена. «Теперь всякий, кто садится за персональный компьютер, имеющий выход в Интернет, уже не догадывается, а точно знает, что каждый удар по клавишам клавиатуры, каждое движение «мышки» отслеживается и запоминается... И в этой реальности теперь предстоит жить каждому из нас» [6]. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности российских граждан от этой угрозы создаются кибервойска. Соответственно помимо терминов «информация», «информационное обеспечение» на повестку дня выходят также новые термины: «киберпространство», «киберпреступность», «кибервойна», «кибератаки», «кибертерроризм» и т.п.

В частности, «киберсфера» рассматривается в рамках информационной сферы. Тогда как сравнительно недавно информатика рассматривалась как одно из направлений кибернетики. Первоначально под информатикой понимали «науку, связанную, прежде всего, с научной или научно-технической информацией». Например, в «Энциклопедии кибернетики» (1974 г.) и в «Словаре по кибернетике» (1979 г.) информатика определяется как «научная дисциплина, изучающая структуру и общие свойства научной информации, а также закономерности всех процессов научной коммуникации» [7]. Попытки определить информатику и информацию как объект ее исследования делаются постоянно [7]. Так, например, академик А.П. Ершов утверждал, что информатика – это название фундаментальной естественной науки, изучающей процессы передачи и обработки информации [8].

«Термин «информатика» подобно термину «кибернетика» стал модным и даже вытесняет последний. Однако, несмотря на «бум информатики», все же не нужно отказываться от исторически оправданного термина «кибернетика», а к информатике следует подходить как к составной части кибернетического и социального феномена знания, как к современному этапу его развития» [9]. Такое мнение высказывалось философами в 1980-х гг.

Краткий анализ понятия информации и информатики, отражающей основное содержание информационного обеспечения безопасности жизнедеятельности, показывает, что они находятся в процессе становления.

Литература

1. Кабанов А.А. Закон сохранения информации // Правовая информатика: материалы выступлений на заседании 17 секции XX Междунар. конф. «Школьная информатика и проблемы устойчивого развития» в С.-Петербур. ун-те МВД России. СПб.: С.-Петербург. ун-т МВД России, 2001. С. 5–6.
2. Гаврилов О.А. Курс правовой информатики: учеб. М.: Норма, 2000. С. 1.
3. Об информации, информатизации и защите информации: Федер. закон Рос. Федерации от 20 февр. 1995 г. № 24-ФЗ. Ст. 2. (отменен Федер. законом Рос. Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ).
4. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: Федер. закон Рос. Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ. Ст. 2 // Рос. газ. 2006. 29 июля. Вып. № 165.
5. Матвеев А.В., Матвеев В.В. Концептуальные основы обеспечения национальной безопасности России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2014. № 1 (5). С. 3–20.
6. Информационная безопасность мультимедийных технологий / В.В. Александров [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 9. Т. 11. С. 4.
7. История информатики и философия информационной реальности: учеб. пособие / под ред. Р.М. Юсупова, В.П. Котенко. М.: Академический проект, 2007. С. 30–32.
8. Ершов А.П. Избранные труды / под ред. И.В. Попосини. Новосибирск: Наука, 1994.
9. Пушкин В.Г., Урсул А.Д. Информатика, кибернетика, интеллект: Философские очерки. Кишинев: Штиинца, 1989. С. 3.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гончар Игорь Иванович – гл. науч. сотр. ОАО «Авангард» (195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72), канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;

Заричняк Юрий Петрович – проф. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб нац. исслед. ун-та информ. технол., механики и оптики (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), тел. (812) 232-97-04, e-mail: od@mail.ifmo.ru, д-р физ.-мат. наук, проф.;

Иванов Василий Алексеевич – зав. лаб. ин-та физ.-техн. проблем Севера СО РАН (г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1), канд. техн. наук;

Кабанов Андрей Александрович – 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. юрид. наук, доц.;

Карташова Анна Петровна – доц. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: anna_kartashova@mail.ru, канд. физ.-мат. наук;

Кирик Екатерина Сергеевна – ст. науч. сотр. отдела инф.-телекомм. технол. ин-та вычислительного моделирования СО РАН (660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44), тел. 8 (391) 243-27-56, e-mail: kirik@icm.krasn.ru, канд. физ.-мат. наук;

Коморовский Витольд Станиславович – ст. науч. сотр. отд. инф. техн. и комп. моделир. Центра НИОКР Сиб. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50 А, стр. 2), тел. 8 (391) 249-47-28, e-mail: nio_cniokr@mail.ru, канд. техн. наук;

Кораблёв Владимир Антонович – доц. каф. комп. теплофиз. и энергофиз. мониторинга СПб нац. исслед. ун-та информ. технол., механики и оптики (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), тел. (812) 314-15-87, e-mail: ktf.grv@ifmo.ru, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;

Литвинцев Кирилл Юрьевич – науч. сотр. Красноярского филиала ФГБУ «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН» (Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 1), тел. (383) 330-70-50, e-mail: aleks@itp.nsc.ru, канд. техн. наук;

Максимов Александр Викторович – препод. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: he1nze@mail.ru;

Мартинович Николай Викторович – науч. сотр. отдела эксперимент. иссл. и опытно-констр. разработок Сиб. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), тел. 8 (391) 249-47-28, e-mail: ugps_cniokr@mail.ru;

Матвеев Александр Владимирович – 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, e-mail: fcvega_10@mail.ru, канд. техн. наук;

Мельник Антон Анатольевич – зам. нач. филиала СПб ун-та ГПС МЧС России по науч. работе – нач. Центра Сиб. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50А, стр. 2), тел. 8 (391) 249-47-28, e-mail: melnik-sib.centr@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Минкин Дмитрий Алексеевич – доц. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: mindim-spb@mail.ru, канд. техн. наук;

Некрасов Александр Сергеевич – препод. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, e-mail: nekrasov.as@igps.ru;

Подружкина Татьяна Александровна – нач. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, e-mail: pta@igps.ru, канд. пед. наук;

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.;

Терешков Валерий Ильич – зам. нач. территор. органа, гос. советник РФ 3 класса (660049, г. Красноярск, ул. Мира, д. 68), e-mail: sekretar@mchskrsk.ru;

Тихомиров Павел Юрьевич – нач. сектора ОАО «Авангард» (195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72), канд. техн. наук;

Трофимова Наталья Васильевна – вед. науч. сотр. науч.-исслед. отдела Центра НИОКР Сиб. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50А, стр. 2), тел.: 8 (913) 532-40-43, trofimovanv@yandex.ru;

Харlamов Егор Борисович – Красноярский филиал ФГБУ «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН» (630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 1), тел. (383) 330-70-50, e-mail: aleks@itp.nsc.ru;

Шарков Александр Васильевич – зав. каф. СПб нац. исслед. ун-та информ. технол., механики и оптики (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), тел. (812) 314-15-87, e-mail: ktf.grv@ifmo.ru, д-р техн. наук, проф.;

Якимов Вячеслав Анатольевич – зам. нач. отдела эксперимент. исслед. и опытно-констр. разработок Сиб. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), тел. 8 (391) 249-47-28, e-mail: ugps_cniokr@mail.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 впоследствии обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за более чем вековую историю подготовлено свыше 30 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспрецедентная 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, Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников первого учебного заведения пожарно-технического профиля.

Сегодня Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального 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 мировое научно-образовательное пространство. Подготовка специалистов в университете организована по очной и заочной формам обучения, а также с использованием дистанционных образовательных технологий. Проводится обучение по программам среднего, высшего профессионального образования, а также подготовка специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовка и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России. В целом в университете – 91 направление образовательных программ.

Начальник университета – Латышев Олег Михайлович, кандидат педагогических наук, профессор.

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, высшей математики, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска экстремальных и кризисных ситуаций, бюджетного учета и аудита в подразделениях МЧС России; пожарно-технические эксперты и дознаватели. Инновационными программами подготовки стало обучение по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для Военизованных горноспасательных частей по специальности «Горное дело», специализация «Технологическая безопасность и горноспасательное 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 2 академика РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 6 заслуженных деятелей науки РФ, 22 заслуженных работника высшей школы РФ, 2 заслуженных юриста РФ, заслуженные изобретатели РФ и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время в университете осуществляют 4 лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники, 84 доктора наук, 327 кандидатов наук, 91 профессор, 157 доцентов, 26 академиков отраслевых академий, 26 член-корреспондентов отраслевых академий, 7 старших научных сотрудников, 1 заслуженный деятель республики Дагестан, 4 почетных работника науки и техники РФ, 1 почетный работник высшей школы РФ и 1 почетный радиотехник РФ.

В 2012 г. решением ученого совета Почетным Президентом Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России избран статс-секретарь – заместитель министра МЧС России Артамонов Владимир Сергеевич, доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, эксперт Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ по проблемам управления, информатики и вычислительной техники, член экспертного совета Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки РФ для осуществления экспертизы аттестационных дел по присвоению ученых званий на соответствие требованиям, установленным Министерством образования и науки РФ, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, в 2012 г. награжден почетной грамотой Президента РФ.

В период с 2002 по 2012 гг. В.С. Артамонов возглавлял Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

В состав университета входят:

- Институт развития;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Сибирская пожарно-спасательная академия – филиал университета (г. Железногорск, Красноярский край);
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета;
- Мурманский филиал университета;
- три факультета: пожарной безопасности, экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Магадан, Махачкала, Полярные Зори (Мурманская область), Петрозаводск, Стрежевой (Томская область), Чехов (Московская область), Хабаровск, Сыктывкар, Бургас (Республика Болгария), Алматы (Республика Казахстан), Бар (Республика Черногория).

В университете созданы:

- административно-правовой центр;
- учебный центр;
- учебно-методический центр;
- центр организации научно-исследовательской и редакционной деятельности;
- центр информационных и коммуникационных технологий;
- центр международной деятельности и информационной политики;
- центр дистанционного обучения;
- центр по обучению кадетов;
- культурно-досуговый центр;
- технопарк науки и высоких технологий.

В университете по 31 направлению подготовки обучается более 8 тыс. человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 тыс. специалистов.

Реализуется проект по созданию на базе университета комплекса специального психофизиологического оборудования для психологического обеспечения деятельности профессиональных контингентов МЧС России.

На базе университета создана мастерская лаборатории «Инновационных технологий и научно-технической продукции».

В настоящее время в университете функционирует 4 диссертационных совета: 3 – по техническим наукам, 1 – по психолого-педагогическим наукам. За 2014 г. защищено 9 кандидатских диссертаций: 4 – по техническим наукам, 4 – по педагогическим; 1 – по психологическим.

В университете осуществляется подготовка специалистов высшей квалификации, в том числе и на возмездной основе. Подготовка докторантов, аспирантов и соискателей осуществляется по 9 отраслям науки и 34 специальностям.

На базе института дополнительного профессионального образования Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России создан институт развития. Деятельность института развития Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России направлена на обеспечение условий для реализации учебного процесса университета по программам дополнительного профессионального образования и актуализацию профессиональных знаний, совершенствование деловых качеств у руководящего состава, специалистов и сотрудников МЧС России. Институт осуществляет методическое, научное сопровождение и оказание помощи в организации образовательного процесса, повышении квалификации преподавательского состава учебных центров ФПС. Осуществляется оказание помощи ФКУ «Арктический спасательный учебно-научный центр «Вытегра» МЧС России в организации образовательного процесса и обеспечении учебно-методической литературой.

В настоящее время университетом проводится работа по организации образовательного процесса сотрудников (персонала) диспетчерской службы системы – 112.

Для обеспечения обучения в институте развития используются тематические классы, оборудованные программными модулями, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий.

Основанный в 1994 г., факультет заочного обучения в 2007 г. Приказом МЧС России № 387 преобразован в институт заочного и дистанционного обучения.

Институт заочного и дистанционного обучения является первым институтом в системе учебных заведений МЧС России с применением технологий дистанционного обучения.

Институт заочного дистанционного обучения является базовой площадкой по созданию и внедрению в МЧС России системы дистанционного обучения кадров по программам профессионального образования.

В целях повышения качества и дальнейшего развития инновационной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и производственной инфраструктуры университета с 1 марта 2014 г. в составе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России Приказом МЧС России от 25 октября 2013 г. № 683 создан научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности. Основными научными направлениями деятельности института являются: разработка новых и совершенствование существующих инструментальных методов и технических средств исследования и экспертизы пожаров; производство судебных пожарно-технических экспертиз и исследований в области экспертизы пожаров; научно-методическое руководство деятельностью судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы (СЭУ ФПС) «Испытательная пожарная лаборатория» (ИПЛ) в области исследования и экспертизы пожаров; применение расчетных методов в судебной пожарно-технической экспертизе; разработка нормативно-технической документации по обеспечению безопасности маломерных судов, баз, стоянок и других объектов, поднадзорных ГИМС МЧС России; разработка и внедрение нормативно-технической документации в области обеспечения пожарной безопасности водного

транспорта, портовых сооружений и их инфраструктуры; сертификационные испытания, апробирование методик по стандартам ISO, EN и резолюциям IMO; разработка нормативной базы по обеспечению пожарной безопасности метрополитенов и транспортных тоннелей, а также других сложных и уникальных объектов, проведение расчетов индивидуального пожарного риска. Институт активно использует научный потенциал Санкт-Петербурга, развивая связи с ведущими вузами и НИИ города, такими как СПбГТУ, СПбТУ, ФГУП РНЦ «Прикладная химия» и др. Сотрудники института являются членами бюро Северо-Западного отделения Научного Совета при Президиуме РАН по горению и взрыву. Потребителями и заказчиками продукции института являются органы МЧС России, юридические и физические лица Северо-Западного и других регионов России, фирмы США, Италии, Германии, Норвегии, Финляндии, Литвы и других стран.

Центр информационных и коммуникационных технологий университета обеспечивает надежную работоспособность, устойчивость и непрерывность функционирования средств автоматизации, функционирования программных и технических средств автоматизации в структурных подразделениях университета, а также доступ пользователей университета ГПС к различным информационным ресурсам в соответствии с установленным порядком; сохранность, антивирусную защиту, защиту от возможности проникновения из сети Интернет и резервного копирования информационных ресурсов университета; повышает качество образовательного процесса на основе активного освоения и распространения передового педагогического опыта с использованием стационарных и мобильных аудио-видео-компьютерных комплексов; проводит оснащение новых и модернизацию старых учебных аудиторий университета современными техническими средствами обучения; методическое обеспечение, консультацию и техническое сопровождение внедренных в подразделениях университета современных телевизионных и аудио-видео-компьютерных комплексов; создание и анализ банка данных по учебному процессу университета; осуществляет информационный обмен с банками данных других учреждений и организаций системы РСЧС.

Ежегодно в университете проводятся международные научно-практические конференции, семинары и «круглые столы» по широкому спектру теоретических и научно-прикладных проблем, в том числе по развитию системы предупреждения, ликвидации и снижения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, совершенствованию организации взаимодействия различных административных структур в условиях экстремальных ситуаций и др.

Среди них: Международная научно-практическая конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международный семинар «Предупреждение пожаров и организация надзорной деятельности», Международная научно-практическая конференция «Международный опыт подготовки специалистов пожарно-спасательных служб», Научно-практическая конференция «Совершенствование работы в области обеспечения безопасности людей на водных объектах при проведении поисковых и аварийно-спасательных работ», Международный конгресс «Вопросы создания и перспективы развития кадетского движения в МЧС России», межкафедральные семинары «Математическое моделирование процессов природных пожаров», «Информационное обеспечение безопасности при ЧС», «Актуальные проблемы отраслей науки», которые каждый год привлекают ведущих российских и зарубежных ученых и специалистов пожарно-спасательных подразделений.

На базе университета совместные научные конференции и совещания проводили Правительство Ленинградской области, Федеральная служба Российской Федерации по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ, Научно-технический совет МЧС России, Высшая аттестационная комиссия Министерства образования и науки Российской Федерации, Северо-Западный региональный центр МЧС России, Международная ассоциация пожарных и спасателей (CTIF), Законодательное собрание Ленинградской области.

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами. Традиционно большим интересом пользуется стенд университета на ежегодном Международном салоне «Комплексная безопасность», Международном форуме «Охрана и безопасность» SFITEХ.

Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России заключено более 16 договоров и соглашений о научно-техническом сотрудничестве в целях наиболее полного и эффективного использования интеллектуального и материально-технического потенциала, решения проблем, связанных с развитием сторон. Среди них: учреждение Российской академии наук – Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН (КНЦ СО РАН), ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», учреждение Российской академии наук – Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН (СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН), Петербургский энергетический институт повышения квалификации, Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, ГБУ науки «Институт динамики геосфер Российской академии наук».

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России на протяжении нескольких лет сотрудничает с Государственным Эрмитажем в области инновационных проектов по пожарной безопасности объектов культурного наследия.

При обучении специалистов в вузе широко используется передовой отечественный и зарубежный опыт. Университет поддерживает тесные связи с образовательными, научно-исследовательскими учреждениями и структурными подразделениями пожарно-спасательного профиля Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Великобритании, Германии, Казахстана, Канады, Китая, Кореи, Сербии, Черногории, Словакии, США, Украины, Финляндии, Франции, Эстонии и других государств.

Вуз является членом Международной ассоциации пожарных и спасательных служб (CTIF), объединяющей более 50 стран мира.

В рамках международной деятельности университет активно сотрудничает с международными организациями в области обеспечения безопасности.

В сотрудничестве с Международной организацией гражданской обороны (МОГО) Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России были организованы и проведены семинары для иностранных специалистов (из Молдовы, Нигерии, Армении, Судана, Иордании, Бахрейна, Азербайджана, Монголии и других стран) по экспертизе пожаров и по обеспечению безопасности на нефтяных объектах, по проектированию систем пожаротушения. Кроме того, сотрудники университета принимали участие в конференциях и семинарах, проводимых МОГО на территории других стран. В настоящее время разработаны 5 программ по техносферной безопасности на английском языке для представителей Международной организации гражданской обороны.

На базе университета проводятся международные мероприятия под эгидой CTIF (КТИФ): заседание Исполнительного комитета КТИФ, рабочих групп «Женщины за безопасность», «Обучение и подготовка», конференции.

Одним из ключевых направлений работы университета является участие в научном проекте Совета государств Балтийского моря (СГБМ). Университет принимал участие в проекте 14.3, а именно в направлении С – «Макрорегиональные сценарии рисков, анализ опасностей и пробелов в законодательстве» в качестве полноценного партнера. В настоящее время идет работа по созданию нового совместного проекта в рамках СГБМ.

Большая работа ведется по привлечению к обучению иностранных граждан. Открыты представительства в трех иностранных государствах (Болгария, Черногория, Казахстан). В настоящее время в университете обучаются более 200 граждан из 8 иностранных государств.

Заключены соглашения о сотрудничестве более чем с 20 иностранными учебными заведениями, в том числе Высшей технической школой профессионального обучения

г. Нови Сад и университетом г. Ниш (Сербия), Академией пожарной охраны г. Гамбурга (ФРГ), Колледжем пожарно-спасательной службы г. Куопио (Финляндия), Кокшетауским техническим институтом МЧС Республики Казахстан и многими другими.

В рамках научного сотрудничества с зарубежными вузами и научными центрами издается российско-сербский научно-аналитический журнал «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности». Университетом заключен договор с российско-сербским гуманитарным центром (г. Ниш). В сентябре 2014 г. в рамках сотрудничества в университете проведен семинар с представителями пожарно-спасательных служб Сербии по вопросам деятельности газодымозащитных служб.

В 2014 г. университетом проводился набор курсантов, обучавшихся в образовательных учреждениях пожарно-технического профиля Республики Украина, поступающих от Республики Крым и города Севастополь в количестве 11 человек по очной и 13 слушателей по заочной форме обучения.

В университете на основании межправительственных соглашений проводится обучение сотрудников МЧС Кыргызской Республики и Республики Казахстан.

За годы существования университет подготовил более 1 тыс. специалистов для пожарной охраны Афганистана, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Гвинеи-Бисау, Кореи, Кубы, Монголии, Йемена и других зарубежных стран.

Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, аспирантов и сотрудников.

Издается ежемесячный информационно-аналитический сборник центра международной деятельности и информационной политики, аналитические обзоры по пожарно-спасательной тематике. Переведен на английский язык и постоянно обновляется сайт университета.

Компьютерный парк университета составляет более 1,5 тыс. единиц, объединенных в локальную сеть. Компьютерные классы позволяют курсантам работать в международной компьютерной сети Интернет. С помощью сети Интернет обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса. Необходимая нормативно-правовая информация находится в базе данных компьютерных классов, обеспеченных полной версией программ «КонсультантПлюс», «Гарант», «Законодательство России», «Пожарная безопасность». Для информационного обеспечения образовательной деятельности в университете функционирует единая локальная сеть, осуществлено подключение к ведомственной сети Интранет МЧС России.

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. Фонд библиотеки университета составляет более 448 тыс. экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Фонды библиотеки имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис», осуществляется электронная книговыдача.

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 электронную библиотеку оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: филиал в г. Железногорске и библиотека учебно-спасательного центра «Вытегра», а также учебные центры. Имеется доступ к крупнейшим библиотекам нашей страны и мира (Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина, Российская национальная библиотека, Российская государственная библиотека, Библиотека академии

наук, Библиотека Конгресса). Заключен договор с ЭБС IPRbooks на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде.

В фонде библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8261 экземпляр. На 2014 г., в соответствии с требованиями ГОС, выписано 120 наименований журналов и газет, из них более 50 наименований – с грифом ВАК. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности, выписываются иностранные журналы.

На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Типографский комплекс университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и план издательской деятельности Министерства. Университет издает 7 собственных научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных конференций, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства РФ и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс. 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 периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук».

Учебная пожарная часть университета имеет 13 единиц современной техники, оснащенной необходимым оборудованием для доставки и проведения оперативных действий боевого расчета, проведения спасательных работ и подачи воды. Обучение курсантов и слушателей на образцах самой современной специальной техники и оборудования способствует повышению профессионального уровня выпускников.

Поликлиника университета оснащена современным оборудованием, что позволяет проводить комплексное обследование и лечение сотрудников учебного заведения и учащихся.

Все слушатели и курсанты университета проходят обучение по программам первоначальной подготовки спасателей и пожарных (для факультета экономики и права) с получением удостоверений. Обучение проходит на базе Учебно-спасательного центра «Вытегра» – филиала Северо-Западного регионального ПСО МЧС России; Центра подготовки спасателей Байкальского поисково-спасательного отряда МЧС России, расположенного в населенном пункте Никола вблизи озера Байкал; 40-го Российского центра подготовки спасателей; 179-го Спасательного центра в г. Ногинске; Центра подготовки спасателей «Красная Поляна» Южного регионального ПСО МЧС России.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. был создан центр по обучению кадетов.

Основные цели деятельности центра – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадетов, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

Центр осуществляет подготовку кадетов по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом специфики вуза.

В 2012–2014 гг. нештатные подразделения спасения университета, в состав которых входили сотрудники структурных подразделений, руководство и курсанты факультета пожарной безопасности, факультета экономики и права принимали участие в ликвидации последствий крупнейших природных чрезвычайных ситуаций в Краснодарском крае (г. Крымск), на Дальнем Востоке и Южном Урале.

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): 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, черлидингу 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 культурно-досуговом центре. Учащиеся университета принимают активное участие в играх КВН среди команд структурных подразделений МЧС России, ежегодных профессионально-творческих конкурсах «Мисс МЧС России», «Лучший клуб», «Лучший музей», конкурсе музыкального творчества пожарных и спасателей «Мелодии Чутких Сердец».

Деятельность творческих объединений университета организует и координирует культурно-досуговый центр.

Одной из задач Центра является совершенствования нравственно-патриотического и духовно-эстетического воспитания личного состава, обеспечение строгого соблюдения дисциплины и законности, укрепление корпоративного духа сотрудников, формирования гордости за принадлежность к Министерству и университету. Парадный расчет университета традиционно принимает участие в параде войск Санкт-Петербургского гарнизона, посвященном Дню Победы в Великой Отечественной войне. Слушатели и курсанты университета – постоянные участники торжественных и праздничных мероприятий, проводимых МЧС России, администрацией Санкт-Петербурга и Ленинградской области, приуроченных к государственным праздникам и историческим событиям.

В университете из числа курсантов и слушателей создано творческое объединение «Молодежный пресс-центр», осуществляющее выпуск корпоративного журнала университета «Первый». В 2014 г. курсанты «Молодежного пресс-центра» впервые прошли производственную практику в Управлении организации информирования населения МЧС России.

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 в редакцию журнала с *результатом* заместителя начальника университета по научной работе. 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. Грэждану П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого процесса: 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. 3503.

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.

Вниманию 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 ВПО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»**

Научно-аналитический журнал

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

№ 4 (12) – 2014

Выпускающий редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 29.12.2014. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. 10,25 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

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