

Удмуртское региональное отделение  
Общероссийской общественной организации  
“Российское научное общество анализа риска”

ФГБОУ ВПО “Удмуртский государственный университет”  
Учебно-научный институт природных и техногенных  
катастроф

# ***БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ***

*Выпуск 7*

Ижевск  
2011

УДК 351.86 (063)  
ББК 68.9 я 431  
Б 40

*Научный редактор:*

доктор технических наук, профессор, директор Института гражданской  
защиты УдГУ В. М. Колодкин.

Б 40 **Безопасность в техносфере:** сб.ст / науч.ред. В. М. Колодкин.  
Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2011. -197 с.

В статьях раскрывается содержание проблем безопасности в техносфере,  
Рассмотрены вопросы прогнозирования последствий аварий и риск- анализа,  
математического моделирования аварий и эффективности защиты в условиях ЧС.

Статьи дают системное представление о современных проблемах безопасности  
в техносфере и способах их решения.

УДК 351.86 (063)  
ББК 68.9 я 431

©Российское научное общество анализа риска, 2011  
©ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», 2011  
©Учебно-научный институт природных и техногенных катастроф, 2011

## Содержание

*Предисловие*.....6

### Часть I.

#### **Проблемно-ориентированный Ресурс «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>).**

*Колодкин В.М, Морозов О.А., Варламов Д.В., Яценко А.А.,  
Трошков А.С*

Оценка пожарных рисков в среде проблемно-  
ориентированного ресурса «Безопасность в техносфере»  
(<http://rintd.ru/>).....9

*Колодкин В.М.*

Ранжирование территорий по уровню пожарной  
защищенности зданий общеобразовательных учреждений..18

*Морозов О.А.*

Реализация отображения бизнес-процессов в программном  
комплексе анализа риска.....29

*Варламова Д.М.*

Программный комплекс «Частотный анализ  
пожарной безопасности общественных  
зданий».....35

*Варламов Д.В.*

Методика создания расчетных модулей для платформы  
Open PSI.....48

*Семакин И.В.*

Web-сервис для расчета платы за негативное воздействие на  
окружающую среду..... 65

<i>Ваитиев В.К.</i> Сервис «Прогноз последствий пожара пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей».....	69
<i>Ваитиев В.К.</i> Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей.....	72
<i>Максимова Е.В.</i> Система обучения по расчету пожарного риска и формирования Декларации пожарной безопасности в среде проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере».....	79

## **Часть II.**

### **Математическое моделирование аварийных процессов**

<i>Князев Г.П.</i> Сравнение и валидация моделей эвакуации.....	90
<i>Яценко А.А.</i> Модели поиска оптимального пути в здании в процессе эвакуации.....	103
<i>Кузнецов А.П.</i> Модели распространения атмосферных примесей для расчета рисков химических аварий.....	108
<i>Сивков А.М.</i> Сравнение интегральной и зонной моделей пожара.....	125
<i>Сорокина Д.С.</i> Тестирование программы создания пространственно- информационной модели здания.....	135
<i>Ушаков Д.Е.</i> Тестирование и верификации программного обеспечения.	138

## **Часть III.**

### **Теоретические аспекты безопасности жизнедеятельности в техносфере.**

<i>Варламова Д.М.</i> Анализ причин возникновения пожаров в общественных зда- ниях.....	146
<i>Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н., Тимашев С.А., Гурьев Е.С.</i> Анализ оценок взрывоопасности ТВС.....	151
<i>Макарова Л.Г., Ширококов С.В., Щепин П.А., Урванцева С.В.</i> Методика количественной оценки устойчивости объекта экономики в чрезвычайных ситуациях.....	155
<i>Кабакова А.В., Макарова Л.Г., Ширококов С.В., Щепин П.А.</i> Количественный анализ эффективности мероприятий по обеспечению надежности системы «спасатель – аварийно- спасательная техника».....	160
<i>Янников И.М.</i> Система принятия решений об изменении регламента биомониторинга потенциально опасных объектов.....	170
<i>Стахеев М.В.</i> Необходимость формирования компетенций в области управления рисками.....	181
<i>Перминов Н.А.</i> Этика технического специалиста как гарант техносферной бе- зопасности.....	186
<i>Мерзлякова Д.Р.</i> Повышение стрессоустойчивости как фактор безопасности жизнедеятельности на пожароопасных объектах.....	191

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В современном мире спектр стратегических рисков, требующих адекватного реагирования на государственном уровне, достаточно широк: от проблемы изношенности производственных фондов до угрозы новых форм технологического терроризма. Поэтому главной задачей при обеспечении безопасности населения становится способность своевременно предупреждать чрезвычайные ситуации и эффективно бороться с ними совместными усилиями государства и общества. Все более очевидна необходимость объединения научно-технического и производственного потенциалов в создании средств защиты, техники, оборудования и снаряжения для оснащения спасателей и пожарных.

Цели объединения усилий научного, технического и производственного потенциала Удмуртской Республики на решение проблем безопасности посвящена Всероссийская специализированная выставка «Комплексная безопасность-2011», которая обладает всеми ресурсами, направленными на внедрение в регионе новых, более эффективных систем обеспечения безопасности населения.

На выставке свои экспозиции предоставили государственные структуры Удмуртии, которые вносят значительный вклад в стратегию комплексной безопасности республики. Выставочный проект явился еще одной ступенью в создании базы для необходимого межведомственного взаимодействия, диалога региональных предприятий, которые впоследствии могут перерасти в конкретные целевые проекты и программы.

В рамках форума состоялся круглый стол «Пожарная безопасность общественных зданий», организованный Главным управлением МЧС России по УР и ведущими ВУЗами Удмуртии. Материалы круглого стола вошли в данный сборник.

Для Удмуртского государственного университета поиск путей, направленных на обеспечение комплексной безопасности региона, является одним из основных научных направлений.

**Часть I.**  
**Проблемно-ориентированный Ресурс**  
**“Безопасность в техносфере”**  
(<http://rintd.ru/>).



## **ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ В СРЕДЕ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РЕСУРСА “БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ” (<http://rintd.ru/>).**

*Колодкин В.М., Морозов О.А., Варламов Д.В., Яценко А.А.,  
Трошков А.С.*

Общепринятой характеристикой уровня пожарной безопасности общественных зданий в России является величина индивидуального пожарного риска. Сопоставительный анализ количественных значений оценок пожарного риска позволяет выделить здания с высоким уровнем пожарной опасности. Именно к этим объектам должны, в первую очередь, применяться меры по уменьшению пожарной опасности. Динамика изменения количественных оценок риска позволяет проверить эффективность мер и, при необходимости, откорректировать меры, направленные на снижение ущерба от пожаров в общественных зданиях. Количественная оценка пожарного риска обеспечивает условия для ранжирования зданий по уровню пожарной опасности, позволяет определиться с путями снижения уровня опасности с учетом существующих финансовых ограничений. Ранжирование зданий по уровню пожарной опасности является необходимым условием для управления рисками, для применения организационных, экономических рычагов по снижению рисков.

Проблема заключается в том, что прогнозирование уровня пожарной опасности должно быть выполнено с согласованной точностью для всех общественных зданий в пределах территориального образования. Вместе с тем, требуемая точность прогнозирования последствий пожара, разнообразие внутреннего строения общественных зданий и прочие причины, предопределяет использование сложных математических моделей. Проблема усугубляется тем, что с ростом требований по сложности моделей, возрастают требования к вычислительным ресурсам. Поэтому разнообразие задач и требований по точности решений приводят к

разнообразию программных средств. В результате, программные комплексы для решения практически значимых задач в области прогнозирования последствий пожара становятся малодоступны для специалистов в области пожарной безопасности.

Отмеченное противоречие между сложностью математических моделей, с одной стороны, и необходимостью исследования уровня пожарной опасности для огромного количества зданий, с другой стороны, может быть преодолено на базе интеграции математической теории безопасности с современными информационными технологиями. Цель интеграции – обеспечить доступ к математическим моделям прогнозирования последствий пожаров и соответствующим программным продуктам, широкому кругу Пользователей (представителям экспертных, страховых организаций, представителям собственников зданий и т.д.). Интеграция позволит предоставить конечному Пользователю инструментарий для прогнозирования уровня пожарной опасности зданий; для выявления общественных зданий с недостаточной пожарной защищенностью; для выявления экономически обоснованных мероприятий по снижению ущерба при пожарах. Путь интеграции лежит через создание (развитие) проблемно-ориентированного Ресурса [1] на базе открытой аппаратно-независимой тиражируемой программной платформы.

Остановимся еще раз на принципах, положенных в основу разработки открытой платформы для предоставления услуг OpenPSI[2]. Это принципы: проектности, использование представления о работе с платформой как о наборе бизнес-процессов, предоставление услуг расчета риска в виде сетевой среды управления контентом на основе технологии web 2.0, принципиальная гибкость выбора вычислительных методов на основе модели открытого программного обеспечения, высокая масштабируемость для целей массового обслуживания, применение решений на всех уровнях для возможно более быстрого исправления ошибок, оперативное изменение методик расчетов.

Модель взаимодействия человека-эксперта с платформой основывается на понятиях проекта и бизнес-процесса. То есть все действия производятся в рамках некоторой последовательности работ по проекту, которая и отражается в виде бизнес-процесса разработчиками. Например, создание декларации пожарной безопасности — это простой проект. Для пользователя такой бизнес-процесс отражается в виде кнопки в рабочем кабинете с пометкой «Создать декларацию пожарной безопасности». Метафора «рабочего кабинета» позволяет свести воедино как все возможные действия пользователя, так и все его задачи в рамках уже выполняющихся проектов. Это, в свою очередь, позволяет обойтись без применения многочисленных меню и длинных пояснений, не теряя при этом ни многообразия действий, ни полноты контроля пользователя за процессами.

Рабочий кабинет является частью портала предоставления услуг. Портал построен на основе технологии web 2.0 и предоставляет множество современных услуг, которые в комплексе позволяют более эффективно работать именно сообществу экспертов и разработчиков. Так, для организации социальной коммуникации портал предоставляет и вики и форумы, возможности мгновенной передачи сообщений присутствующим в данный момент пользователям, а также персональные страницы — публичные и частные. Именно поэтому становится возможным не в ущерб основной деятельности — выполнению проектов — включаться в деятельность по обмену опытом, быстрейшему выявлению и устранению ошибок.

Дополнительно, такой подход позволяет представить единообразным способом работу и по созданию декларации и по разработке паспорта безопасности объекта и многие другие задачи анализа риска, пополнять и дополнять их, что не требует переучивания пользователя каждый раз. Проблемно-ориентированный Ресурс в настоящее время доступен в сети Интернет по адресу <http://rintd.ru/>. По функциональному назначению Ресурс подразделяется на отдельные Сервисы.

Каждый Сервис Ресурса включает три взаимосвязанные составляющие: проектирующую, информационную и обучающую. Математическое обеспечение проектирующей компоненты Сервиса прогнозирования последствий пожара в общественном здании поддерживает процессы:

- Прогнозирования частоты возникновения пожара в общественном здании;
- Создания пространственно-информационной модели здания;
- Моделирования распространения пожара в здании (интегральная, зонная-CFAST [3] и полевая - FDS модели[4]);
- Моделирования эвакуации людей из здания в условиях пожара (модель индивидуально-поточного движения, модели, основанные на агентном подходе);
- Расчета оценок уровня пожарной опасности;
- Поиска минимума функционала времени эвакуации на пространстве доступных путей эвакуации.

Процессы прогнозирования поддержаны базой данных по свойствам строительных материалов здания, определяющих величину пожарной нагрузки. В результате обработки введенной Пользователем информации Интернет-Ресурс формирует набор количественных характеристик уровня пожарной опасности. При этом последовательно моделируются все возможные варианты возникновения пожара, оцениваются последствия пожара (моделируется процесс эвакуации в условиях заданного сценария) и выбирается наиболее неблагоприятный вариант с точки зрения последствий. Траектория движения каждого человека при пожаре определяется из условия минимального интервала времени на эвакуацию всех людей из здания в условиях пожара. Траектория движения человека переопределяется, если на каком-либо участке эвакуации опасные факторы пожара достигают своих критических значений. Для формирования траектории эвакуации используется ненаправленный граф, который в автоматическом режиме строится по структуре, отражающей пространственное расположение помещений в здании.

Продемонстрируем методы оценки уровня пожарной безопасности общественных зданий на примере школьных зданий. Расчеты проводились в отношении ~ 120 школьных зданий, расположенных в пределах субъекта Российской Федерации. Расчеты и генерация соответствующих документов в рамках Сервиса осуществляется через упомянутый выше механизм «личных кабинетов». Функциональное наполнение страницы зависит от роли Пользователя. В качестве примера, приведем функциональное наполнение для ролей «учебное заведение» и «администратор учебных заведений».

Для роли «учебное заведение» доступен функционал расчета пожарного риска и формирования соответствующих документов (декларация пожарной безопасности, расчетно-пояснительная записка). Работа в рамках сервиса «Декларация ПБ» для данной роли сводится к следующей последовательности действий:

- Представление в систему данных по объекту, для которого будут формироваться документы. Данные по объекту включают: поэтажный план здания с размерами и типами помещений (тип характеризует свойства помещения, с точки зрения пожарной безопасности), возможное количество людей в каждом из помещений и в здании в целом. Для ввода в систему поэтажных планов используется специальная программа - редактор, которую можно «скачать» с официального сайта портала «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/declaration>). Ввод данных осуществляется для каждого этажа путем векторизации планов (оцифровка с растровых изображений). Информация по зданию сохраняется на компьютере Пользователя. Допускается ее редактирование. Данные по зданию экспортируются программой редактора в файл специального формата.

- Информация по зданию передается на сервер для расчета и генерации декларации и расчетно-пояснительной записки. С точки зрения Пользователя данный этап работы заключается в указании имени файла, содержащего информацию по зданию, и подачи команды «Загрузить».

- Сгенерированные документы доступны для «скачивания» с персонализированной страницы ресурса.

Отметим, что процедура расчета пожарного риска и формирования декларации пожарной безопасности поддержана обучающей системой, которая доступна в рамках Ресурса через раздел «Обучение» ([http://rintd.ru/form\\_decl](http://rintd.ru/form_decl)).

Для роли «администратор учебных заведений» доступен функционал анализа обобщенных результатов по оценке пожарных рисков зданий образовательных учреждений. Для представления результатов расчетов используются два способа: табличный и картографический. На рисунках представлены примеры представления результатов расчетов, отсортированных по величине пожарного риска (рис.1) и по районам размещения школьных зданий (рис.2).

ОБЪЕКТ	РИСК	район
МОУ «СОШ № 25»	0.0003015576	Ижевск
МОУ СОШ №61	0.0001361373	Ижевск
Средняя СОШ	0.0012526484	Сарапульский район
МОУ Краснотурская гимназия	0.0012461901	Красногорский район
МОУ СОШ №4	0.0015002102	Глазов
МОУ СОШ №54	0.0015001802	Ижевск
МОУ СОШ №67. Учебный корпус №2.	0.0015474931	Ижевск

**Рис. 1.** Фрагмент таблицы с результатами расчетов пожарного риска по объектам.

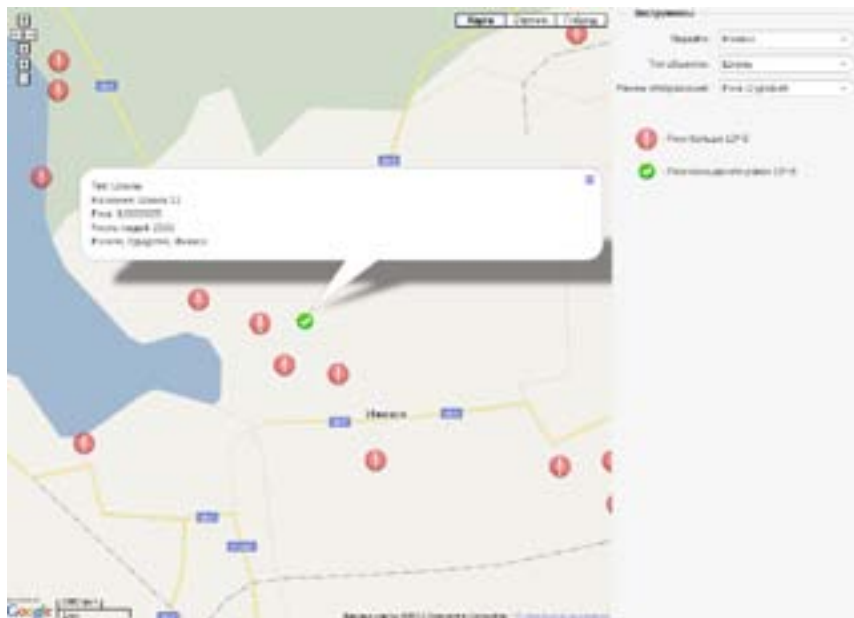
РАЙОН	РИСК	ОБУЧАЮЩИЕСЯ
Алнашский район	0.0001244288	523
Балезинский район	0.0003794155	1445
Вавожский район	0.0000031612	213
Воткинский район	0.0000003283	783
Глазовский район	0.0000003223	178
Граховский район	0.0000001636	334

**Рис. 2.** Фрагмент таблицы с результатами расчетов пожарного риска по районам.



В картографическом виде результатов расчетов пожарного риска по объектам представлены в виде условных обозначений, нанесенных на карту местности (рис. 3). Карта формируется в автоматическом режиме и предоставляет следующие возможности для анализа:

1. Навигация в режиме схемы или в режиме снимков со спутников;
2. Навигация по заранее определенным закладкам;
3. Отображение на карте всех объектов или только определенного типа;
4. Визуализация различных расчетных данных (величина риска, количество реципиентов риска и т.д.) средствами условных обозначений (цветом, текстом);
5. Отображение расчетных данных для объекта на “сноске”.



**Рис. 3.** Картографическое представление результатов расчетов пожарного риска в зданиях школ.

Картографическое представление результатов расчетов построено на платформе «Карты Google»[5]. Пользователь имеет возможность “скачать” картографическую информацию любого района земного шара в различных видах (спутниковые снимки, схемы, карты высот и т.д.). Для отображения результатов расчетов по объекту на карте осуществляется “привязка” к определенной точке. “Привязка” осуществляется путем указания географических координат объекта в системе WGS84[6].

Подводя итог всему вышесказанному можно утверждать, что данный подход является инновационным в данной области и не имеет аналогов. Выделим ряд преимуществ:

1. Производить расчеты и вносить изменения можно незамедлительно;
2. Порог вхождения в разработки документов минимален;
3. Не требуется установка отдельного программного обеспечения, с которым всегда возникают проблемы;
4. Для работы необходимы две составляющие: подключение к интернету и Интернет – обозреватель;
5. Кроссплатформенность, не требуется установления определенного вида Операционной системы;
6. Не требуется техническая поддержка функционирования системы;
7. Все данные, необходимые для расчетов, сохраняются на Сервере, поэтому всегда можно сравнить полученные результаты с входными данными;
8. Процесс разработки можно приостановить в любой момент и в любой момент его продолжить.

Таким образом, один из возможных подходов к решению проблемы снижения ущерба от пожаров в общественных зданиях России, проходит через развитие и применение в повседневной практике проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>).

Ресурс может составить техническую основу системы оценки пожарных рисков в пределах территории Российской Федерации.

Сервисы, входящие в Ресурс, ориентированы как на решение конкретных практических задач, так и на применение в рамках сложных методик. Сервисы строятся на основе открытой аппаратно-независимой программной платформы, допускающей расширение банка алгоритмов и программ, расширения вычислительной сети и обеспечивающей дистанционный доступ к проектирующим и обучающим компонентам Сервиса, посредством сети Интернет.

Работа выполнена в рамках гранта АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» «Паспорт безопасности образовательного учреждения как основа управления рисками в образовательных учреждениях России».

### Список литературы

1. Колодкин В.М. Интернет Ресурс поддержки расчетов пожарных рисков для общественных зданий // Материалы Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Производство. Технология. Экология» науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск: Удмурт. ун-т, 2010, с 11-19.

2. Морозов О.А. Открытая платформа интеграции сервисов “Безопасность в техносфере” // Материалы Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Производство. Технология. Экология» науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск: Удмурт. ун-т, 2010.

3. Fire Growth and Smoke Transport Modeling with CFAST ( <http://cfast.nist.gov/> )

4. <http://fire.nist.gov/fds/>

5. <http://code.google.com/intl/ru-RU/apis/maps/index.html>

6. [http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350\\_2.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html)

## РАНЖИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО УРОВНЮ ПОЖАРНОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЗДАНИЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

*В.М.Колодкин*

Одной из характеристик уровня пожарной защищенности зданий общеобразовательных учреждений является величина индивидуального пожарного риска. Сопоставительный анализ количественных значений оценок пожарного риска позволяет выделить здания общеобразовательных учреждений с высоким уровнем пожарной опасности. Именно к этим объектам должны в первую очередь применяться меры для уменьшения пожарной опасности. Динамика изменения количественных оценок риска позволяет проверить эффективность мер и, при необходимости, откорректировать меры, направленные на снижение ущербов от пожаров в общеобразовательных учреждениях. Количественная оценка пожарного риска, обеспечивая условия для ранжирования зданий по уровню пожарной защищенности, позволяет определиться с путями снижения уровня пожарной опасности с учетом существующих финансовых ограничений. Ранжирование зданий в зависимости от величины пожарного риска является необходимым условием для управления рисками, для применения организационных, экономических рычагов с целью увеличения пожарной защищенности зданий.

Оценке величины индивидуального пожарного риска, в настоящее время, посвящено большое количество работ, например [1,2]. Целью данной работы является ранжирование территорий по уровню пожарной защищенности зданий общеобразовательных учреждений, размещенных в пределах территориального образования. Ранжирование территорий способствует корректному распределению ограниченных финансовых ресурсов, распределяемых между территориями для обеспечения пожарной безопасности.

Для конкретизации рассмотрено ранжирование районов

Удмуртской республики по уровню пожарной защищенности школьных зданий. В настоящее время в Удмуртской Республике ~ 600 общеобразовательных учреждений. Для целей данной работы выборка общеобразовательных учреждений включала ~ 160 учреждений. Эти учреждения расположены на территориях ~ 25 районов, которые сравнивались между собой по уровню пожарной защищенности зданий общеобразовательных учреждений.

Величины пожарного риска для зданий общеобразовательных учреждений, расположенных в пределах района, рассматриваются как значения случайной функции. Ранжирование районов проводилось на основе средних по районам значений индивидуального пожарного риска  $\bar{Q}_B$  (выборочное среднее). На первом этапе для каждого района рассчитывались значения выборочного среднего и выборочной дисперсии  $s^2$  -

$$\bar{Q}_A = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}, \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot N_i - \bar{Q}_i \cdot \bar{N})^2 \quad (1)$$

где  $\bar{N} = \sum_{i=1}^n N_i / n$ ,  $Q_i$  - величина индивидуального пожарного риска для  $i$ -го здания общеобразовательного учреждения, в расчете на одного человека;

$N_i$  - число людей в здании  $i$ ;

$n$  - количество зданий в пределах района.

На втором этапе отсеивались значения индивидуального пожарного риска, значения которых не укладывались в интервал  $\pm 3 \cdot s$ . По множеству значений индивидуального пожарного риска, отвечающих условию  $|Q_i \cdot N_i - Q_k \cdot N| \leq 3 \cdot s$ , определялось среднее по району значение индивидуального пожарного риска, которое и использовалось в процедуре ранжирования районов территориального образования по уровню пожарной защищенности зданий общеобразовательных учреждений.

Процедура отсеивания значений индивидуального пожарного риска позволяет исключить из рассмотрения здания общеобразовательных учреждений, при формировании пространственно-информационных моделей которых, были допущены существенные ошибки.

Величина индивидуального пожарного риска для здания  $Q_B$  может быть определена соотношением [3] -

$$Q_B = Q_n \cdot (1 - R_{ан}) \cdot P_{пр} \cdot (1 - P_э) \cdot (1 - P_{ПЗ}) \quad (2)$$

где  $Q_n$  - частота возникновения пожара в здании в течение года;

$R_{ан}$  - вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения;

$P_{пр}$  - вероятность присутствия людей в здании;

$P_э$  - вероятность эвакуации людей;

$P_{ПЗ}$  - вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты.

Вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты РПЗ в соответствии с [3] -

$$P_{ПЗ} = 1 - (1 - R_{обн} \cdot R_{СОУЭ}) \cdot (1 - R_{обн} \cdot R_{ПДЗ}), \quad (3)$$

или в соответствии с уточнением [4]:

$$P_{ПЗ} = R_{обн} \cdot [1 - (1 - R_{СОУЭ}) \cdot (1 - R_{ПДЗ})], \quad (4)$$

В этих выражениях:

$R_{обн}$  - вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации;

$R_{СОУЭ}$  - условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией, в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации;

$R_{ПДЗ}$  - условная вероятность эффективного срабатывания системы противодымной защиты в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Для зданий общеобразовательных учреждений, в соответствии с рекомендациями [3], положим:

$R_{ан} = 0.9$  при наличии в здании системы автоматического пожаротушения и  $R_{ан} = 0$  в противном случае;

$$R_{\text{обн}} = 0.8;$$

$$R_{\text{СОУЭ}} = 0.8;$$

$$P_{\text{ПДЗ}} = 0.8.$$

Положим, что вероятность присутствия людей в зданиях общеобразовательных учреждений -  $P_{\text{пр}} = 0.42$ .

Средняя по России частота возникновения пожара в здании общеобразовательного учреждения в течение года [3] -  $Q_n = 4.16 \cdot 10^{-5} \cdot N$ , где  $N$  – количество учащихся в учреждении. Для учета имманентных свойств зданий, воспользуемся разложением функции  $Q_n$  в ряд по параметрам, характеризующим свойства здания с точки зрения пожарной защищенности:

- огнестойкость здания (средняя по зданию огнестойкость конструктивных элементов здания),  $\mu_1$ ;

- износ оборудования здания, влияющего на пожарную защищенность (износ электропроводки, отопительного оборудования),  $\mu_2$ ;

- климатические факторы,  $\mu_3$ .

Факторы, характеризующие пожарную защищенность здания и учитывающиеся в выражении для величины пожарного риска (2), в разложении функции  $Q_n$  не рассматриваются. Также можно пренебречь влиянием климатических факторов  $\mu_3$  на частоту  $Q_n$ , если территориальное образование не выходит за границы одной климатической зоны. Если  $\langle Q_n \rangle$  - оценка математического ожидания частоты возникновения пожара в здании в расчете на одного человека в течение года, а  $\mu_i$  – факторы, влияющие на частоту, то, раскладывая  $Q_n(\mu_i)$  в ряд относительно точки математического ожидания факторов и ограничиваясь первыми членами разложения, имеем -

$$Q_n = Q_n(\langle \mu_1 \rangle, \langle \mu_2 \rangle, \dots, \langle \mu_n \rangle) + \sum_{i=1}^n \beta_i \left( \frac{\mu_i}{\langle \mu_i \rangle} - 1 \right) \quad \beta_i = \frac{\partial Q_n}{\partial \mu_i} \cdot \langle \mu_i \rangle. \quad (5)$$

В этих выражениях:  $\langle \mu_i \rangle$  - математическое ожидание значения  $i$ -ого фактора ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $Q_n(\langle \mu_1 \rangle, \langle \mu_2 \rangle, \dots, \langle \mu_n \rangle)$  - значение частоты в точке математического ожидания значений факторов, которое можно аппроксимировать

значением  $\langle Q_n \rangle$ . В первом приближении значение частоты варьируется в пределах  $K$  при максимальной вариации значений факторов. Производная, входящая в выражение, приближается выражением -

$$\frac{\partial Q_n}{\partial \mu_i} = \frac{K \cdot \langle Q_n \rangle}{n \cdot (\mu_{\text{max}} - \mu_{\text{min}})} \quad (6)$$

Для каждой характеристики разработаны алгоритмы их количественной оценки [5]. Выбрана шкала изменения основных факторов, влияющих на частоту возникновения пожара так, чтобы значения факторов  $\mu_i$  изменялись от 0 до 1, то есть  $\mu_{\text{max}} = 1$ ,  $\mu_{\text{min}} = 0$ . Численное значение параметра  $K$  принимается равным 0.1. Соотношения (5) - (6) позволяют уточнить значение частоты возникновения пожара в здании в течение года  $Q_n$  в зависимости от свойств здания. Для зданий общеобразовательных учреждений, расположенных в пределах территории Удмуртской Республики, результаты уточненных расчетов частоты возникновения пожара, представлены в работе [5]. Уточненные значения частот возникновения пожара были использованы в расчетах величин пожарного риска.

При оценке вероятности эвакуации  $P_e$  может быть использован подход, основанный на сопоставлении временных интервалов: расчетное время эвакуации людей  $t_p$ , интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации  $t_{\text{нэ}}$ , время блокирования путей эвакуации  $t_{\text{ол}}$  [3,4]. Указанный подход определен нормативными документами, в частности [3]. Вместе с тем, данный подход имеет ряд недостатков [6]. Поэтому при ранжировании зданий по уровню пожарной безопасности, в данной работе было использовано «частотное» определение вероятности эвакуации людей при пожаре. По определению, индивидуальный пожарный риск – вероятность гибели человека при воздействии на него опасных факторов пожара. Вероятность эвакуации людей  $P_e$  может быть определена через вероятность выхода человека из здания.

Для определения вероятности эвакуации  $P_e$  рассмотрим функцию  $x(t)$  - количество людей, вышедших из здания при пожаре к моменту времени  $t$ .  $x(t)$  - ограниченная сверху, кусочно-непрерывная функция, увеличивающая свои значения в моменты времени выхода очередного человека из здания (процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем). Свойства функции:  $x(t=0)=0$ ;  $x(t) \leq N_0$ , где  $N_0$  - количество людей в здании при  $t=0$ . Значения функции  $x(t)$  зависят от многих случайных факторов: сценарий пожара, распределение людей по зданию, распределение пожарной нагрузки и т.д. Функция  $x(t)$  является одной из возможных реализаций случайного процесса  $X(t) = \varphi(t, \omega)$ ,  $\omega \in \Omega$  ( $\Omega$  - пространство элементарных событий). В сечении случайного процесса  $X(t=t^*)$ , имеем совокупность случайных величин  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i, \dots, \xi_m$ .  $\xi_i$  - количество людей вышедших из здания к моменту времени  $t^*$  в условиях реализации  $i$ -го элементарного события. Распределение случайных величин в произвольном сечении случайного процесса характеризуется математическим ожиданием  $M[X(t)] = m_\xi(t)$ . Случайный процесс  $X(t)$  при  $t \geq t^0$  обращается в стационарный, если вариация математического ожидания случайного процесса, обращается в ноль -  $\delta M[X(t \geq t^0)] = 0$ .

При этом  $\xi_1(t^0)/N_0, \xi_2(t^0)/N_0, \dots, \xi_i(t^0)/N_0, \dots, \xi_n(t^0)/N_0$  - относительное количество людей, вышедших из здания при пожаре, в условиях реализации соответствующего аварийного сценария. Относительная доля числа людей, вышедших из здания при пожаре, случайным образом принимает значение в интервале от нуля до единицы. Под вероятностью эвакуации людей  $P_e$  будем понимать нормированное значение математического ожидания случайного стационарного процесса -  $P_e = \frac{1}{N_0} M[X(t \geq t^0)]$ . (7)

Пространство элементарных событий  $\Omega$ , порождающих реализацию случайного процесса, в общем случае, бесконечно. Действительно, элементарные события различаются распределением людей по зданию,

местом возникновения пожара в здании и т.д.

Моделирование пожара основано на идеализации тепломассообмена в условиях экзотермической реакции окисления. Состояние среды при пожаре описывается набором характеристик (количество горючего, количество окислителя, скорость компонентов газовой среды и т.д.). Если характеристики среды усредняются по помещению, приходим к интегральной модели [7], если усредняются по элементарному объему - приходим к полевой модели. В частности, двух зонная модель - усреднение характеристик среды по двум зонам в помещении, разделенном горизонтальной плоскостью. Двух зонная модель пожара реализована, в частности, в программном комплексе CFAST [8]. Моделирование пожара в зданиях, внутреннее строение которых не может быть сведено к системе помещений с простой конфигурацией, основано на использовании полевой модели. Полевая модель реализована, в частности, в программном комплексе FDS [9]. Программные комплексы CFAST и FDS - комплексы с открытым кодом и без ограничений на использование.

Результаты моделирования пожара представляются для каждого помещения здания в виде момента времени  $t_{бл}$ , отсчитываемого с момента возникновения пожара, при котором значение хотя бы одного из опасных факторов пожара, достигает критического значения для жизни человека (время блокирования путей эвакуации [3]). Введем функцию доступности  $k$ -го помещения для человека  $\Psi_k$ . Функция  $\Psi_k$  изменяется в пределах от единицы (полная доступность) до нуля (полная недоступность). Для целей данной работы принималось, что функция  $\Psi_k$  скачком изменяется от единицы до нуля при достижении момента времени  $t_{бл}$ .

Предварительные результаты по сопоставлению времен блокирования путей эвакуации, полученных при моделировании пожара в зданиях с использованием различных типов моделей [6], показывают, что наиболее консервативная оценка времени, достигается при использовании интегральной модели пожара в здании.

Поэтому для целей данной работы использовалась интегральная модель пожара в здании, которая также отвечает ограничениям, накладываемым моделью.

Обращаясь к задаче моделирования эвакуации людей, отметим, что в России изучение и планирование процесса эвакуации людей прошло длительный путь. Начальное состояние работ было отражено в монографии С.В.Беляева [10]. Современное состояние работ, отражено в работах В.В.Холщевникова и Д.А.Самошина, в частности [11]. В нормативном документе [3] представлены три модели, которые описывают процесс эвакуации людей при пожарах из общественных зданий и сооружений. Математические модели частично реализованы в программных комплексах. Из российских программных комплексов моделирования процесса эвакуации можно выделить Ситис «Флоутек» и Ситис «Эватек» [12]. Процесс эвакуации в рамках комплекса Ситис «Флоутек» анализируется на основе упрощенной аналитической модели движения людского потока [3]. В основе моделирования эвакуации в рамках комплекса Ситис «Эватек» лежит математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания [3] (аналог программы Simulex [www.iesve.com](http://www.iesve.com) Эдинбургского университета). Указанные программные комплексы ориентированы исключительно на условия локального использования. Для целей данной работы для моделирования процесса эвакуации использовалась имитационно-стохастическая модель движения людских потоков [3, 11], программная реализация которой, предусмотрена в рамках проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://tintd.ru/>) [2].

Для каждого здания, размещенного в пределах территориального образования, рассчитывается величина индивидуального пожарного риска в соответствии с [2]. Вероятность эвакуации людей из здания при пожаре, рассчитывается на основе соотношения [7]. При этом для каждого здания создается пространственно-информационная модель.

В автоматическом режиме на основе модели здания строится граф связности помещений, который определяет пути эвакуации людей из каждого помещения здания. Граф связности помещений перестраивается по мере развития пожара и изменений функций доступности помещений для человека  $\Psi_k$ . При расчете вероятности эвакуации людей из здания, в соответствии с [7], рассматривается  $M$  случаев реализации случайного процесса. Элементарные события, порождающие случайный процесс, в данном случае различаются местом возникновения пожара и распределением людей по зданию. Место возникновения пожара в здании в каждом из  $M$  случаев определяется процедурой случайного выбора (монтекарловской процедурой). Распределение людей по зданию подчиняется условию нормировки -

$$N_0 = \int_S g(x, y) dx \cdot dy \quad (8)$$

где  $N_0$  – начальная плотность распределения людей по зданию, площадь которого  $S$ . При каждом испытании на функцию плотности распределения людей накладывается возмущение, так чтобы, наряду с условием (8) для каждого из помещений здания  $k$  выполнялось условие -

$$N_k \leq \int_{S_k} \check{g}(x, y) dx \cdot dy, \quad (9)$$

где  $N_k$  - предельное количество людей в помещении  $k$ ,  
 $S_k$  - площадь помещения.

Таким образом, при расчете вероятности эвакуации людей в условиях пожара для каждого из зданий, расположенных в пределах территориального образования, моделируются  $M$  аварийных сценариев.

Предварительно строится пространственно-информационная модель здания. Аварийные сценарии идентифицируются значениями случайных функций: место возникновения пожара; распределение людей по зданию в момент возникновения пожара. Для каждого аварийного сценария цикл моделирования включает: моделирование развития пожара за элементарный интервал времени,

корректировка функций доступности помещений для человека  $\Psi_k$ , построение графа связности помещений в здании, моделирование эвакуации людей из здания. Для каждого из  $M$  аварийных сценариев процесс моделирования продолжается до тех пор, пока случайная величина  $\xi_i$  ( количество людей вышедших из здания при реализации  $i$ -го сценария) не обратится в константу.

Расчеты значений индивидуального пожарного риска базировались на возможностях проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>) [2].

Ранжирование районов Удмуртской Республики проводилось на основании сопоставления выборочных средних по соотношениям (1).

Работа выполнена в рамках гранта АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» «Паспорт безопасности образовательного учреждения как основа управления рисками в образовательных учреждениях России».

### Список литературы

1. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Малых Д.М. Количественная оценка пожарного риска образовательных учреждений // Пожаровзрыво Безопасность №4 2010, с.4-7.

2. В.М.Колодкин, О.А.Морозов, Д.В.Варламов. Количественная оценка пожарного риска общественных зданий территориального образования //Проблемы анализа риска, том 8, № 3, 2011, с.50-56

3. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к Приказу МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 6.08.2009 № 14486).

4. Седов Д.В. Уточнение методики расчета индивидуального пожарного риска // Пожарная безопасность , №2, 2010, с 116-122

5. Варламова Д.М. Программный комплекс «Частотный анализ пожарной безопасности общественных зданий»

6. В.В.Холщевников, А.А.Самошин, И.Р.Белосохов и др. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // Пожаровзрывобезопасность , том 20, №3, 2011, с 41- 51.

7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

8. Fire Growth and Smoke Transport Modeling with CFAST ( <http://cfast.nist.gov/> )

9. Fire Dynamic Simulator – FDS (<http://fire.nist.gov/fds/> )

10. Беляев С.В. Эвакуация зданий массового назначения. Издательство Всесоюзной академии архитектуры. 1938 г.

11. В.В.Холщевников, Д.А.Самошин. Эвакуация и поведение людей при пожарах. Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2009, 210 с.

12. <http://www.sitis.ru/>

## РЕАЛИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ АНАЛИЗА РИСКА

*Морозов О.А.*

В статье рассмотрены проблемы работы с бизнес-процессами в программном комплексе анализа рисков.

Ключевые слова: бизнес-процесс, либернетика.

Данная статья продолжает серию публикаций по основам построения и функционирования платформы для интеграции сервисов OpenPSI, начатую в работах [1,2,3]. Как указывалось в [4], модель взаимодействия человека-эксперта с платформой основывается на понятиях проекта и бизнес-процесса. То есть все действия производятся в рамках некоторой последовательности работ по проекту, которая и отражается в виде бизнес-процесса разработчиками. Бизнес-процесс моделируется в платформе с применением понятия методика. В процессе разработки программного комплекса оказалось, что для описания и моделирования методик, да и некоторых методов наиболее подходит понятие бизнес-процесса, как он понимается в BPMN 2.0 [5]. На практике методика сводится к некоторой последовательности действий, которая может быть компактно представлена в виде графа процесса. Узлами графа служат либо сеансы взаимодействия с пользователем, либо некоторый блок автоматических действий, реализуемый отдельными процедурами.

Для представления бизнес-процессов в ПК был выбран фреймворк jBPM 3.2, который предоставляет аналогичный BPML [5] язык описания бизнес-процессов, как графический, так и в виде XML. Однако в отличие от существующих реализаций BPML здесь имеется уровень реализации бизнес-процесса. Библиотека времени исполнения реализует выполнение графа бизнес-процесса с автоматическим сохранением состояния в базе данных. Поэтому данный фреймворк наиболее адекватно подходил для реализации методик в ПК.

Осталась проблема организации взаимодействия с пользователем. В самом деле, создание бизнес-процесса подразумевает взгляд на его исполнение со стороны разработчика-программиста, невольно при этом считается, что пользователь не отрываясь будет взаимодействовать с программой. По такому принципу построены большинство известных нам сегодня программных продуктов. Так, например всем известный подход пошагового исполнения процесса инсталляции с применением технологии «wizard» является, по сути, реализацией бизнес-процесса, но пользователь не может его прервать - отчасти потому, что в нем не предусмотрено сохранение состояния (персистентность), отчасти из-за трудности реализации интерфейса такого типа.

Но в нашем случае дело осложняется тем, что не только один пользователь системы часто не в состоянии ожидать выполнения каких-либо долго вычисляемых узлов бизнес-процесса (например, расчет может занять длительное - до нескольких дней - время или вычислительный сервер может быть остановлен на профилактику), но и он может одновременно выполнять несколько таких процессов или быть вынужденным прерывать по некоторым внешним причинам (например, ожидание в течение длительного - несколько дней - времени ответа от организации) или даже, если в процесс вовлечено несколько участников, то при их работе несомненно возникают задержки с ответами или десинхронизация работы.

То есть, хотя применение бизнес-процессов удачно решает ряд проблем с реализацией методик и организацией работы, но оно должно быть дополнено такой реализацией отображения данного выполнения бизнес-процесса для пользователя, что решаются следующие задачи:

- выполняется свойство персистентности для любого шага процесса;

- пользователь может в любой момент отложить на неопределенное время выполнение любой задачи бизнес-процесса;



- нет необходимости ожидать вычисления любых шагов;
- пользователь постоянно информирован о ходе выполнения всех бизнес-процессов в такой форме, что для него скрыта вся ненужная и предоставлена необходимая информация.

Можно заметить, что первое требование (персистентности), распространенное с собственно самого бизнес-процесса еще и на интерфейс с пользователем, решает все вышеперечисленные задачи. С точки зрения либернетики [6,7] термин персистентность является степенью свободы системы; расширяя его применение на область интерфейса, мы тем самым повышаем связность пространства понятий для всей системы в целом, так что задачи разных ее частей начинают решаться одновременно. Так, персистентность уже выполнена для самого фреймворка, и распространение понятия на интерфейс приводит нас к решению в виде концепции “рабочего кабинета”.

Суть данной концепции заключается в том, что для пользователя будет представлено единое пространство (экран), состоящее из двух принципиально разных частей — части доступных действий и части задач. В первой части, доступных действий, первоначально всегда отображаются все доступные для пользователя бизнес-процессы (в зависимости от доступных для него ролей и прав доступа) в виде кнопок с названиями процессов. То есть это метафора возможных “что я могу начать делать?”. Нажав такую кнопку, пользователь тем самым запускает выполнение соответствующего бизнес-процесса, в ходе которого могут возникнуть задачи взаимодействия с пользователем, такие как запрос выбора, ввод данных, просмотр результатов и другие.

В схеме бизнес-процесса в jBPM они сгруппированы в блоки “task” под своими именами. Когда выполнение бизнес-процесса попадает в такой блок, процесс выполнения приостанавливается.

Теперь вернемся ко второй части экрана кабинета - в ней как раз и отображаются названия - имена блоков таких приостановленных процессов. Это делается в виде кнопок,

напоминающих список дел (todo), поэтому и имена блоков часто даются в виде глаголов, используя метафору “что делать?”. Нажатие такой кнопки приводит к смене экрана кабинета - мы входим в режим задачи. При этом в части действий отображаются все доступные дуги графа бизнес-процесса, ведущие от данного блока, а в части задач отображается поле взаимодействия с пользователем - это может быть и форма ввода, и отображение данных и многое другое. В текущей реализации для этого использован подход, когда отображается компонент библиотеки Vaadin.

Ниже на рисунках 1-3 приведены снимки экрана при работе с декларациями пожарной безопасности.



Рис. 1. Выполнение приостановленной задачи «Добавить новое здание».



Рис. 2. Выполнение задачи выбора из таблицы.



**Рис. 3.** Вид кабинета с доступными процессами и задачами.

Как оказывается, такая комбинация бизнес-процессов и их отображения позволяет, с одной стороны, упростить разработку логики и ее отображение в виде бизнес-процессов, с другой стороны, упростить и унифицировать разработку интерфейсов к ним.

Таким образом, полное распространение термина персистентность на область взаимодействия с пользователем позволило создать новый тип интерактивного отображения бизнес-процессов, в рамках которого могут быть решены задачи точного и релевантного отображения информации о состоянии бизнес-процессов, их запуска, мониторинга и прекращения. Кроме того, сокращается время для разработчика-программиста на реализацию интерфейса в стиле «wizard», а у пользователя нет необходимости выполнять шаги бизнес-процесса в жестких временных рамках.

Таким образом, благодаря применению либернетического подхода удалось создать инструмент отображения бизнес-процессов, представленный на языке jPDL (jBPM).

### Список литературы

1. Морозов О. А. Архитектура, методология создания и принципы работы сервера «Безопасность в техносфере» // Безопасность в техносфере : сб. статей / Удмурт. регион. отделение Общерос. обществ. орг. «Рос. науч. о-во анализа риска»,

ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Учеб.-науч. ин-т природ. и техноген. катастроф ; науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск : Удмурт. ун-т, 2010. - Вып. 6. - С. 35-42.

2. Морозов О. А. Открытая платформа интеграции сервисов «Безопасность в техносфере» // Производство. Технология. Экология : междунар. конф. с элементами науч. шк. для молодежи : материалы конф. и шк. / Гл. упр. МЧС РФ по УР, ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Ин-т исслед. природ. и техноген. катастроф. - Ижевск, 2010. - С. 20-24. - Библиогр.: с. 23-24 (7 назв.).

3. Проблемно-ориентированный сервис «Декларация пожарной безопасности общественных зданий и сооружений» // Безопасность в техносфере : сб. статей / Удмурт. регион. отделение Общерос. // обществ. орг. «Рос. науч. о-во анализа риска», ГОУВПО «Удмурт. Гос. // ун-т», Учеб.-науч. ин-т природ. и техноген. катастроф ; науч. ред.: В. М. // Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск : Удмурт. ун-т, 2010. - Вып. 6. - С. 11-21. - Библиогр.: с. 21 (7 назв.).

4. Варламов Д.В., Колодкин В.М., Морозов О.А. Количественная оценка пожарного риска общественных зданий территориального образования // Проблемы анализа риска, - Москва, 2011. - том 8, № 3. - С. 47-53.

5. <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/>

6. Бельтюков А. П. Конструктивные механизмы в ИТ-сфере // Вестник Удмуртского университета. Сер. Математика. Механика. Компьютерные науки. - 2009. - Вып. 2. - 102-109.- Библиогр.: с. 108-109 (5 назв.). - Ил.: 7 рис.

7. Бельтюков А. П. Либернетическая парадигма в ИТ-сфере // Технологии информатизации профессиональной деятельности [Электронный ресурс] : 2 всерос. науч. конф. С междунар. участием, Ижевск, 2008 / ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Фак. Информ. технологий и вычислит. техники. - Ижевск : БОН АНЦА, 2008. - Ч. 1. - 37-52. - Библиогр.: с. 51 (6 назв.).

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ»

Варламова Д.М.

Частотный анализ пожарной безопасности общественного здания позволяет определить как часто происходят пожары в общественных зданиях того или иного типа. В работе [1] представлены статистические значения частоты возникновения пожара, например, в образовательных учреждениях частота возникновения пожара равна  $4,16 \cdot 10^{-5}$  (в расчете на одного учащегося). Но данное значение не позволяет определить пожароопасность образовательного учреждения, так как здания отличаются рядом характеристик (огнестойкость, износ, район расположения и т.д.), которые в той или иной мере влияют на частоту возникновения пожара.

Таким образом, оценка частоты возникновения пожара в общественных зданиях является актуальной задачей. Для решения данной задачи были проанализированы основные причины пожаров в общественных зданиях и выделены следующие факторы, влияющие на частоту возникновения пожара:

- огнестойкость здания (под огнестойкостью понимают способность конструктивных элементов зданий сохранять прочность в условиях пожара),  $\mu_1$ ;

- износ здания (электропроводка, отопительное оборудование),  $\mu_2$ ;

- климатические факторы,  $\mu_3$ .

На основе данных факторов построена регрессионная модель. Если  $Q_n$  - оценка математического ожидания частоты возникновения пожара в здании в расчете на одного человека в течение года, а  $\mu_i$  - факторы, определяющие частоту, то, раскладывая  $Q_n(\mu_i)$  в ряд относительно точки математического ожидания факторов и ограничиваясь первыми членами разложения, то частота возникновения пожара равна

$$Q_n = Q_n(\langle \mu_i \rangle) + \sum_{i=1}^n \beta_i \left( \frac{\mu_i}{\langle \mu_i \rangle} - 1 \right) \quad \beta_i = \frac{\partial Q_n}{\partial \mu_i} \cdot \langle \mu_i \rangle. \quad (1)$$

В этих выражениях:  $\langle \mu_i \rangle$  - математическое ожидание значения  $i$ -ого фактора ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $Q_n(\langle \mu_i \rangle)$  - значение частоты в точке математического ожидания значений факторов, которое можно аппроксимировать значением  $\langle Q_n \rangle$ . Величина  $\langle Q_n \rangle$  определяется функциональным назначением здания. В первом приближении значение частоты варьируется в пределах  $K$  при максимальной вариации значений факторов. Производная, входящая в выражение для  $\beta_i$ , приближается выражением -

$$\frac{\partial Q_n}{\partial \mu_i} = \frac{K \cdot \langle Q_n \rangle}{n \cdot (\mu_{\max} - \mu_{\min})} \quad (2)$$

Для каждой характеристики разработаны алгоритмы их количественной оценки. Выбрана шкала изменения основных факторов, влияющих на частоту возникновения пожара так, чтобы значения факторов  $\mu_i$  изменялись от 0 до 1, то есть Количественные значения факторов оценивались с помощью индексного (балльного) метода [2].

Математическое ожидание значения  $i$ -ого фактора определяется по формуле:

$$\langle \mu_i \rangle = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_j}{N - 1}$$

где  $i$  - факторы, влияющие на частоту возникновения пожара;  $N$  - число общественных зданий, шт.;

$\mu_{ij}$  - числовые значения факторов, влияющих на частоту возникновения пожара, в общественном здании  $j$ .

По огнестойкости ( $\mu_1$ ) строительные конструкции здания делят на пять степеней. Группы возгораемости и минимальные пределы огнестойкости основных строительных конструкций устанавливаются по СНиП 2.01.02-85\* [3].

В соответствии с группами определены количественные значения, влияющие на уровень пожарной безопасности (табл. 1).

**Таблица 1.** Количественные значения групп огнестойкости основных строительных конструкций

Огнестойкость основных строительных конструкций	Типы зданий	Количественное значение фактора $\mu_1$
I	1) Каркасные, с железобетонным или металлическим каркасом, с заполнением каркаса каменными материалами.	0,1
	2) Здания особо капитальные, с каменными стенами из штучных камней или крупноблочные; колонны и столбы – железобетонные или кирпичные; перекрытия – железобетонные или каменные своды по металлическим балкам.	0,2
	3) С каменными стенами из штучных камней или крупноблочные; колонны и столбы – железобетонные или кирпичные; перекрытия – железобетонные или каменные своды по металлическим балкам.	0,3
II	Со стенами облегченной (каменной) кладки; колонны или столбы – железобетонные; перекрытия – деревянные.	0,4
III	Со стенами облегченной (каменной) кладки; колонны или столбы – кирпичные или деревянные; перекрытия – деревянные.	0,5
IV	1) Деревянные, с бревенчатыми или брусчатыми рубленными стенами.	0,6
	2) Деревянные, каркасные, щитовые.	0,7
V	1) Камышитовые или прочие облегченные здания.	0,8
	2) Палатки, павильоны, ларьки и другие облегченные здания торговых организаций	0,9

Характеристика фактора  $\mu_1$  определяется на основе нормативного документа [3].

Степень износа электропроводки, отопительного оборудования, встроенного в здание,

$\mu_2$ , определяется на основе износа здания путем соотношения срока службы здания ( $T_z$ ) на нормативный срок службы ( $T_n$ ) [4]:

$$\mu_2 = \frac{T_z}{T_n}$$

В качестве климатического фактора рассматривалась среднегодовая температура воздуха, которая зависит от района расположения здания. В соответствии с температурой воздуха определены количественные значения (табл. 2).

**Таблица 2.** Количественные значения по среднегодовым температурам воздуха

Среднегодовая температура воздуха, °С	Количественное значение фактора $\mu_3$
0,1 : +5	0 – 0,25
-5 : 0	0,26 – 0,5
+5,1 : +10, -5,1 : -10	0,51 – 0,75
+10,1 и выше, -10,1 и ниже	0,76 – 1,0

Значение фактора  $\mu_3$  определяется на основе таблицы 2.

Для автоматического вычисления частоты возникновения пожара разработан программный комплекс «Частотный анализ пожарной безопасности общественных зданий» (далее программный комплекс). Программный комплекс доступен через интернет по адресу <http://rintd.ru/freqa>, разработан на основе языков программирования: HTML, JavaScript и состоит из 2 HTML - страниц: Главная страница, Настройка и одного pdf-файла: Обучение работе.

**Главная страница** предназначена для ввода характеристики здания. **Настройка** предназначена для ввода допустимого интервала варьирования частоты возникновения пожара и ожидаемых характеристик здания, также в настройке раскрыты некоторые понятия, используемые в инструментарии. **Обучение работе** – страница, в которой описан алгоритм работы в программном комплексе и представлена регрессионная модель, на основе которой разработан программный комплекс.

Первоначальная настройка численных значений параметров Сервиса выполнена разработчиками. При необходимости предусмотрен возврат к значениям, предложенным разработчиками. Допустимый интервал варьирования частоты равен 0,1. Пользователю дана возможность изменить значения в режиме Настройки (допустимый интервал варьирования частот и значения ожидаемых характеристик здания), сохранить значения и вернуться на Главную страницу.

Пользователь начинает работу на Главной странице с ввода информации по объекту.

#### Алгоритм работы:

1. Вводится информация об общественном здании:

- наименование здания;
- функциональное назначение здания;
- характеристика здания;
- количество лет, прошедших с момента постройки здания или с момента последнего капитального ремонта;
- количество людей в здании;
- месторасположение здания (среднегодовая температура воздуха) (при выборе пункта «другое», вводятся данные, отсутствующие в общем списке (наименование населенного пункта, в котором расположено здание и среднегодовая температура воздуха)).

2. Формируются результаты расчета.

Результаты расчетов представляются в виде:

- 1) уточненной частоты возникновения пожара в общественном здании;
- 2) статистической частоты возникновения пожара в общественном здании.

На рисунках 1 - 3 представлены рабочие окна Главная страница, Настройка, Результаты расчета.



Рис. 1 Рабочая область инструментария «Частотный анализ ОЗ».

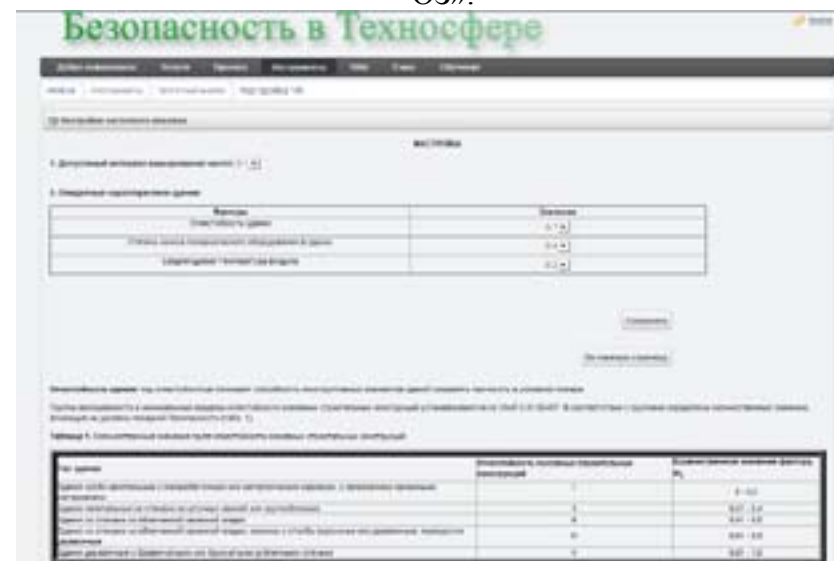


Рис. 2 Рабочее окно «Настройка».

**Результаты расчета:**

**Характеристики здания:**

Назначение здания	Школа №1
Специальный вид здания	Школа дошкольного учреждения (детский сад, ясли, детский сад)
Характеристики здания	Здание каркасно-кирпичное с железобетонными перекрытиями, с железобетонными стенами и каменными перегородками
Средняя высота здания (включая кровлю) (в м) / высота потолка (включая высоту помещений) (в м)	3
Средняя длина в здании (в м)	21
Средняя площадь здания (включая площадь кровли, в кв. м)	1440 (12*120)

**Частота возникновения пожара:**

Частота возникновения пожара в здании	0,000000
Частота возникновения пожара в здании (в расчете на одного человека)	0,000000

**Рис. 3** Окно «Результаты расчета».

В результате расчета выводятся два значения: уточненное значение частоты возникновения пожара и статистическое значение частоты возникновения пожара в здании. Сравнив два значения частоты, Пользователь может сделать выводы о пожарной опасности объекта.

Инструментарий был применен при анализе зданий общеобразовательных учреждений Удмуртской республики с целью ранжирования муниципальных образований Удмуртии по частоте возникновения пожаров в зданиях общеобразовательных учреждений. Выборка включала 165 зданий общеобразовательных учреждений, расположенных в муниципальных образованиях Удмуртии.

На первом этапе была проведена оценка математических ожиданий факторов (огнестойкость строительных конструкций здания, износ здания, климатический фактор). Для определения  $\mu_1$  образовательные учреждения проанализированы по огнестойкости строительных конструкций зданий, далее представлены данные по количеству школ, относящимся к той или иной категории огнестойкости строительных конструкций.

Количественное значение огнестойкости строительных конструкций	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
Количество образовательных учреждений, шт.	31	77	20	33	4

На основе рассмотренных данных было получено математическое ожидание значения первого фактора,  $\langle \mu_1 \rangle = 0,28$ .

Для определения  $\mu_2$  образовательные учреждения проанализированы по срокам службы и проведено сравнение с нормативными сроками службы [4], исходя из типа здания. Полученные данные по износу здания были поделены на диапазоны и определено количество школ, относящихся к тому или иному диапазону (ниже представлены данные).

№ п/п	Диапазон значений износа здания		Количество школ, шт.
1	0,006	0,134933	46
2	0,134933	0,263866	68
3	0,263866	0,392799	25
4	0,392799	0,521732	7
5	0,521732	0,650665	7
6	0,650665	0,779598	4
7	0,779598	0,908531	1
8	0,908531	1,037464	5
9	1,037464	1,166397	0
10	1,166397	1,29533	0
11	1,29533	1,424263	0
12	1,424263	1,553196	1
13	1,553196	1,682129	0
14	1,682129	1,811062	0
15	1,811062	1,94	2

Определив износ оборудования в каждом здании, было получено математическое ожидание значения второго фактора  $\langle \mu_2 \rangle = 0,27$ .

Климатический фактор при оценке частоты возникновения пожара не учитывался в связи с тем, что все образовательные учреждения находятся в одной климатической зоне.

На втором этапе, применив программный комплекс, была проведена оценка частоты возникновения пожаров в общеобразовательных учреждениях Удмуртской Республики, были определены средние значения частоты возникновения пожара в муниципальных образованиях Удмуртской Республики и внутригородских районах г. Ижевска, проведено сравнение со средним значением частоты возникновения пожара по России.

Среднее значение частоты возникновения пожара определялось по следующей формуле

$$\bar{Q}_n = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (3)$$

где  $Q_i$  - частота пожара в здании  $i$  на одного человека;

$N_i$  - число людей в здании  $i$ ;

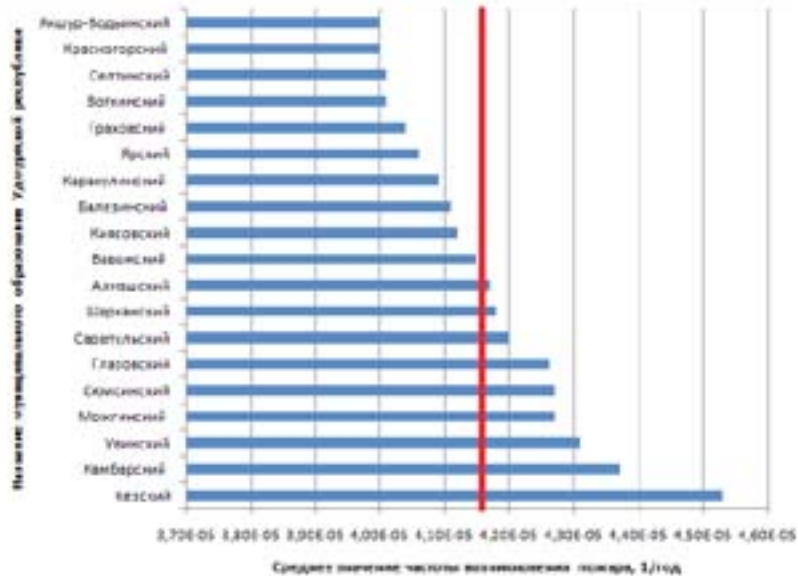
$n$  – число зданий в районе.

В таблице 3 представлены средние значения частоты возникновения пожара в муниципальных образованиях Удмуртской Республики.

**Таблица 3.** Средние значения частоты возникновения пожара в муниципальных образованиях Удмуртии.

№	Название района	Среднее значение частоты возникновения пожара, 1/ год
1.	Кезский	$4,53 \cdot 10^{-5}$
2.	Камбарский	$4,37 \cdot 10^{-5}$
3.	Увинский	$4,31 \cdot 10^{-5}$
4.	Можгинский	$4,27 \cdot 10^{-5}$
5.	Сюмсинский	$4,27 \cdot 10^{-5}$
6.	Глазовский	$4,26 \cdot 10^{-5}$
7.	Сарапульский	$4,20 \cdot 10^{-5}$
8.	Шарканский	$4,18 \cdot 10^{-5}$
9.	Алнашский	$4,17 \cdot 10^{-5}$
10.	Вавожский	$4,15 \cdot 10^{-5}$
11.	Киясовский	$4,12 \cdot 10^{-5}$
12.	Балезинский	$4,11 \cdot 10^{-5}$
13.	Каракулинский	$4,09 \cdot 10^{-5}$
14.	Ярский	$4,06 \cdot 10^{-5}$
15.	Граховский	$4,04 \cdot 10^{-5}$
16.	Воткинский	$4,01 \cdot 10^{-5}$
17.	Селгинский	$4,01 \cdot 10^{-5}$
18.	Красногорский	$4,00 \cdot 10^{-5}$
19.	Якшур-Бодьинский	$4,00 \cdot 10^{-5}$

На рисунке 4 представлены средние значения частоты возникновения пожара в образовательных учреждениях муниципальных образований Удмуртской Республики относительно среднего значения частоты возникновения пожара в общеобразовательных учреждениях России (школа, школа-интернат, детский дом, лицей, гимназия, колледж), равное  $4,16 \cdot 10^{-5}$  (в расчете на одного учащегося) [1].



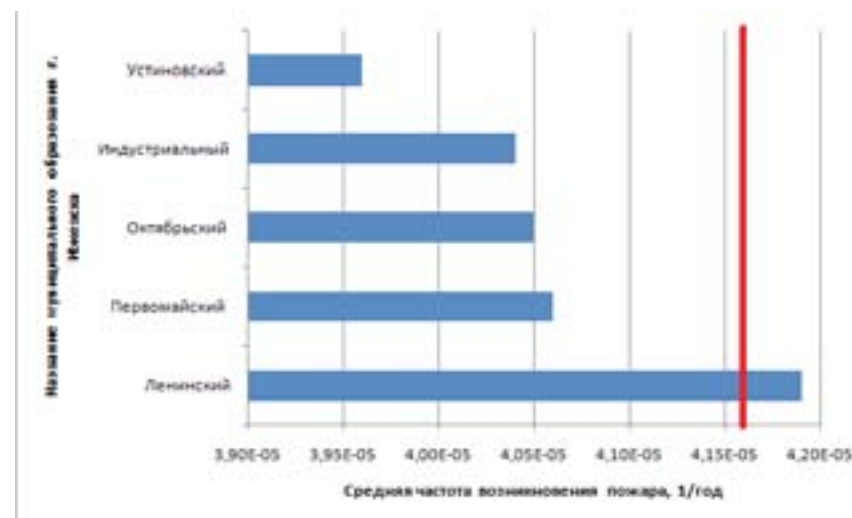
**Рис. 4** Среднее значение частоты возникновения пожара в муниципальных образованиях Удмуртской Республики относительно среднего значения частоты возникновения пожара по России.

Сравнив результаты средних значений частоты возникновения пожаров в зданиях образовательных учреждений, из таблицы 3 видно, что в Кезском районе наибольшая средняя частота возникновения пожаров. Огнестойкость зданий образовательных учреждений Кезского района составляет 0,43; износ зданий – 0,76 . Наименьшая средняя частота возникновения пожаров в Красногорском и Якшур-Бодьинском районах, огнестойкость зданий в данных районах – 0,2 и 0,25, износ зданий – 0,07 и 0,18 соответственно.

Также были проанализированы образовательные учреждения города Ижевска по внутригородским районам, было определено среднее значение частоты возникновения пожара, проведено сравнение со средним значением частоты возникновения пожара по России. Данные представлены в таблице 4 и на рисунке 5.

**Таблица 4.** Средние значения частоты возникновения пожара по внутригородским районам г. Ижевска.

№	Название района	Среднее значение частоты возникновения пожара, 1/год
1.	Ленинский	$4,19 \cdot 10^{-5}$
2.	Первомайский	$4,06 \cdot 10^{-5}$
3.	Октябрьский	$4,05 \cdot 10^{-5}$
4.	Индустриальный	$4,04 \cdot 10^{-5}$
5.	Устиновский	$3,96 \cdot 10^{-5}$



**Рисунок 5.** Среднее значение частоты возникновения пожара во внутригородских районах г. Ижевска относительно среднего значения частоты возникновения пожара по России.

Сравнив результаты, наименьшее среднее значение частоты возникновения пожара в Устиновском районе, среднее значение по огнестойкости зданий составляет – 15 %, износ зданий составляет 17 %. Наибольшее среднее значение частоты возникновения пожара в Ленинском районе, огнестойкость зданий – 33 %, износ зданий – 41%.



Таким образом, в категории «муниципальные образования» Удмуртской Республики в 9 из 19 муниципальных образований среднее значение частоты возникновения пожара превышает среднее значение частоты возникновения пожара по России. В категории «внутригородские районы» г. Ижевска в одном из пяти среднее значение частоты возникновения пожара превышает среднее значение частоты возникновения пожара по России. Оценка среднего значения частоты возникновения пожара обеспечила ранжирование муниципальных образования Удмуртской Республики, тем самым выявила территориальные образования, требующие дополнительных мероприятий по повышению пожарной защищенности общеобразовательных учреждений.

### Список литературы

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382.
2. Якуш С.Е., Эсманский Р.К. Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы // Проблемы анализа риска, том 6, 2009, № 3. Стр. 8 - 27.
3. СНИП 2.01.02-85\* Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы. Дата введения 1987-01-01.
4. ВСН 53-86 (р) Правила оценки физического износа жилых зданий (утв. приказом Госстроя СССР от 24 декабря 1986 г. N 446).

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ OPENPSI

*Варламов Д.В.*

Платформа OpenPSI[1] предназначена для автоматизации работы при решении ряда задач. Платформу необходимо рассматривать с двух точек зрения: с точки зрения пользователя и с точки зрения разработчика.

С точки зрения пользователя платформа предоставляет следующий функционал:

1. Автоматизированный расчет последствий различных техногенных аварий в соответствии с утвержденными методиками;

2. Различные инструменты для анализа риска (деревья событий, расчет пожарного риска);

3. Взаимодействие с другими пользователями платформы в виде форумного общения, базы справочной информации, пополняемой самими пользователями, совместного использования и пополнения примеров готовых документов.

С точки зрения разработчика (специалиста, реализующего алгоритмы автоматизации различного рода задач) платформа предоставляет следующий функционал:

1. Фреймворк для разработки расчетных модулей с возможностью распределенных вычислений;

2. Фреймворк для объединения различных модулей в логические блоки (бизнес-процессы[2]) для решения комплексных задач;

3. Фреймворк для генерации конечных документов в форматах PDF, RTF готовых к печати;

4. Систему аутентификации и распределения доступа;

5. Доступ к разработанным модулям через веб-сервисы[3];

6. Доступ к разработанным модулям через веб-интерфейс (доступ через браузер).

Использование данной платформы удобно, в первую очередь, для конечного пользователя по следующим причинам:

1. Доступ к программным реализациям расчетных модулей осуществляется через Web, т.е. у пользователя нет необходимости скачивать и устанавливать какое либо программное обеспечение;

2. Для работы с системой необходим только браузер и подключение к сети интернет;

3. Пользователь получает результаты в удобном виде. Если модуль не требует сложных вычислений, то результат пользователь получает сразу же. Если модуль требует каких либо сложных и длительных по времени вычислений, то пользователь ожидает получения уведомления о завершении расчета, после чего может получить результаты;

4. Обновление версий происходит для пользователя незаметно;

5. Все пользователи работают с одинаковыми моделями, следовательно, возможно сопоставление результатов.

Рассмотрим процесс создания расчетного модуля с точки зрения разработчика на примере задачи расчета последствий от взрыва расширяющихся паров вскипающей жидкости (BLEVE или «огненный шар»).

Разработка расчетного модуля.

На первом этапе выбирается методика, по которой будет проводиться расчет. Методика расчета последствий для данной аварии описана в ГОСТ Р 12.3.047-98.

Расчетный модуль состоит из трех блоков: дескриптор исходных данных, дескриптор результатов расчетов (и промежуточных данных, требуемых в конечном документе) и функция (метод), осуществляющая расчет.

Требуемые исходные данные:

1. Масса вещества, участвующая в аварийном сценарии (кг);

2. Тип вещества (пропан, бутан и т.д.);

3. Расстояние от поверхности, где находится человек, до нижней границы емкости (м); Для описания реального резервуара не всегда удобно использовать массу вещества, участвующего в аварийном сценарии. Поэтому используются

дополнительные параметры для описания характеристик резервуара:

1. Объем (м<sup>3</sup>);

2. Заполнение резервуара веществом (%).

Из методики берутся данные, получаемые в результате расчета, а также промежуточные данные:

1. Эффективный диаметр «огненного шара» (м);

2. Высота центра шара (м);

3. Время существования огненного шара (с);

4. Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени (кВт/м<sup>2</sup>);

5. Масса вещества, участвующая в аварийном сценарии (кг);

6. Набор контрольных точек от центра «огненного шара» до точки минимального безопасного расстояния. Каждая точка характеризуется следующими показателями:

a. Расстояние от центра «огненного шара» (м);

b. Значение пробит-функции;

c. Вероятность гибели человека;

d. Коэффициент пропускания атмосферы;

e. Угловой коэффициент облученности;

f. Интенсивность теплового излучения огненного шара (кВт/м<sup>2</sup>).

На следующем этапе создается программная реализация дескрипторов исходных данных и данных, получаемых в результате расчета.

Расчетные модули, как и все компоненты платформы, пишутся на языке Java с использованием платформы OpenPSI. В качестве среды разработки используется Eclipse[4].

Создается новый проект в Eclipse с названием Blevе. В список библиотек, используемых в проекте, добавляются следующие файлы:

1. FxWebServicePlatform.jar – библиотека для разработки расчетных модулей;

2. xstream-1.3.1.jar – библиотека для сериализации данных[5];

3. commons-math-2.2.jar – библиотека для работы с различными математическими функциями[6].

Создается новый пакет (package) с именем org.intd.methods.bleve. В пакет добавляется новый класс ItBleveDataDescIn. В этом классе определяются исходные данные, требуемые для выполнения расчета. Исходный текст класса приведен в листинге 1.

Листинг 1 - Исходные данные, требуемые для выполнения расчета.

```
package org.intd.methods.bleve;
import com.thoughtworks.xstream.annotations.XStreamAlias;
@XStreamAlias("data")
public class ItBleveDataDescIn
{
    @XStreamAlias("deltaHeight")
    public double iDeltaHeight = 0.0;//Расстояние до нижней
    границы
    @XStreamAlias("substanceMass")
    public double iSubstanceMass = 0.0;//Масса вещества (кг)
    @XStreamAlias("substanceID")
    public long iSubstanceID = 0;//Идентификатор вещества
    @XStreamAlias("containerVolume")
    public double iContainerVolume = 0.0;//Объем емкости
    (м^3)
    @XStreamAlias("containerFill")
    public double iContainerFill = 0.0;//Заполненность
    емкости (%)
    @XStreamAlias("isUseMass")
    public boolean iIsUseMass = true;//true - использовать
    указанную массу
    @XStreamAlias("controlPointsCount")
    public int iControlPointsCount = 10; //Кол-во контрольных
}
```

Как видно из листинга 1, дескриптор данных представляет

собой класс без методов, содержащий только публичные поля, которые определяют исходные данные, и аннотации XStream[7] для сериализации. Аннотации используются для преобразования данных, описываемых классом к XML представлению (процесс сериализации), и для обратного преобразования от XML к классу (десериализация). Сериализованные данные используются для генерации конечных документов (PDF, RTF) и доступа к расчетным модулям через веб-сервисы. Аннотации задаются через знак @ и имя, следующее за ним, например:

```
@XStreamAlias("substanceMass")
public double iSubstanceMass = 0.0;//Масса вещества
```

В данном примере задана аннотация XStream - @XStreamAlias("substanceMass"). Данная запись означает, что при сериализации поле iSubstanceMass класса получит имя substanceMass и в XML виде будет иметь вид:

```
...
<substanceMass>значение</substanceMass>
...
```

Создается еще один класс с именем ItBleveDataDescOut. В этом классе определяются данные, получаемые в результате расчета. Исходный текст класса приведен в листинге 2.

Листинг 2 - Данные получаемые в результате расчета.

```
package org.intd.methods.bleve;
import com.thoughtworks.xstream.annotations.XStreamAlias;
@XStreamAlias("data")
public class ItBleveDataDescOut
{
    @XStreamAlias("diameter")
    public double ds = 0.0;//Эффективный диаметр "огненного
    шара" (м)
    @XStreamAlias("height")
    public double h = 0.0;//Высота центра шара (м)
    @XStreamAlias("time")
```

```

public double t = 0.0; //Время существования огненного шара (с)
    @XStreamAlias("e")
    public double e = 450.0; //Среднеповерхностная интенсивность
теплового излучения
    @XStreamAlias("m")
    public double m = 0.0; //Масса вещества (кг)
    @XStreamAlias("probit")
    public double[] probit = new double[0]; //Значение пробит
функции
    @XStreamAlias("p")
    public double[] p = new double[0]; //Вероятность гибели
человека
    @XStreamAlias("tau")
    public double[] tau = new double[0]; //Коэффициент пропускания
атмосферы
    @XStreamAlias("fq")
    public double[] fq = new double[0]; //Угловой коэффициент
облученности
    @XStreamAlias("q")
    public double[] q = new double[0]; //Интенсивность теплового
излучения огненного шара
    @XStreamAlias("r")
    public double[] r = new double[0]; //Расстояние (м)
}

```

После того, как определены дескрипторы входных и выходных данных, создается класс с именем ItMethodBleve, реализующий методику расчета последствий «огненного шара». Исходный текст класса приведен в листинге 3.

Листинг 3 – Реализация методики расчета последствий «огненного шара».

```

package org.intd.methods.bleve;
import org.apache.commons.math.MathException;
import org.intd.methods.ItMethodCalcInterface;
import org.intd.openpsi.ItOpenPsiInstance;
    import org.intd.substance.ItSubstanceAttrDescDB;

```

```

import org.intd.substance.ItSubstanceAttrDescDB;
import org.intd.substance.ItSubstanceAttrValueDescDB;
import com.fox.db.FxConnectionDB;
import com.fox.exceptions.FxException;
import com.fox.sp.sessions.FxSPSession;
public class ItMethodBleve implements ItMethodCalcInterface
{
    private class QDesc
    {
        public double probit = 0.0; //Значение пробит функции
        public double p = 0.0; //Вероятность гибели человека
        public double ds = 0.0; //Эффективный диаметр «огненного
шара» (м)
        public double h = 0.0; //Высота центра шара (м)
        public double t = 0.0; //Время существования огненного
шара (с)
        public double tau = 0.0; //Коэффициент пропускания
атмосферы
        public double fq = 0.0;
        public double q = 0.0; //Интенсивность теплового излучения
огненного шара
    }
    public Object Calc ( final Object aInDataDesc, final ItOpenPsiIn-
stance aOpenPSI,
        final FxSPSession aSession, final FxConnectionDB
aConnection
        ) throws FxException
    {
        //Получаем дескриптор входных данных
        ItBleveDataDescIn inDesc = (ItBleveDataDescIn)aInDataDesc;
        ItBleveDataDescOut outDesc = new ItBleveDataDescOut();

        //Вычисляем массу вещества
        double mass = 0.0;

        if (inDesc.isUseMass == true)
        {

```

```

    //Берем указанную массу вещества
mass = inDesc.iSubstanceMass;
    outDesc.e = 450.0;
} else
{
    //Рассчитываем массу вещества
    ...
    Проверка значений входных данных (исходный код не
приводится)
    ...

    //Получаем плотность жидкой фазы из базы данных
ItSubstanceAttrValueDescDB denstyValueDescDB = new
    ItSubstanceAttrValueDescDB(aConnection);
denstyValueDescDB.Select(inDesc.iSubstanceID,
    ItSubstanceAttrDescDB.Type.DENSITY_OF_THE_LIQ-
UID_PHASE);

    //Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения
пламени
ItSubstanceAttrValueDescDB flameHeatValueDescDB = new
    ItSubstanceAttrValueDescDB(aConnection);
flameHeatValueDescDB.Select(inDesc.iSubstanceID,
    ItSubstanceAttrDescDB.Type.FLAME_HEAT_EMMIS-
SION);
outDesc.e = flameHeatValueDescDB.iValue;
    //Вычисляем массу исходя из указанных параметров
mass = inDesc.iContainerVolume * (inDesc.iContainer-
Fill/100.0) *
    denstyValueDescDB.iValue;
}
outDesc.m = mass;
    ...
(исходный код не приводится)
Проверяем значение массы

```

```

Проверяем количество контрольных точек
Проверяем расстояние до нижней границы емкости
...

//Инициализируем результат
outDesc.probit = new double[inDesc.iControlPointsCount];
outDesc.p    = new double[inDesc.iControlPointsCount];
outDesc.fq   = new double[inDesc.iControlPointsCount];
outDesc.q    = new double[inDesc.iControlPointsCount];
outDesc.r    = new double[inDesc.iControlPointsCount];
outDesc.tau  = new double[inDesc.iControlPointsCount];

    //Вычисляем минимальное безопасное расстояние для
незащищенного человека
double minR    = 0.0;
double maxR    = 10000.0;
double currentR = 0.0;
double needQ   = 0.8;//Без негативных последствий (1.4 кВт)
double eps     = Double.MAX_VALUE;

while (eps > 0.01)
{
    currentR = minR + (maxR - minR)/2.0;
QDesc qDesc = CalcQ(mass, outDesc.e, currentR, inDesc.iDelta-
Height);
    double d = needQ - qDesc.q;
    if (d > 0.0) maxR = currentR;
    else minR = currentR;
    eps = Math.abs(d)/needQ;
}

//Вычисляем значения в каждой контрольной точке
minR = 0.0;
maxR = currentR;
    double step = (maxR - minR)/(double)inDesc.iControl-
PointsCount;
    for (int i = 0; i < inDesc.iControlPointsCount; i++)

```

```

{
    currentR = minR + step*(double)i;
    QDesc qDesc = CalcQ(mass, 450.0, currentR, inDesc.iDelta-
Height);
    if (i == 0)
    {
        outDesc.ds = qDesc.ds;
        outDesc.h = qDesc.h;
        outDesc.t = qDesc.t;
    }

    outDesc.probit[i] = qDesc.probit;
    outDesc.p[i] = qDesc.p;
    outDesc.fq[i] = qDesc.fq;
    outDesc.q[i] = qDesc.q;
    outDesc.r[i] = currentR;
    outDesc.tau[i] = qDesc.tau;
}
//Возвращаем результат
return outDesc;
}
/**
 * Метод вычисляет интенсивность теплового излучения
огненного шара (кВт/м^2)
 * @param aMass - масса вещества (кг)
 * @param aEf - среднеповерхностная плотность теплового
излучения пламени (кВт/м^2)
 * @param aR - расстояние до точки наблюдения (м)
 * @return Дескриптор QDesc
 */
private QDesc CalcQ ( double aMass, double aEf, double aR,
double aDeltaHeight )
{
    QDesc res = new QDesc();
    //Эффективный диаметр “огненного шара” (м)
    res.ds = 5.33*Math.pow(aMass, 0.327);

```

```

//Высота центра шара (м)
res.h = res.ds/2.0 + aDeltaHeight;

//Время существования огненного шара (с)
res.t = 0.92*Math.pow(aMass, 0.303);
{
    currentR = minR + step*(double)i;
    QDesc qDesc = CalcQ(mass, 450.0, currentR, inDesc.iDelta-
Height);
    if (i == 0)
    {
        outDesc.ds = qDesc.ds;
        outDesc.h = qDesc.h;
        outDesc.t = qDesc.t;
    }
    //Коэффициент пропускания атмосферы
    double e = -0.0007*(Math.pow(aR*aR + res.h*res.h, 0.5) - res.
ds/2.0);
    res.tau = Math.exp(e);

    res.fq = (res.h/res.ds + 0.5)/(4.0*Math.pow(Math.pow(res.h/res.
ds + 0.5, 2.0) + Math.pow(aR/res.ds, 2.0), 1.5));

    //Интенсивность теплового излучения огненного шара (кВт/
м^2)
    res.q = aEf*res.fq*res.tau;

    //Значение пробит функции
    res.probit = -12.8 + 2.56*Math.log(res.t*Math.pow(res.q,
4.0/3.0));

    //Вероятность гибели
    res.p = (1.0 + math.special.Erf.erf(res.probit/Math.sqrt(2.0)))/2.0;

    return res;
}
}

```

Класс ItMethodBleve реализует интерфейс ItMethodCalcInterface, а именно метод Calc. Данный Интерфейс является общим для всех вычислительных модулей платформы. Метод Calc на вход получает следующие параметры:

1. Object aInDataDesc – дескриптор исходных данных;
2. ItOpenPsiInstance aOpenPSI – дескриптор данных текущего проекта;
3. FxSPSession aSession – дескриптор сессии;
4. FxConnectionDB aConnection – соединение с базой данных.

На выходе метод дает дескриптор данных, получаемых в результате расчета. В приведенном примере используются только дескриптор исходных данных и соединение с базой данных.

Первым действием при вызове метода Calc происходит приведение aInDataDesc к дескриптору ItBleveDataDescIn.

```
ItBleveDataDescIn inDesc = (ItBleveDataDescIn)aInDataDesc;
```

```
ItBleveDataDescOut outDesc = new ItBleveDataDescOut();
```

```
ItSubstanceAttrValueDescDB denstyValueDescDB = new  
ItSubstanceAttrValueDescDB(aConnection);
```

При этом считается, что при вызове расчетного модуля объект aInDataDesc является экземпляром класса исходных данных именно вызываемого модуля. Такое поведение обеспечивает внутренний механизм платформы.

Следующий момент – получение справочной информации о свойствах веществ из базы данных, а именно информация о плотности жидкой фазы и среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени. Для получения справочной информации предназначен специальный класс ItSubstanceAttrValueDescDB. Например, чтобы получить плотность жидкой фазы пропана необходимо создать экземпляр класса ItSubstanceAttrValueDescDB с указанием подключения aConnection к базе данных:

```
ItSubstanceAttrValueDescDB denstyValueDescDB = new  
ItSubstanceAttrValueDescDB(aConnection);  
//Высота центра шара (м)  
res.h = res.ds/2.0 + aDeltaHeight;  
  
//Время существования огненного шара (с)  
res.t = 0.92*Math.pow(aMass, 0.303);
```

А затем вызвать метод Select у экземпляра denstyValueDescDB с указанием идентификатора вещества (inDesc.iSubstanceID – целое положительное число) и требуемого свойства (DENSITY\_OF\_THE\_LIQUID\_PHASE – плотность жидкой фазы):

```
denstyValueDescDB.Select(inDesc.iSubstanceID,  
ItSubstanceAttrDescDB.Type.DENSITY_OF_THE_LIQUID_PHASE);
```

В случае если вещество с указанным идентификатором будет найдено и в справочнике имеется значение требуемого свойства, то значение свойства будет записано в поле iValue класса denstyValueDescDB.

Использование расчетного модуля.

Ниже приведен пример использования расчетного модуля. На первом шаге пользователь входит в систему под своим логином и паролем. После этого пользователь переходит в меню «Расчетные модули->Огненный шар» (Рис.1.)



**Рис. 1.** Рабочая область.

Следующим шагом пользователю необходимо ввести исходные данные (Рис. 2.)

Огненный шар

Принести расчет

Уровень высоты нижней границы дотеррасы (м): 0.0

Число контрольных точек: 10

Указать массу вещества

Масса вещества (кг): 1000

Вещество: Песчан

Объем емкости (м³): 200.0

Заполненность емкости (%): 85

**Рис. 2.** Ввод исходных данных.

После ввода исходных данных пользователь получает результаты расчетов в табличном виде (Рис.3.).

Огненный шар

Перейти к вводу данных

График Справка PDF

Порядковый номер элемента расчета: 245,72 (4)

Площадь участка (кв.м): 120,85 (4)

Объем подстанции (куб.м): 20,02 (3)

Масса вещества в реакторе (кг): 120,85 (4)

Средняя температура (градусов Цельсия): 120,85 (4)

Таблица 1. Результаты расчетов

Код элемента	Аппроксимация	Время	Условная температура	Условная температура	Условная температура
0,00	1,00	11,50	11,50	0,75	1,00
100,00	1,00	11,32	11,32	0,70	0,99
200,00	1,00	11,15	11,15	0,65	0,98
300,00	1,00	10,98	10,98	0,60	0,97
400,00	1,00	10,81	10,81	0,55	0,96
500,00	1,00	10,64	10,64	0,50	0,95
600,00	0,95	10,47	10,47	0,45	0,94
700,00	0,90	10,30	10,30	0,40	0,93
800,00	0,85	10,13	10,13	0,35	0,92
900,00	0,80	9,96	9,96	0,30	0,91
1000,00	0,75	9,79	9,79	0,25	0,90

**Рис.3.** Результаты расчетов в табличном виде.



Результаты расчетов могут быть представлены также в виде графиков (Рис.4, Рис.5).

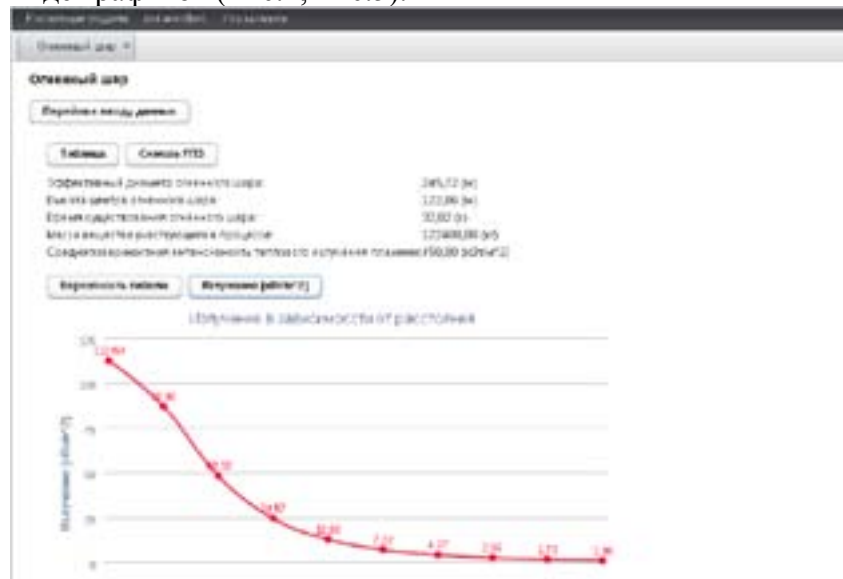


Рис.4. Результаты расчетов в виде графиков.



Рис.5. Результаты расчетов в виде графиков.

## Список литературы

1. Морозов О.А. Открытая платформа интеграции сервисов “Безопасность в техносфере” // Материалы Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Производство. Технология. Экология» науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск: Удмурт. ун-т, 2010.
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Бизнес-процесс>
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Веб-служба>
4. <http://www.eclipse.org/>
5. <http://xstream.codehaus.org>
6. <http://commons.apache.org/math/>
7. <http://xstream.codehaus.org/annotations-tutorial.html>

## WEB-СЕРВИС ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Семакин И. В.*

Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ст.3) одним из основных принципов охраны окружающей среды установлен принцип платности природопользования и возмещения вреда окружающей среде.

В соответствии со ст. 16 указанного закона негативное воздействие на окружающую среду является платным. К видам негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) относятся:

- выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ (ЗВ) и иных веществ;
- сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади;
- загрязнение недр и почв (порядок определения и механизм взимания не разработаны);
- загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий (порядок определения и механизм взимания не разработаны);
- иные виды негативного воздействия на окружающую среду (порядок определения и механизм взимания не разработаны).

В соответствии с Порядком определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия (утвержден постановлением Правительства РФ от 28.08.1992 № 632) плательщиками платы за негативное воздействие на окружающую среду являются предприятия, учреждения, организации, иностранные юридические и физические лица, осуществляющие любые виды деятельности на территории

Российской Федерации.

Плата представляет собой форму возмещения экономического ущерба от выбросов и сбросов ЗВ в окружающую среду, которая возмещает затраты на компенсацию воздействия выбросов и сбросов ЗВ и стимулирование снижения или поддержание выбросов и сбросов в пределах нормативов, а также затраты на проектирование и строительство природоохранных объектов.

Различают следующие виды платы за НВОС:

1. Плата за загрязнение окружающей среды в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, объемы размещения отходов, уровни вредного воздействия, определяется путем умножения соответствующих ставок платы за величину указанных видов загрязнения и суммирования полученных произведений по видам загрязнения (пункт 3 Порядка N 632).

2. Плата за загрязнение окружающей природной среды в пределах установленных лимитов определяется путем умножения соответствующих ставок платы на разницу между лимитными и предельно допустимыми выбросами, сбросами загрязняющих веществ, объемами размещения отходов, уровнями вредного воздействия и суммирования полученных произведений по видам загрязнения (пункт 4 Порядка N 632).

3. Плата за сверхлимитное загрязнение определяется путем умножения соответствующих ставок платы за загрязнение в пределах установленных лимитов на величину превышения фактической массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, объемов размещения отходов уровней вредного воздействия над установленными лимитами, суммирования полученных произведений по видам загрязнения и умножения этих сумм на пятикратный повышающий коэффициент (пункт 5 Порядка N 632).

Таким образом, в общем случае размер платы за негативное воздействие на окружающую среду равен:

$$П = П_{\text{атм}} + П_{\text{транс}} + П_{\text{вод}} + П_{\text{отх}}$$

$P_{\text{атм}}$  — плата за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными источниками загрязнения;

$P_{\text{транс}}$  — плата за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ передвижными источниками загрязнения;

$P_{\text{вод}}$  — плата за сброс загрязняющих веществ;

$P_{\text{отх}}$  — плата за размещение отходов.

При заполнении бланка расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду пользователь сталкивается со следующими проблемами:

- при большом количестве загрязняющих веществ возникает проблема расчета платы по каждому веществу;
- трудности при заполнении полей в документе.

Сервис [www.gintd.ru](http://www.gintd.ru) дает возможность автоматического расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду, автоматического заполнения соответствующих полей и генерации выходного документа. При этом не возникает проблем и вопросов, куда вставить те или иные данные.

Для работы с сервисом пользователь должен иметь выход в интернет и информацию о предприятии. При производстве всех операций на сервисе клиент получает выходной документ, который соответствует утвержденным формам для подачи расчета за негативное воздействие на окружающую среду в органы Ростехнадзора. На сайте хранятся все расчеты, произведенные пользователем, доступные ему в любое время.

Удобство web-сервиса заключается в том, что с помощью него не нужно приобретать и устанавливать на компьютер никакие специальные программы, не нужно обладать никакими специальными знаниями или навыками. Рассчитать экологические платежи при помощи нового бесплатного сервиса может практически любой желающий - эколог, бухгалтер, руководитель, инженер.

## Список литературы

1. Сорокин, Н. Д., Охрана окружающей среды на предприятии в 2009 году. - СПб.: Изд-во "ВИС", 2009. - 695 стр.
2. Кузнецов, П. И., Плата за негативное воздействие на окружающую среду: пособие для природопользователей;/ Союз отходопереработчиков Кубани. — Краснодар: Совет. Кубань, 2006. — 112 с.

## СЕРВИС «ПРОГНОЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРА ПРОЛИВА ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ»

*Вахитиев В. К.*

Одним из инструментов по прогнозу пожарных рисков на опасном производственном объекте (ОПО) является Сервис «Прогноз последствий пожара пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей» (ЛВЖ и ГЖ), предназначенный для прогноза последствий аварийных ситуаций, связанных с пожарами проливов ЛВЖ и ГЖ.

Сервис работает в online-режиме и доступен по адресу: <http://rintd.ru/straitfire>.

Прогноз последствий пожара пролива ЛВЖ и ГЖ реализован в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-98 [2], работает в online-режиме и доступен по адресу: <http://rintd.ru/straitfire>.

### **Алгоритм работы с сервисом**

1. Вводится информация о пожароопасном объекте:
  - наименование ЛВЖ и ГЖ;
  - площадь пролива ( $\text{м}^2$ );
  - время воздействия теплового излучения на человека (сек.).
2. Формируются результаты расчета (пользователь может скачать готовый ttf-документ).

Весь механизм по расчету и формированию документа производится автоматически, пользователю остается только его «скачать».

### **Пример расчета пожара пролива ЛВЖ и ГЖ**

*Исходные данные:*

Наименование вещества: СПГ (метан)

Площадь пролива  $500.0 \text{ м}^2$ ;

Ускорение свободного падения  $9.81 \text{ м/с}^2$ ;

Плотность окружающего воздуха  $1.2 \text{ кг/м}^3$ ;

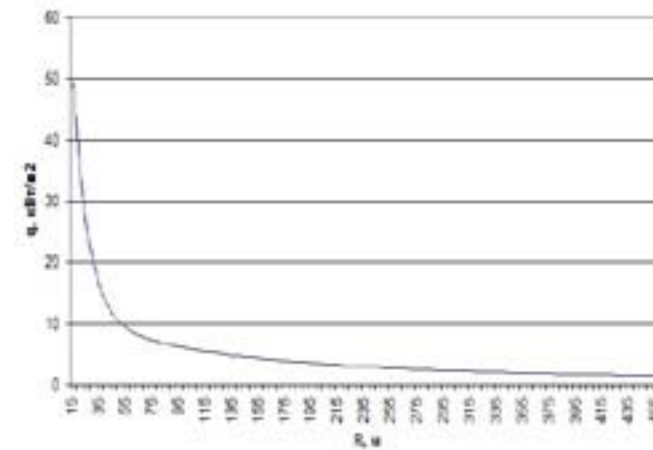
Расчетные данные:

Эффективный диаметр пролива  $25.2 \text{ м}$ ;

Высота пламени  $37,8 \text{ м}$ ;

Удельная массовая скорость выгорания топлива  $0,080 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени  $150,0 \text{ кВт/м}^2$



**Рис. 1.** Зависимость интенсивности теплового излучения  $q$  от расстояния  $R$ .

Зависимости вероятности различной степени поражения людей тепловым излучением от расстояния определяется зависимостями, описанными в работе [4]. Степени подразделяются на поражения: с летальным исходом, III степени, II степени, I степени и болевой порог. Примеры и сравнение вероятностей приведены в статье «Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей» [5].

### **Выводы**

Один из возможных подходов к решению проблемы снижения ущерба от пожаров на производстве в России — развитие и применение в повседневной практике проблемно-ориентированного ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru>). Этот ресурс может составить техническую основу системы оценки пожарных рисков на территории

Российской Федерации.

Сервис «Прогноз последствий пожара пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей», ориентирован на решение конкретных практических задач. Он строится на основе открытой аппаратно-независимой программной платформы, допускающей расширение банка алгоритмов, программ и вычислительной сети и обеспечивающей дистанционный доступ к проектирующим и обучающим компонентам сервиса посредством сети Интернет.

### Список литературы

1. В. М. Колодкин, О. А. Морозов, Д. В. Варламов, А. А. Яценко, Интернет-ресурс оценки уровня пожарной безопасности общественных зданий // Пожарная безопасность в строительстве, август 2011, № 4, с. 14 - 19.

2. ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов», приложение «В».

3. Ваштиев В.К. Сервис прогноза последствий взрыва конденсированных взрывчатых веществ // Производство. Технология. Экология.: Международная конференция с элементами научной школы для молодежи: материалы конф. и шк. - Ижевск: Издательство “Удмуртский университет”, 2010. С. 87 - 89.

4. Еналеев, Р.Ш. Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях / Р.Ш. Еналеев, Э.Ш. Теляков, В.А. Качалкин, Ю.С. Чистов, А.М. Закиров // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – №1. – С. 36 – 41.

5. Ваштиев В.К, Оценка воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей // Безопасность в техносфере: сборник статей - Ижевск: Издательство “Удмуртский университет”, 2011. С.72-78

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ВЗРЫВА И ПОЖАРА НА ЛЮДЕЙ

*Ваштиев В. К.*

При оценке уровня опасности опасного производственного объекта (ОПО) актуальной становится задача по оценке уровня воздействия поражающих факторов аварийных ситуаций (ПФАС) на людей и сооружения. С такой задачей могут столкнуться экспертные организации, страховые компании и собственники производственных объектов. Для оценки уровня опасности необходимы данные последствий аварийных ситуаций: степень разрушения здания, зоны поражения опасными факторами аварии, количество пострадавших, экономический ущерб предприятия. Если опасный производственный объект как система представляет собой сложную структуру с множественным персоналом, зданиями, техническим оборудованием, ставится задача расчета воздействия опасных факторов на объект экономики.

Фактически оценка воздействия поражающих факторов аварийной ситуации на людей и сооружения сводится к определению двух функций: зависимость количества ПФАС от расстояния до места аварии и зависимость ущерба от количества ПФАС.

Количество поражающих факторов аварийной ситуации, а также их физическая природа будут зависеть от вида чрезвычайной ситуации (ЧС).

Существуют методики определения количества поражающих факторов и функции воздействия их на людей и элементы объектов экономики в зависимости от вида ЧС. Рассмотрим воздействия поражающих факторов пожара и взрыва.

Известно, что в общем случае одна и та же мера воздействия (количество поглощенного вещества, доза термической радиации или импульс давления) может вызвать последствия различной степени тяжести у различных людей,

т.е. эффект поражения носит вероятностный характер. Величина поражения (P измеряется в долях единицы или процентах) выражается, как правило, функцией Гаусса (функцией ошибок), записываемой в виде:

$$P = f(\text{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\text{Pr}} e^{-t^2/2} dt \quad (1)$$

в которой верхний предел интегральной функции является так называемой пробит-функцией, отражающей связь между вероятностью поражения и поглощенной дозой. Пробит-функция может быть вычислена по уравнению вида:

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln(D), \quad (2)$$

где a и b - константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия, D - поглощенная субъектом доза негативного воздействия. Ниже приведены некоторые пробит-функции.

Термическое воздействие на человека

Для определения вероятности летального исхода смертельного поражения при термическом воздействии можно воспользоваться следующей пробит-функцией:

$$\text{Pr} = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t), \quad (3)$$

где t - длительность воздействия, с;

q - интенсивность теплового излучения, Дж/м<sup>2</sup>·с.

Зависимости вероятности различных степеней поражения опасными факторами пожара от расстояния.

В работе [4] при оценке рисков предлагается вести оценки не только безвозвратных потерь, но и дифференцировать санитарные потери по степени их тяжести. Вероятность поражения различных степеней поражения при тепловом излучении можно рассчитать с помощью пробит-функций:

• для III степени поражения

$$\text{Pr} = -12,6 + 2,99 \ln(q^{4/3} \cdot t), \quad (4)$$

• для II степени поражения

$$\text{Pr} = -11,4 + 2,99 \ln(q^{4/3} \cdot t), \quad (5)$$

• для I степени поражения

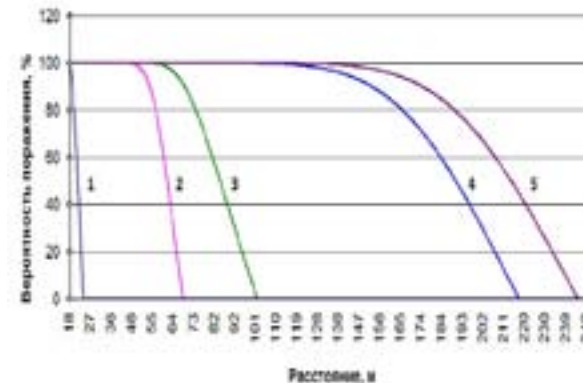
$$\text{Pr} = -9,16 + 2,99 \ln(q^{4/3} \cdot t), \quad (6)$$

• болевой порог

$$\text{Pr} = -8,74 + 2,99 \ln(q^{4/3} \cdot t), \quad (7)$$

Для определения диапазона действия пробит-функций смоделируем ситуацию с развитием пожара пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) на основании методики, приведенной в ГОСТ Р 12.3.047-98 [2], и просчитанной сервисом «Прогноз последствий пожара пролива ЛВЖ и ГЖ» (<http://rintd.ru/straitfire>). В качестве исходных данных введем:

1. Наименование вещества: СПГ (метан)
2. Площадь пролива 1000,0 м<sup>2</sup>
3. Время воздействия опасного фактора пожара (ОФП) 20 сек



**Рис. 1.** Графики зависимости вероятностей различных степеней поражений человека от расстояния, где: 1 – график функции (3); 2 – график функции (4); 3 – график функции (5); 4 – график функции (6); 5 – график функции (7)

Из графиков (рис. 1) виден диапазон различной степени поражения людей при образовании пожара пролива СПГ (метан) площадью 1000 м<sup>2</sup> и временем воздействия ОФП 20 сек.:

- летальный исход – от 18,0 до 24,0 (м);
- III степень поражения – от 42,0 до 69,0 (м);
- II степень поражения – от 52,0 до 102,0 (м);
- I степень поражения – от 93,0 до 218,0 (м);
- болевой порог – от 109,0 до 245,0 (м).

Барическое воздействие взрыва на технологическое оборудование и человека

Для определения вероятности летального исхода от прямого воздействия на людей избыточного давления и импульса можно воспользоваться следующими пробит-функциями:

$$Pr = -2,44 * \ln(7380 / dP + 1,9 * 10^9 / (dP * Imp)), \quad (8)$$

$$Pr = 5,0 - 5,74 * \ln(4,2 / (dP / P_0) + 1,3 / (Imp / (P_0^{0,5} * m^{0,333}))), \quad (9)$$

$$Pr = -77,1 + 6,91 * \ln(dP), \quad (10)$$

$$Pr = 5 - 0,26 * \ln((17500 / dP)^{8,4} + (290 / Imp)^{9,3}), \quad (11)$$

где m – масса тела человека, кг;

Imp – импульс на фронте ударной волны, Н/м<sup>2</sup>\*с;

dP – избыточное давление на фронте ударной волны, Н/м<sup>2</sup>;

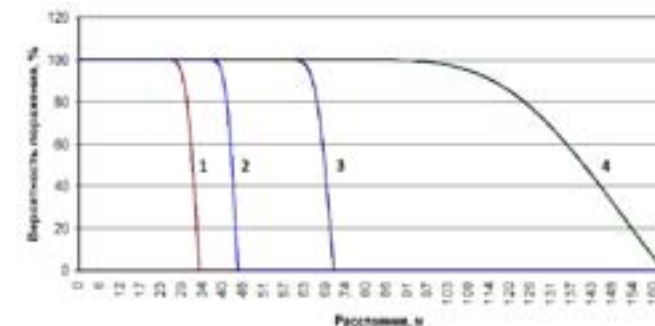
P<sub>0</sub> – атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>.

Для определения диапазона действия пробит-функций смоделируем ситуацию с развитием взрыва конденсированного взрывчатого вещества, рассчитанного по формулам М.А. Садовского [5], сервисом «Прогноз взрыва конденсированных взрывчатых веществ» ([http://rintd.ru/explosion\\_vv](http://rintd.ru/explosion_vv)). В качестве исходных данных введем:

1. Наименование вещества: Тринитротолуол (ТНТ)
2. Наименование подложки: Бетон

3. Масса вещества 5000,0 кг

4. Масса тела человека 70,0 кг



**Рис. 2.** . Графики зависимости вероятностей различных степеней поражений человека от расстояния, где: 1 – график функции (8); 2 – график функции (9); 3 – график функции (10); 4 – график функции (11); 5 – график функции (12)

На рис. 2 изображены графики зависимости вероятности поражения людей от расстояния, полученные из различных пробит-функций при одинаковых условиях воздействия поражающих факторов на человека. На основании полученных данных можно сделать вывод, что пробит- поражение людей по ГОСТу [2] дает более завышенную оценку гибели людей по сравнению с остальными.

Осколочное воздействие на человека

Для оценки выживания человека в случае воздействия непроникающих осколков с массой 0,1 – 4,5 кг можно воспользоваться расчетом значения пробит-функции в зависимости от энергии осколков E (Дж) по формуле:

$$Pr = -17,56 + \ln E. \quad (12)$$

Скорость осколков (км/с) можно принять равной скорости газовой массы при адиабатическом разлете газового шара:

$$V = (2Q/M)^{0,5}, \quad (13)$$

где  $M$  – масса заряда ВВ (взорвавшегося материала), кг;  
 $Q$  – энергосодержание при взрыве, кг ТНТ.

Инструмент для оценки воздействия поражающих факторов аварийной ситуации на людей и сооружения

Для реализации систематических расчетов по оценке воздействия поражающих факторов аварийной ситуации на людей и объекты экономики существует необходимость создания программного модуля, позволяющего оценить данное воздействие с учетом антропогенных факторов на местности.

Предлагается реализация данного модуля на открытой платформе интеграции сервисов «Безопасность в техносфере».

Назначение модуля:

- расчет степени разрушения, количества погибших, экономического ущерба объекта экономики.
- отображение зон поражения аварийной ситуации на ОПО на карте.

Данный модуль состоит из двух частей: блок ввода и блок расчета. Ввод представляет собой создание 2D пространственно-информационной модели (ПИМ) опасного объекта. Пользователю необходимо обозначить расположение и ввести свойства здания/сооружения (полигона). Основные свойства полигона:

- координаты полигона (долгота, широта);
- площадь ( $m^2$ );
- количество людей;
- полная стоимость сооружения (руб.);
- тип полигона (открытая местность, здание деревянное, здание кирпичное и т.п.).

Далее обозначить источник аварии, свойства аварийного источника:

- координаты эпицентра (долгота, широта);
- тип воздействия на окружающую среду (барометрическое, тепловое, химическое);
- количество потенциально-опасного вещества.

Расчетная часть сервиса обрабатывает ПИМ и строит поля риска для людей и зданий/сооружений, исходя из которых в последующем строится прогноз экономического и материального ущерба рассматриваемого объекта экономики.

В отличие от своих аналогов данный модуль предполагается реализовать, используя Web-технологии, что позволит клиентам вводить необходимые данные и получать результаты расчетов в Online-режиме.

## Список литературы

1. Отраслевое руководство по анализу и управлению риском, связанным с техногенным воздействием на человека и окружающую природную среду при сооружении и эксплуатации объектов добычи, транспорта, хранения и переработки углеводородного сырья с целью повышения их надежности и безопасности. РАО «Газпром», 1996. — 209 с.

2. ГОСТ Р 12.3.047-98 - ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов.

3. Анализ безопасности установок и технологий. Методическое пособие по проблемам регулирования риска / Под общей редакцией канд. техн. Наук С.В. Петрина. – Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. – 384 с.: ил. ISBN 5-9515-0021-4

4. Еналеев, Р.Ш. Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях / Р.Ш. Еналеев, Э.Ш. Теляков, В.А. Качалкин, Ю.С. Чистов, А.М. Закиров // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – №1. – С. 36 – 41.

5. Ваштиев В.К. Сервис прогноза последствий взрыва конденсированных взрывчатых веществ // Производство. Технология. Экология.: Международная конференция с элементами научной школы для молодежи: материалы конф. и шк. - Ижевск: Издательство “Удмуртский университет”, 2010. С. 87 - 89.

6. URL : <http://gochs.info/p776.htm>



## СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПОЖАРНОГО РИСКА И ФОРМИРОВАНИЯ ДЕКЛАРАЦИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СРЕДЕ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РЕСУРСА “БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ”

*Максимова Е.В.*

Декларация пожарной безопасности разрабатывается в соответствии со статьей 64 ФЗ № 123- “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” и статьей 49 Градостроительного кодекса Российской Федерации. Один из разделов Декларации включает оценку пожарного риска, обеспеченного на объекте защиты. В данном разделе определяется расчетная величина пожарного риска, на основании значения которой дается заключение об условиях соответствия (несоответствия) объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

Расчет пожарного риска является весьма трудоемким процессом, требующим достаточной специальной подготовки, поэтому в рамках Сервиса «Декларация пожарной безопасности» проблемно-ориентированного Ресурса «Безопасность в техносфере» (<http://rintd.ru/>) разработана обучающая система. Данная система обучения предназначена для ознакомления пользователя с порядком формирования Декларации пожарной безопасности. Любой пользователь, где бы он не находился, не имеющий специальных знаний в области пожарной безопасности (возможно, желающий их получить) и испытывающий недостаток времени, может разработать Декларацию с количественной оценкой пожарного риска, не обращаясь к третьим источникам информации. Система построена таким образом, что пошагово описывает весь алгоритм, имеет ссылки на наглядные примеры на промежуточных этапах. Кроме того система служит инструментом в организации учебных курсов для подготовки специалистов направления «Техносферная безопасность», так

как позволяет практически решать значимые задачи в области прогнозирования последствий пожара. Система обучения предусматривает, во-первых, руководство пользователя по работе в среде Ресурса и, во-вторых, перечень лабораторных работ по направлению «Прогнозирование последствий пожара», в которых последовательно приведен порядок расчета пожарного риска в соответствии с методикой [1]. Руководство пользователя по работе в среде Ресурса представляет собой алгоритм формирования Декларации пожарной безопасности, определенный в несколько этапов:

- 1.Создание пространственно-информационной модели здания с помощью редактора PlanMaker;
- 2.Сохранение в программе PlanMaker плана здания с расширением intd.
- 3.Передача файла intd на расчет и получение Декларации пожарной безопасности и приложения к ней.

Для работы в рамках Сервиса первоначально создается проект с указанием логина, при котором заполняются следующие поля: вводится имя проекта и пароль для доступа. Далее указываются краткое и полное названия создаваемого проекта, при необходимости детали проекта.

На первом этапе - создание пространственно-информационной модели здания необходимо выполнить следующие действия:

- 1.сфотографировать план эвакуации при пожаре либо отсканировать поэтажные планы технического паспорта здания и сохранить в форматах JPEG (PNG).
- 2.сформировать набор общих данных по зданию с указанием следующей информации:
  - название объекта
  - адрес фактического места нахождения объекта, контактные данные ответственного лица
  - количество людей в здании, в т.ч. присменном режиме в первую и во вторую смены

- период времени, прошедший с последнего капитального ремонта или с момента постройки здания, в годах
- характеристик материалов строительных конструкций здания - выбрать тип здания:
  - здания особо капитальные с железобетонным или металлическим каркасом, с заполнением каменными материалами
  - здания капитальные со стенами из штучных камней или крупноблочные
  - здания со стенами из облегченной каменной кладки
  - здания со стенами из облегченной каменной кладки; колонны и столбы кирпичные или деревянные, перекрытия деревянные
  - здания деревянные с бревенчатыми или брусчатыми рублеными стенами
  - здания деревянные, каркасные и щитовые
- характеристики противопожарной защиты здания – выбрать параметры системы оповещения и управления эвакуацией людей в здании:
  - не оборудовано системой оповещения и управления эвакуацией
  - оборудовано звуковым сигналом оповещения об эвакуации
  - оборудовано системой передачи речи и световыми оповещателями «Выход»
- оснащенность здания автоматическими установками пожаротушения, %  
(определяется на основе пропорционального соотношения наличия автоматических установок пожаротушения и площадью помещений здания. Оснащенность 100 % - при полном оснащении здания автоматическими установками пожаротушения)
- оценка возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара:

- оценка возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара не производилась
- имущество третьего лица застраховано (название документа, которым застрахована гражданская ответственность перед третьими лицами)
- оценка возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара (оценка остаточной стоимости имущества третьих лиц)
- возможность ущерба имуществу третьих лиц от пожара отсутствует

3. сформировать набор общих данных по помещениям здания в соответствии с таблицей 1.

**Таблица 1. Формирование общих данных по помещениям**

Номер помещения *)	Характеристики помещения					
	Этаж	Код помещения **)	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Кол-во людей в помещении

\*) Номер помещения связывает характеристики помещения с планом этажа.

\*\*) Код помещения, определяется функциональным назначением помещения. Код определяется в соответствии с таблицей 2

**Таблица 2.** Определение назначения помещения

Код помещения	Назначение
1.	Учебные классы
2.	Компьютерные классы (15 комп)
3.	Спортивные помещения
4.	Специализированные учебные аудитории
5.	Учебно - вспомогательные помещения
6.	Административные (офисные) помещения
7.	Научно - исследовательское помещение
8.	Служебные помещения
...	...

4. загрузить программу для создания пространственно-информационной модели Редактор PlanMaker и инструкцию к ней (инструкция содержит подробный порядок работы в редакторе, поэтому дальнейшая работа осуществляется в соответствии с ней).

5. в соответствии с инструкцией создать в Редакторе новый проект и заполнить форму по созданию модели - загрузить заранее подготовленный план здания в форматах JPEG или PNG (см. п.1).

6. в соответствии с инструкцией ввести общие данные по зданию (см. п.2) и данные по помещениям здания (см.п.3), произвести векторизацию (векторизованный план приведен на рис.1).



**Рис.1** Векторизованный план здания в программе PlanMaker

7. Сохранить проект с целью последующего экспорта на расчет в формате (data.intd).

8. Для создания декларации перейти по ссылке <http://rintd.ru/declaration> и в рамках персонализированного кабинета загрузить созданную пространственно-информационную модель в формате intd, открыть сформированные Декларацию пожарной безопасности и приложение к ней.

В персонализированном кабинете допускается редактирование общей информации по зданию и количеству находящихся в здании людей.

Формируемые документы - Декларация пожарной безопасности и Приложение к Декларации соответствуют требованиям Приказа Министерства РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий № 91 «Об утверждении формы и порядка регистрации Декларации пожарной безопасности» от 24 февраля 2009 г. и Постановления Правительства Российской Федерации № 272

«О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» от 31 марта 2009 года.

Таким образом, приложение к Декларации представляет собой отчет об условиях соответствия (несоответствия) объекта защиты требованиям пожарной безопасности, формируемый на основании результатов расчетов величины пожарного риска.

В соответствии с методикой [1] величина индивидуального пожарного риска определяется для сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей. Количество сценариев, для которых прогнозируются последствия пожара, совпадает с количеством помещений в здании. Для каждого сценария моделируются два процесса: распространение пожара в здании и эвакуация людей из здания в условиях пожара. При моделировании пожара используется интегральная модель пожара, при моделировании процесса эвакуации используется модель индивидуально-поточного движения людей из здания [1].

Результаты расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара представлены для всех сценариев пожара, которые возможны в здании. Номер сценария совпадает с номером помещения, где возник очаг пожара. В каждом помещении здания контролируются значения опасных факторов пожара (температура, тепловой поток, содержание кислорода, углекислого газа, окиси углерода, хлористого водорода). Предполагается, что помещение переходит в разряд непроходимых для человека, если значение хотя бы одного из опасных факторов пожара достигло критического уровня. Для каждого сценария из полученных в результате расчета значений, выбирается минимальное, которое принимается в качестве времени блокирования данного помещения. Информация по каждому из сценариев пожара в здании представляется в таблице.

Моделирование процесса эвакуации осуществляется для каждого из сценариев, которые могут иметь место в здании. При моделировании процесса эвакуации, в условиях заданного сценария, контролируется положение каждого человека в здании. Путь эвакуации обозначается в виде последовательности номеров помещений, через которые проходит эвакуация. Траектория движения последнего человека, покинувшего здание при пожаре, в условиях каждого из сценариев, отмечается в таблице (Критический путь эвакуации).

Для выделения сценария, приводящего к наиболее неблагоприятным последствиям, вводится целевая функция:

$$T = t_n + e^{c(1-nN)}, \text{ где}$$

$t_n$  - время эвакуации последнего человека, покинувшего здание при пожаре;

$N$  - количество людей, находящихся в здании до пожара;

$n$  - количество людей, вышедших из здания;

$c$  - константа, определяющая вклад в целевую функцию последствий пожара, приводящих к летальному исходу ( $c=10$ ).

Сценарий, для которого целевая функция принимает максимальное значение, соответствует неблагоприятному сценарию с наихудшими последствиями для находящихся в здании людей.

Таким образом, расчетная величина пожарного риска определяется для данного сценария и указывается в разделе 3 приложения к Декларации.

Кроме того, при получении Декларации пожарной безопасности собственнику объекта защиты необходимо заполнить форму по архитектурно-строительной характеристике здания (раздел 2 приложения к Декларации) и провести оценку соответствия здания требованиям пожарной безопасности путем обозначения тех параметров, которые обеспечены на объекте.

Пользователь может ознакомиться с методикой, по которой определен порядок расчета пожарного риска в разделе обучение Ресурса. Методика представлена в виде лабораторных работ, которые содержат методы расчета последствий пожара в соответствии с [1] и включают следующие виды:

1. Создание пространственно - информационной модели здания

2. Расчет времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

3. Расчет вероятности эвакуации людей из здания

4. Расчет величины индивидуального пожарного риска

В каждой лабораторной работе приведен порядок расчета, подробно разобраны примеры расчета для конкретного помещения.

Значимость системы обучения в рамках Ресурса подтверждается тем, что Пользователь может дистанционно формировать Декларацию пожарной безопасности, не выходя за рамки Ресурса и не обращаясь к другим источникам. Кроме того, дистанционная система обучения для образовательного процесса позволяет конструировать эффективные учебные курсы по индивидуальным программам обучения, объединяя тем самым учебный процесс по подготовке и переподготовке специалистов с решением конкретных практических задач в области безопасности в рамках Ресурса «Безопасность в техносфере».

## Список литературы

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». Приложение к Приказу МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 6.08.2009 № 14486)

*Князев Г. П.*

В данной работе предлагается метод валидации моделей эвакуации и метод сравнения различных моделей эвакуации между собой с целью установления более точной, с точки зрения приближенности к реальности, модели.

Ключевые слова: эвакуация, модель эвакуации, поведение толпы, валидация, критерий эффективности, тестирование.

### Часть II. Математическое моделирование аварийных процессов

#### Введение

Существует множество различных подходов к моделированию эвакуации, и на каждом из них основываются несколько методов – для подобного многообразия необходимо наличие способов оценки эффективности предложенных моделей. Подобные методы предлагаются в данной работе.

Трудности моделирования людских потоков и незнание их закономерностей приводят к попыткам подмены процессов движения реальных людских потоков моделями других известных процессов иной физической природы. Автору близка оценка данному подходу, данная в [1]: «Одних интересует структура и закономерности явления, приводящие к наблюдаемому результату; других – только сами результаты. Первые, моделируя, пытаются воспроизвести структуру и закономерности явления, вторые только результаты, не вдаваясь в реальные механизмы их появления».

Следует отметить, что подмена процессов может происходить не только из-за тяги к простоте или формальным соответствиям выходных цифр, но и из-за тяги к сокращению сложности вычислений и соответственно к сокращению машинного времени, затрачиваемого на работу модели.

В любом случае, многообразие моделей эвакуации приводит к трудности выбора модели для конечного потребителя. И одним из важных критериев выбора является

её точность, в понимании соответствия реальным процессам. При этом возникает два основных перекликающихся вопроса – как понять – точна ли модель и как оценить эту точность?

Точность модели подразумевает, что она отражает процесс реального мира. Остаётся выяснить, в чём её измерять.

За долгие годы исследований научное сообщество накопило богатые знания о природе процесса эвакуации. Главным образом, это данные натурных наблюдений, запас которых постоянно пополняется. Статистическая база эмпирических данных позволяет опираться на неё при валидации моделей.

Основной зависимостью, определяющей динамику людского потока, является зависимость между скоростью его движения и плотностью. К концу 70-х гг. прошлого века общий объём эмпирических данных составил 24 478 одновременно фиксируемых значений скорости и плотности людских потоков в 69 сериях натурных наблюдений в зданиях различного назначения. В настоящее время этот объём превысил 40 тыс. замеров.

Предположим, мы разработали новую модель эвакуации и нам нужно удостовериться, что она соответствует реальности. Какие способы мы можем использовать для этого?

1. Сравнение с уже существующими валидными и верифицированными моделями.

2. Сравнение с данными натурных наблюдений.

При сравнении моделей мы должны выбрать, что именно в них мы сравниваем. Так как нас интересуют отличия в общем, то сравнение должно происходить на основе выбранных критериев. Т.е. модели должны обладать общими свойствами, значения которых сравнимы. Проблема в том, что сущности в моделях различны. Объединяет их процесс. Поэтому появляется задача формирования набора критериев, математически формализующих описанные реальные закономерности. С помощью этих критериев

становится возможным оценивать и сравнивать между собой различные модели эвакуации в части движения людей.

Оценка модели строится на двух понятиях:

Определение 1. Валидация – процесс определения насколько хорошо математическая модель предсказывает моделируемое реальное физическое явление. [3]

Определение 2. Верификация – процесс проверки правильности решения. [3]

Валидация, в числе прочего, опирается на сравнение опытных образцов с эталонными. Поэтому имеет смысл проводить валидацию моделей эвакуации через сравнение с эталонной моделью.

Определение 3. Под эталонной моделью будем понимать модель, наиболее полно отражающую реальный процесс (эвакуации).

Т.е. эталонная модель должна быть максимально приближена к реальности. Понятно, что реальный процесс осложняется множеством влияющих на него факторов, в большинстве своём случайных и не всегда поддающихся статистической обработке из-за малого количества натурального материала или его отсутствия. Поэтому говорить о полном соответствии эталонной модели и реальности не имеет смысла. Но если модель основана на данных натурных наблюдений и степень отклонения расчётных данных от них минимальна, то такую модель можно брать в качестве эталона. По крайней мере, пока не появится более точная модель.

Определение 4. Эвакуация – процесс организованного самостоятельного движения людей в безопасную зону.

Определение 5. Под агентом в данной работе будем понимать человека, который эвакуируется.

### Критерии

Два разных подхода к моделированию процесса эвакуации повлекли за собой создание двух крупных

основанных на них групп моделей – агентных и потоковых. Для сравнения их между собой нужно выделить общие для обеих групп критерии. Так как большее количество данных натуральных наблюдений было собрано в критериях потоков, то имеет смысл собирать данные для агентных моделей в виде данных потоковых моделей.

Основные параметры потока согласно:

- количество людей в потоке  $n$  (чел),
- плотность  $D$  ( $m^2/m^2$ ),
- скорость  $V$  (м/мин),
- величина потока  $PV$ .

Люди определяют плотность потока, поэтому их можно рассматривать в плотности. Величина потока может быть выражена через скорость и плотность. Поэтому основными параметрами, описывающими поток, являются его плотность и скорость. Определим области их значений.

Плотность  $D \in R$ , граничные значения – минимум  $D_{min}$  и максимум  $D_{max}$ .

$D_{min}$  можно определить исходя из значения плотности, принимаемого для разграничения двух видов движения людей – индивидуального и поточного. Имеет смысл рассматривать их отдельно, так как иначе теряются свойства потока. Данные приведены в таблице 1. Граница разграничения - плотность  $0,05 m^2/m^2$ .

$D_{max}$  определяется из физического предела плотности потока [4], который составляет 14 чел./ $m^2$  при средней площади горизонтальной проекции людей  $0,09 m^2$ , т.е.  $1,12-1,13 m^2/m^2$ . При этом площадь уменьшается примерно на 15% за счёт деформирования при сжатии. Так как при натуральных наблюдениях максимальное значение плотности не превышает  $0,92 m^2/m^2$ , то это значение может быть взято в качестве максимального.

Таблица 1. Вид движения людей в интервалах плотности потоков [5]

Значение плотности, $m^2/m^2$	0-0,05	0,05-0,15	0,15-0,4	0,4-0,7	0,7-0,9	0,9-1,0	1,0-1,15
Вид движения людей	индивидуальное	поточное					
	свободное	свободное	без контактных помех	с контактными помехами	с силовыми воздействиями		
					слитное	деформация тел	сдавливание тел

Скорость  $V \in R$ , граничные значения – минимальное  $V_{min}$  и максимальное  $V_{max}$ .

Очевидно, что минимальное значение не может быть отрицательным и, в процессе движения, люди могут стоять на месте (например, в случае высокой плотности потока). Поэтому примем  $V_{min} = 0$ .

$V_{max}$  можно определить исходя из данных натуральных наблюдений. В случае повышенной активности человека при движении по горизонтальной поверхности скорость свободного движения может принимать значения до 120 м/мин. Но в некоторых случаях максимальная скорость движения может превышать это значение (например, при опосредованном движении). В общем случае, очевидно, что скорость человека не превысит скорости света в свободном пространстве. Поэтому будем считать, что  $V_{max} \ll c \approx 18 \times 10^9$  м/мин.

Учитывая, что функция распределения плотности вероятностей скорости, при каждом фиксированном значении плотности потока, симметрична относительно своего математического ожидания скорости и имеет нижнюю границу, в качестве верхней границы можно взять. Для эталонной функции положим математическое ожидание скорости потока и дисперсию. Эталонная функция имеет

$$\text{вид: } p_s(d, v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma_s^2(d)}} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(v - v_s(d))^2}{2 \cdot \sigma_s^2(d)}\right), \text{ где}$$



$$v_x(d) = \begin{cases} V_{0,k} \cdot (1 - a_k \ln(d / D_{0,k})) \cdot M, & D_{0,k} \leq d \leq D_{\max} \\ V_{0,k}, & D_{\min} \leq d < D_{0,k} \end{cases}$$

$$s_{st}(d) = s(V_{0,k}) \times (1 - a_k \ln(d / D_{0,k})).$$

Коэффициенты  $V_{0,k}, D_{0,k}, a_k, M, \sigma(V_{0,k})$  берутся из таблиц 2 и 4, приведённых ниже, в разделе «сравнение с нормами». Там же объясняется их физический смысл.

Сравнение. Алгоритм сравнения.

Для сравнения моделей выбираются общие условия, главным образом это один вид пути – горизонтальная плоскость. Для более точного сравнения можно провести расчёты для всех видов путей. Валидность модели устанавливается для каждого из видов путей по отдельности.

Можно ввести уровень валидности  $\alpha$ , который определяет максимально допустимый процент отклонения от эталонных параметров. Он устанавливается исходя из требований точности. Для общего случая можно взять 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

Определим  $Q$ , как область пространства  $R^2$ , такую, что:

$$\forall q \in Q \quad q = (d_q, v_q)$$

где  $d_q \in D_q = [D_{\min}; D_{\max}]$ ,  $v_q \in V_q = [V_{\min}; V_{\max}]$ .

Функция  $p(d, v)$  с областью определения  $Q$  принимает свои значения в  $[0; +\infty)$ . Так как

$$\int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} p(d, v) \times dv \times dd = 1,$$

то двойной интеграл:

$$\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} p(d, v) \times dv \times dd \leq \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} 1 \times dd = D_{\max} - D_{\min} \text{ т.е. конечен.}$$

Сравнение двух моделей по критериям плотности потока и его скорости происходит следующим образом. Сравниваются две функции  $p_1(d, v)$  и  $p_2(d, v)$ , каждая соответствует своей модели и отражает вероятность модели движения принимать значения плотности потока  $d$  и скорости потока  $v$ .

Функции для сравнения могут быть представлены как в классическом непрерывном виде, так и в виде набора данных эксперимента. Если сравнение идёт с эталонной функцией (валидация), то  $P_1 \equiv P_s$ . Если в сравнении присутствует набор данных, то в  $Q$  строится сетка, в общем случае прямоугольная. Для каждого элемента сетки рассчитывается плотность вероятности, по общему количеству точек, попавших в элемент и по общей плотности вероятности. Если обе функции заданы в виде непрерывных, то интегрирование можно проводить сразу по всей области определения (при дополнительном условии совпадения их для обеих функций).

В общем виде,

$$P_{1D} = \int_{D_i, d} \int_{D_j, v} p_1(d, v) \times dv \times dd, \text{ где}$$

$$D_i d = [d_{i-1}; d_i] - \text{отрезок в } [D_{\min}; D_{\max}], \text{ где}$$

$$d_0 = D_{\min} \text{ и } d_{i\max} = D_{\max}, \text{ } i = 1..i\max, \text{ } i\max - \text{размерность сетки по } d, \text{ аналогично -}$$

$$\Delta_j v = [v_{j-1}; v_j] - \text{отрезок в } [V_{\min}; V_{\max}], \text{ где}$$

$$v_0 = V_{\min} \text{ и } v_{j\max} = V_{\max}, \text{ } j = 1..j\max, \text{ } j\max - \text{размерность сетки по } v.$$

В виде данных эксперимента (набор точек в области определения),

$$p_{2\Delta} = \frac{k_{\Delta}}{n} P, \text{ где}$$

$n$  - количество точек в эксперименте,  
 $k_{\Delta}$  - количество точек, попавших в элемент сетки  $\Delta$ ,  
 $P = 1 \times \Delta D$  - полная плотность вероятности по области определения  $Q$ , где

$$\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$$

Введём  $L$  – коэффициент валидности модели, отражающий точность соответствия реальному процессу движения при эвакуации в заданных условиях.

$$L_{\Delta} = \text{Min}\{p_{1\Delta}, p_{2\Delta}\}$$

$$L = \sum_{\forall \Delta} L_{\Delta} / P$$

Если  $L \geq 1 - \alpha$  и сравнение было с эталоном, то модель считается валидной. Даже если модель не валидна, коэффициент валидности позволяет оценить степень отклонения от эталона. В случае если  $L = 0$  модель не валидна и не сравнима.

#### Сравнение с нормами

Как известно, МГСН 4.19-2005 [6] впервые нормируют связь между параметрами людского потока в виде случайной функции.

Скорость движения людского потока при плотности  $D_i$  на  $i$ -ом отрезке участка пути  $k$ -ого вида – случайная величина  $V_{D,k}$ , имеющая числовые характеристики:

- математическое ожидание (среднее значение):

$$V_{D,k} = V_{0,k} (1 - a_k \ln(D_i / D_{0,k})) M \text{ при } D_i \geq D_{0,k}, \text{ чел./м}^2;$$

- среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) \sqrt{1 - a_k \ln(D_i / D_{0,k})}$$

где  $V_{0,k}$  и  $\sigma(V_{0,k})$  математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при  $D_i \leq D_{0,k}$ ) и её среднее квадратичное отклонение, м/мин;

$D_{0,k}$  – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по  $k$ -ому виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

$a_k$  – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по  $k$ -ому виду пути;

$D_i$  – значение плотности людского потока на  $i$ -ом отрезке участка пути, чел./м<sup>2</sup>;

$M$  – коэффициент влияния проёма.

Значения перечисленных параметров приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения параметров

Вид пути, k	$V_{0,k}$ м/мин	$\sigma(V_{0,k})$ м/мин	$D_{0,k}$ чел./м <sup>2</sup>	$a_k$	M
Горизонтальный в здании	100	5	0,51	0,295	1
Горизонтальный вне здания	100	5	0,70	0,407	1
Проём*	100	5	0,65	0,295	1,25 – 0,05 D, при D > 5 чел./м <sup>2</sup>
Лестница вниз**	100(80)	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	60	2,5	0,67	0,305	1

\*При  $D = 9$  чел./м<sup>2</sup> значения  $V_{D,k} = q_i$  определяются по формуле  $q_i = 10(3,75 + 2,5b_i)$ , чел. м/мин,

где  $b_i$  – ширина проёма;

\*\*100 м/мин – при длине пути эвакуации по лестнице не более 50 м, 80 м/мин – более 50 м.

Для маломобильных групп людей [7].

Таблица 3. Характеристика групп мобильности

Группа мобильности	Характеристика людей в группе	Площадь горизонтальной проекции человека, м <sup>2</sup>
M1	Люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха	0,1
M2	Немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями	0,2
M3	Инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки)	0,3
M4	Инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную	0,96

Таблица 4. Значения параметров уравнения скорости движения для маломобильных групп людей по видам пути

Группы мобильности	Значения параметров	Величина параметров по видам пути (j)				
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх
M1	V <sub>0,j</sub>	100	100	60	115	80
	D <sub>0,j</sub>	0,051	0,089	0,067	0,171	0,107
	a <sub>j</sub>	0,295	0,400	0,305	0,399	0,399
M2	V <sub>0,j</sub>	30	30	20	45	25
	D <sub>0,j</sub>	0,135	0,139	0,126	0,171	0,146
	a <sub>j</sub>	0,335	0,346	0,348	0,438	0,384
M3	V <sub>0,j</sub>	70	20	25	105	55
	D <sub>0,j</sub>	0,102	0,208	0,120	0,122	0,136
	a <sub>j</sub>	0,350	0,454	0,347	0,416	0,446
M4	V <sub>0,j</sub>	60	-	-	115	40
	D <sub>0,j</sub>	0,135	-	-	0,146	0,150
	a <sub>j</sub>	0,400	-	-	0,424	0,420

Проведённые исследования [8, 9] показали, что изменение скорости движения маломобильных людей в зависимости от плотности имеет те же закономерности, что и описываемые ранее.

Заключение.

В процессе исследования различных моделей эвакуации были найдены критерии оценки их эффективности, в том числе на основе закономерностей, наблюдаемых в реальных толпах. Данные критерии позволяют сравнить несколько моделей между собой с целью изучения их расхождения с реальными толпами.

Следует также добавить, что любая механическая модель движения людей (толпы людей), в которой проявляются вышеописанные критерии и которая им соответствует, всё же является приближением к реальности и не передаёт социальных свойств толпы и отдельного

человека. Поэтому нельзя говорить о возможности полного сравнения моделей, используя только описанные в статье методы. Тем не менее, они позволяют провести валидацию модели, по крайней мере, в первом приближении.

На основании описанного в работе подхода построен валидатор моделей эвакуации, который может быть использован для валидации выбранной модели и сравнения моделей между собой с точки зрения точности соответствия реальному процессу эвакуации. С помощью данного инструмента планируется оценивать пополняемый комплекс моделей портала [www.rintd.ru](http://www.rintd.ru).

## Список литературы

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978.
2. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах: Учеб. Пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.
3. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania. ASTM E 1355-04, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Models, 2004.
4. Копылов В.А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации: Дис. канд. техн. наук. (науч. рук. Предтеченский В.М., Ройтман М.Я.). – М.: МИСИ, 1974.
5. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учётом организации движения людских потоков. – М.: Изд. лит. по строительству, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U.S., New Delhi, 1978. Изд. 2. – М.: Стройиздат, 1979.
6. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
7. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
8. Кирюханцев Е.Е., Холщевников В.В., Шурин Е.Т. Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке: Сб. Безопасность людей при пожарах. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1999.
9. Шурин Е.Т., Апаков А.В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения «смешанных» людских потоков при эвакуации: Сб. Проблемы пожарной безопасности в строительстве. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2001. – С. 36-42.

## МОДЕЛИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ В ЗДАНИИ В ПРОЦЕССЕ ЭВАКУАЦИИ

*Яценко А.А.*

В мире разработано большое количество моделей эвакуаций, но все внимание в них уделено на процесс эвакуации, в частности на моделирование движений (людового потока). И только единичные модели предлагают функционал, позволяющий выполнить расчеты с учетом оптимизации по времени выхода последнего человека из здания. В данной статье представлен обзор существующих моделей данного типа, в сравнении с разрабатываемой новой моделью.

Прежде чем приступить к обзору моделей, необходимо ввести ряд принятых основных обозначений и терминов, используемых при разработке систем данной тематики, которые могут быть непонятны в процессе ознакомления. Под агентом подразумевается человек. Более подробную информацию вы можете найти в статье, приведенной в [6].

Структура – предоставляет доступ агентам к передвижению по зданию и поиск путей.

Представление агентов – видение агентами здания и обозначение агентов в здании.

Поведение агентов – выбор агентами действия в процессе эвакуации

Обзор существующих решений  
EVACNET4+

Данная модель может быть применена для различных типов зданий, таких как офисы, стадионы, высотные здания, отели, рестораны и школы. Основной задачей является оптимизация эвакуации из здания, сведение к минимуму времени эвакуации из здания[1-2].

Модель представляет людей в здании в виде потока, а поток представляет здание глобально, с момента эвакуации движение происходит по оптимальному пути. Хотя этот путь может быть не самым коротким, так как движение происходит в определенном направлении для снижения конечного времени эвакуации, агенты знают здание и перемещаются по самому оптимальному пути.

Каждое помещение представляется в виде вершины графа, а дверь в виде дуги, соединяющей вершины. Вес вершинам и дугам пользователь устанавливает сам.

### Takahashi's Fluid Model

Данная модель прогнозирует и оценивает время эвакуации людей при пожаре, с учетом минимального ущерба[3-4]. Необходимо отметить, что движение людей рассчитывается как движение жидкости.

Каждое из помещений в модели может быть представлено в виде 6 элементов: комнаты, пути, лестница, коридор, холл, и убежище области.

Модель представляет людей глобально, как однотипные группы с возможностью перемещаться как жидкость с константной скоростью, в каждое свободное пространство. Агенты знают здание и перемещаются по самому оптимальному пути. В таблице 1 представлены основные характеристики каждой модели.

### Сравнение моделей

В таблице 1 выделены самые основные параметры моделей.

**Таблица 1.** Основные характеристики моделей

Характеристика	Takahashi's Fluid Model	EVACNET4+	Разрабатываемая модель
Структура	Грубая	Грубая	Регулярная
Представление агентов	Поток	Поток	Агентная
Поведение людей	Нет	Нет	ИИ
Импорт CAD	Нет	Нет	Да
Визуализация	Нет	Нет	Да
Слияние потоков	Нет	Нет	Нет
Ручное задание выходов	Нет	Нет	Да
Влияние пожара	Нет	Нет	Да
Определение групп	Нет	Нет	Нет
Задержки	Да	Нет	Да
Выбор пути	Оптимальный	Оптимальный	Оптимальный
Использование лифта	Нет	Да	Нет
Влияние О.В. на агентов	Нет	Нет	Да
Нетерпение/бег агентов	Нет	Нет	Да
Распределение людей	Оптимальное, от помещения до выхода	Оптимальное	Оптимальное/ Ручное

Предлагаемый подход.

Структура.

Выбор регулярной сетки обусловлен тем, что она предлагает максимально точный поиск путей (в зависимости от шага ячейки) в отличие от грубой сетки, которая делит здание только на помещения, или помещения - на большие участки пути, тем самым снижая точность расчетов.

Рассмотрим более подробно процесс построения сетки. Для всего здания строится регулярная сетка с шагом N-метров, затем определяются проходимые зоны.

По узлам ячеек сетки строится взвешенный неориентированный граф, в котором ребра имеют неотрицательный вес. Выбор обусловлен тем что, агент может передвигаться по одному пути неоднократно. Для поиска используется алгоритм обхода графа в ширину, алгоритм Левита. Так как выходов из здания может быть более одного, данный алгоритм сохраняет все пути от одной вершины до всех остальных. Также этот алгоритм имеет очень хорошую асимптотику  $O(n \log(n))$ [5]. Поиск пути выполняется с каждым определенным шагом по времени.

Преимущество: точность расчетов.

Недостатки: скорость работы программы заметно ниже, чем в случае с остальными моделями.

### 3.2. Представление агентов

Агенты для здания представлены индивидуально. Каждый агент знает все выходы из здания, т.е. представляет здание глобально, а не локально (не по участкам). Данный подход можно сравнить с примером, в котором каждому человеку привязать оператор, который сообщал бы куда идти. Для более четкого понимания приведу в пример фильм «Матрица», часть первая, когда главного героя (Нео) координировали по мобильному телефону для того, чтобы он покинул незаметно здание.

Преимущество: точность расчетов, дает возможность оценить каждого агента отдельно, вплоть до определения влияний опасных факторов пожара на него.

Недостатки: скорость работы программы заметно ниже, чем в случае с представлением группы агентов в виде единого потока.

Таким образом, разрабатываемая модель имеет более точные расчеты. Важным фактором для более четкого понимания работы каждой модели эвакуации является ее визуализация. Также преимущество использования агентов с

попыткой реализации искусственного интеллекта является приближенным к реальности моделированием поведения людей.

При разработке используются только существующие алгоритмы и методики, которые хорошо зарекомендовали себя в смежных задачах.

### Список литературы

1. [1] Nelson, H. E. (2003). Personal Communication
2. [2] Johnson, P., Beck, D., & Horasan, P. (1994). Use of Egress Modeling In Performance Based Fire Engineering Design - A Fire Safety Study At The National Gallery of Victoria. In T. Kashiwagi (Ed.), Fire Safety Science - Proceedings of the 4th International Symposium (pp. 669-680).
3. [3] Takahashi, K., Tanaka, T., & Kose, S. (1988). An Evacuation Model for Use in Fire Safety Designing of Buildings. In Fire Safety Science -- Proceedings of the 2nd International Symposium (pp. 551-560).
4. [4] Tanaka, T. (5-12-2003). Internet Communication
5. [5] [электронный ресурс] [http://e-maxx.ru/algorithm/levit\\_algorithm](http://e-maxx.ru/algorithm/levit_algorithm) (дата обращения 2011г.)
6. [6] Производство. Технология. Экология: Материалы конференции и школы. – Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2010. – 332с., С.С. 39 – 49.

## МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА РИСКОВ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЙ

*Кузнецов А.П.*

Развитие экономики сопровождается ухудшением аварийной обстановки в результате функционирования объектов техносферы. Одним из видов аварий на объектах техно-сферы являются аварии с выбросом химически опасных веществ, сопровождающиеся по-вышением уровня и масштабов загрязнения окружающей среды. С нарушением естественного химического баланса в составе атмосферы связывают такие явления, как потепление климата, изменение озонового слоя, кислотные дожди, угнетение и гибель лесов, смоговые явления в загрязненных промышленных районах [1]. Появление значительных количеств токсикантов в атмосфере неизбежно сказывается на экосистеме в целом [2]. Адекватное описание химических процессов, протекающих в таком сложном реакторе, каким является атмосфера, возможно лишь с привлечением математических моделей, способных в сочетании с системами мониторинга, отобразить все многообразие явлений и их взаимодействие и позволяющих оценить последствия химических возмущений естественного состава атмосферы разными источниками [3].

Совокупности частиц, играющих существенную роль в превращениях химических элементов, для удобства объединены в семейства O-, H-, N-, S-, C-, Cl-, Br-, I-содержащих соединений [4]. Экспериментальные данные по химической кинетике и фотохимии газо-фазных реакций в последнее время обобщаются группой экспертов в рамках подкомитета ИЮПАК по газофазной кинетике, который периодически издает сборники кинетических и фотохимических данных, касающихся химии атмосферы [5].

Распространение поллютантов в окружающей среде при химических авариях чаще всего происходит в результате

их поступления в атмосферу и последующего их переноса. При этом возможны химические реакции загрязнителя с компонентами атмосферы и образование вторичных загрязнителей. Наряду с этим при переносе загрязнителей в атмосфере происходит ряд сопутствующих явлений: гравитационное оседание частиц, сухое и влажное осаждение, отражение от поверхности земли.

Перенос загрязнителей в атмосфере определяется, прежде всего, свойствами преобладающей воздушной фазы. Она отличается нестабильностью, пространственно-временной неустойчивостью различных её показателей. Вариации последних носят случайный характер (Рис. 1).

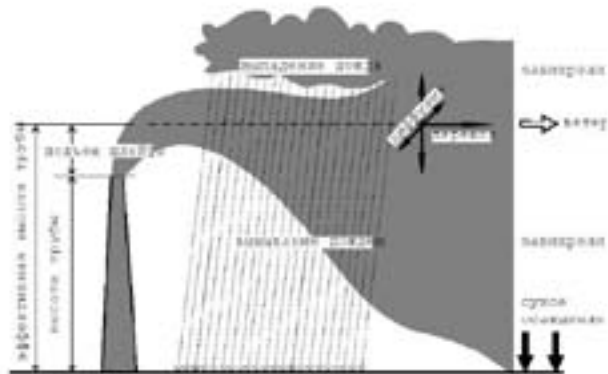


Рис. 1 Поведение загрязнителей в атмосфере

Таким образом, целью работы является разработка моделей переноса загрязнителей при аварийных выбросах химически опасных веществ с учётом их трансформации в окружающей среде.

Модель переноса в атмосфере.

Атмосферные модели переноса обычно формулируются на основе фундаментальных законов сохранения массы с учётом закономерностей, описывающих трансформацию загрязнителей и эмпирических зависимостей, отражающих изменение параметров моделей. При построении моделей переноса широко используются вероятностно-статистические представления о рассеянии вещества в пространстве. В роли выходных переменных обычно выступают пространственно-

временное распределение концентраций загрязнителя в пространстве и интенсивность массового потока на подстилающую поверхность.

В зависимости от сложности и назначения различают следующие модели атмо-сферного переноса:

- по назначению модели: ретроспективный анализ, текущий анализ или про-гноз;
- по уровню сложности, определяющему возможности применения модели: экспрессный или углублённый анализ.
- по теоретическому фундаменту: диффузионные, дисперсионные и аэроди-намические модели.

В настоящее время для экспресс-прогноза масштабов аварийных выбросов широкое распространение получили дисперсионные гауссовы модели распространения атмосферных примесей. Так в качестве штатной методики для служб ГО и ЧС рекомендована методика [6]. Для составления деклараций безопасности опасных объектов, использующих аварийно опасные химические вещества, применяется методика [7].

Гауссова модель переноса от мгновенного точечного источника проста и понятна. Она имеет солидное теоретическое обоснование, с точностью до обозначений совпадает с аналитическим решением дифференциального уравнения в частных производных, описывающего турбулентную диффузию в атмосфере в условиях однородной и стационарной турбулентности [8].

Нами была выбрана методика прогноза масштабов и последствий загрязнения ат-мосферы от спонтанных выбросов токсикантов, восполняющая пробелы, имеющиеся в ранее упомянутых методиках [9]. Указанная модель работоспособна при следующих параметрах:

1. Загрязнители могут представлять собой газы или паро-жидкостные смеси с плотностью, не превышающей плотность воздуха.
2. Предполагается, что метеоусловия не изменяются в течение периода времени, пока облако загрязнителя не рассеется.



3. Гауссова модель плохо учитывает формирование концентрационного поля пол-лютанта вблизи источника на расстояниях менее 100 м. Прогноз является удовлетворительным, если расстояние не превышает 10 км.

4. Эмпирические зависимости для дисперсий ограничено применимы для сильно пересечённой местности.

Концентрационное поле поллютанта, порождаемого мгновенным точечным источником в атмосфере, может быть описано выражением:

$$c(\underline{x}, t) = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{(1)}(u_1 t) \sigma_{(2)}(u_2 t) \sigma_{(3)}(u_3 t)} \exp \left[ -\frac{(x_1 - u_1 t)^2}{2\sigma_{(1)}^2(u_1 t)} - \frac{x_2^2}{2\sigma_{(2)}^2(u_2 t)} \right] \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(x_3 - x_{30})^2}{2\sigma_{(3)}^2(u_3 t)} \right] + \exp \left[ -\frac{(x_3 + x_{30})^2}{2\sigma_{(3)}^2(u_3 t)} \right] \right\} f_p(t) \cdot f_{oc}(t) \quad (1.1)$$

Эта зависимость отражает распределение поллютанта в пространстве и изменение во времени при следующих условиях:

масса поллютанта М выброшена из источника, находящегося в точке  $(0, 0, x_{30})$ , мгновенно в момент времени  $t=t_0=0$ ;

- ветер со скоростью  $u_1$  направлен вдоль оси  $x_1$ ;

- дисперсии  $\sigma_{(i)}^2$  являются функциями аргумента  $u_i t$ ;

-  $f_p(t), f_{oc}(t)$  - функции истощения облака, обусловленные соответственно химическим превращением поллютанта и оседанием, выражаются формулами:

$$\begin{cases} f_p(t) = e^{-kt}, \\ f_{oc}(t) = \exp \left\{ -\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{v_d}{u_1} \int_0^{u_1 t} \frac{d\beta}{\sigma_3(\beta) * \exp \left[ x_{30}^2 / 2\sigma_3^2(\beta) \right]} \right\} \end{cases} \quad (1.2)$$

где  $k$  - константа скорости деградации поллютанта;

$v_d$  - скорость оседания.

Дисперсии  $\sigma_{(i)}^2$  в формуле (1.2), исходя из того, что объем облака поллютанта в начальный момент времени  $t=0$  не равен нулю, можно записать в виде следующих выражений

$$\begin{cases} \sigma_{(1)}^2(u_1 t) = \sigma_1^2(u_1 t) + \sigma_0^2, \\ \sigma_{(2)}^2(u_2 t) = \sigma_2^2(u_2 t) + \sigma_0^2, \\ \sigma_{(3)}^2(u_3 t) = \sigma_3^2(u_3 t) + \sigma_0^2, \end{cases} \quad (1.3)$$

где поправка  $\sigma_0$  выражается формулой

$$\sigma_0 = \left[ M / (2^{1/2} \cdot \pi^{3/2} \rho) \right]^{1/3} \quad (1.4)$$

где  $\rho$  - плотность паров поллютанта.

Важно отметить, что данная поправка введена как в дисперсии, входящие в сомножитель

$\frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{(1)}(u_1 t) \sigma_{(2)}(u_2 t) \sigma_{(3)}(u_3 t)}$  так и в дисперсиях, содержащихся в показателях экспонент. В силу этого не нарушается условие материального баланса

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} c(\underline{x}, t) dx_1 dx_2 dx_3 = 1. \quad (1.5)$$

В качестве дисперсионных зависимостей  $\sigma_i^2(u_i t)$  используем формулы Смита-Хоскера [7, 8], которые отражают влияние на дисперсию расстояния центра клуба от источника, класса устойчивости атмосферы и параметра шероховатости подстилающей поверхности.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{c_3 \cdot u_i t}{\sqrt{1 + 0,0001(u_i t)}} \quad (1.6)$$

где коэффициент  $c_3$  зависит от категорий (классов) устойчивости атмосферы.

Таблица 1. Зависимость коэффициента  $c_3$  от категорий (классов) устойчивости атмосферы

Категория (класс) устойчивости атмосферы	A =1	B =2	C =3	D =4	E =5	F =6
Значение $\sigma_3$	0,22	0,16	0,11	0,08	0,06	0,04

Класс А соответствует сильно неустойчивой атмосфере с преобладанием конвективных процессов. Класс В – умеренно неустойчивой атмосфере, С – слабо неустойчивой атмосфере. Класс D отвечает нейтральной стратификации атмосферы. Класс E означает, что атмосфера слабо устойчива, наблюдается инверсия. Наконец, класс F соответствует умеренно устойчивой атмосфере.

Таблица 2. Классы устойчивости атмосферы по Паскуиллу

Скорость [м/с]	День)			Ночь	
	Солнечная радиация			Облачность	Ясно
	Сильная	Умеренная	Слабая	Обл > 4/8	Обл < 3/8
<2	A = 1	A- B = 2	B = 2		
2-3	A-B	B	C = 3	E = 5	F = 6
3-5	B	B-C	C	D = 4	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Выражение для вычисления величины  $\sigma_3$  :

$$\sigma_3 = \begin{cases} F(u_1 t, Z_0) \cdot g(u_1 t) & F(u_1 t, Z_0) \cdot g(u_1 t) \leq \sigma_3^{\max} \\ \sigma_3^{\max} & \text{при } F(u_1 t, Z_0) \cdot g(u_1 t) \geq \sigma_3^{\max} \end{cases} \quad (1.7)$$

где  $\sigma_3^{\max}$  есть максимально возможное значение среднеквадратического отклонения  $\sigma_3$ , которое задается таблицей 3.

Таблица 3. Максимально возможное значение величины  $\sigma_3$ .

Категория (класс) устойчивости атмосферы	A	B	C	D	E	F
Значение $\sigma_3$	1600	920	640	400	220	100

$F(Z_0, u_1 t_0)$  - корректирующий фактор, учитывающий влияние шероховатости подстилающей поверхности;  $g(u_1 t)$  - функция, отражающая влияние аргумента  $u_1 t$  при раз-ных категориях устойчивости атмосферы.

Функция  $F(u_1 t, Z_0)$  представляется в виде

$$F(u_1 t, Z_0) = \begin{cases} \ln \left\{ c_1 (u_1 t)^{d_1} \left[ 1 + \left[ c_2^* (u_1 t)^{d_2^*} \right]^{-1} \right]^1 \right\} & \text{при } Z_0 > 0,1 \text{ м} \\ \ln \left\{ c_1 (u_1 t)^{d_1} \left[ 1 + c_2^* (u_1 t)^{d_2^*} \right]^{-1} \right\} & Z_0 < 0,1 \text{ м} \end{cases} \quad (1.8)$$

Численные значения коэффициентов  $c_1, d_1, c_2^*$  и  $d_2^*$  представлены в таблице 4.

Таблица 4. Коэффициенты функции  $F(u_1 t, Z_0)$

Параметр шероховатости $Z_0$ , м	$c_1$	$d_1$	$c_2^*$	$d_2^*$
0,01	1,56	0,048	$6,75 \cdot 10^{-4}$	0,45
0,04	2,02	0,0269	$7,76 \cdot 10^{-4}$	0,37
0,1	2,72	0	0	0
0,4	5,16	- 0,098	18,6	-0,225
1	7,37	- 0,096	$4,29 \cdot 10^3$	- 0,60
4	11,7	- 0,128	$4,59 \cdot 10^4$	- 0,78

Функция  $g(u_1 t)$  для вычисления  $\sigma_3$  имеет вид:

$$g(u_1 t) = \frac{a_1 (u_1 t)^{b_1}}{1 + a_2 (u_1 t)^{b_2}} \quad (1.9)$$

Коэффициенты  $a_1, a_2, b_1$  зависят от категорий (классов) устойчивости атмосферы. Их численные значения представлены в таблице 5.

Таблица 5. Значения коэффициентов  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ .

Категория (класс) устойчивости атмосферы	Значения коэффициентов			
	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$
A	0,112	$5,38 \cdot 10^{-4}$	1,06	0,815
B	0,130	$6,52 \cdot 10^{-4}$	0,95	0,750
C	0,112	$9,05 \cdot 10^{-4}$	0,92	0,718
D	0,098	$1,35 \cdot 10^{-3}$	0,889	0,688
E	0,0609	$1,96 \cdot 10^{-3}$	0,895	0,684
F	0,0638	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,783	0,672

Химические реакции в клубе облака поллютанта.

В атмосферу выбрасывается большое количество химических веществ, находящихся в газовом и аэрозольном состояниях. Здесь они претерпевают ряд физико-химических изменений за счет механизмов фотохимической трансформации, нуклеации, конденсации/испарения и коагуляции. Все эти механизмы взаимосвязаны между собой, и каждый из них является частью общей комплексной экологической задачи. Из всех физико-химических процессов в атмосфере нами, в настоящей момент учитываются только химические реакции трансформации поллютанта в атмосфере. В применяемой модели элементы гидрометеорологического режима атмосферной циркуляции предполагаются известными, и исследуется протекание химических реакций на фоне атмосферных движений. При этом выделяют три случая в зависимости от соотношения между характерными химическими и динамическими ( $t_x$ ,  $t_d$ ) масштабами времени. Если ( $t_x < t_d$ ) (например, для короткоживущих атомов и свободных радикалов), то химические реакции можно рассматривать независимо от атмосферной динамики. В случае же ( $t_x > t_d$ ) роль динамики велика (что имеет место, например, при рассмотрении таких примесей, как хлорфторметан, карбонилсульфид, геммоксид азота и др.). Случай ( $t_x = t_d$ ) наиболее сложен. При этом, чтобы описать поведение (изменение концентрации) данной примеси и оценить время

ее пребывания в атмосфере, как правило, требуется совместный анализ гидрометеорологических, физических и химических процессов. Анализ пространственно-временных масштабов определяет постановку задач химии атмосферы.

Таким образом, можно выделить два крайних случая химической трансформации примеси.

1. Скорость химических реакций больше скорости переноса вещества ( $t_x < t_d$ ). В этом случае происходит быстрая трансформация поллютанта под действием компонентов атмосферы и рассеянию подвергается смесь продуктов реакций, для каждого из которых справедлива гауссова модель. При этом предполагается, что физические свойства исходного вещества и продуктов его превращения (в частности плотность) существенно не изменяются.

2. Скорость химических реакций меньше скорости переноса вещества ( $t_x > t_d$ ). В этом случае можно считать, что химическая трансформация примеси начинается после того, как установилось пространственное распределение концентраций поллютанта. Основой для расчёта концентраций будет служить начальная концентрация поллютанта в исследуемой точке.

В качестве характеристического времени  $t_x$  удобно взять период полупревращения вещества, который в случае реакций первого порядка (и в частности фотохимических) не зависит от концентрации вещества. Для оценки  $t_d$ , таким образом, следует принять время, за которое концентрация вещества упадёт вдвое за счёт процессов переноса.

Модели химии атмосферы в областях с повышенной антропогенной нагрузкой, характерной для индустриально развитых районов, позволяют описывать динамику возникновения и развитие смоговых ситуаций. Помимо оксида углерода, оксидов азота, диоксида серы и углеводородов, присутствующих в повышенных концентрациях в выбросах автотранспорта, факелах ТЭЦ и других объектах, были зарегистрированы также вещества, которые не присущи первичным промышленным

выбросам, например пероксинитраты, органические серо- и азотсодержащие соединения, органические кислоты и пероксиды. Кроме того, были обнаружены аномалии суточного хода концентраций озона [10]. В связи с многообразием химических реакций предлагается из основных циклов превращений наиболее важных загрязнителей выбрать наиболее быстротекущие реакции, отвечающие за трансформацию основной массы атмосферной примеси.

Основные циклы химических реакций в приземном слое атмосферы приведены ниже (рис 2-4).

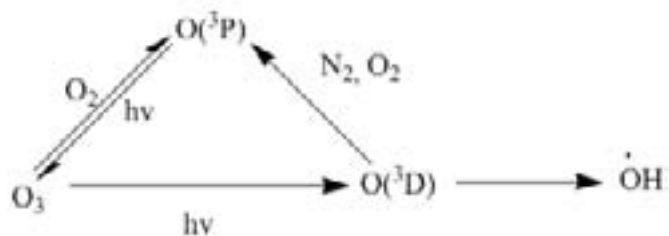


Рис. 2. Кислородно-озоновый цикл

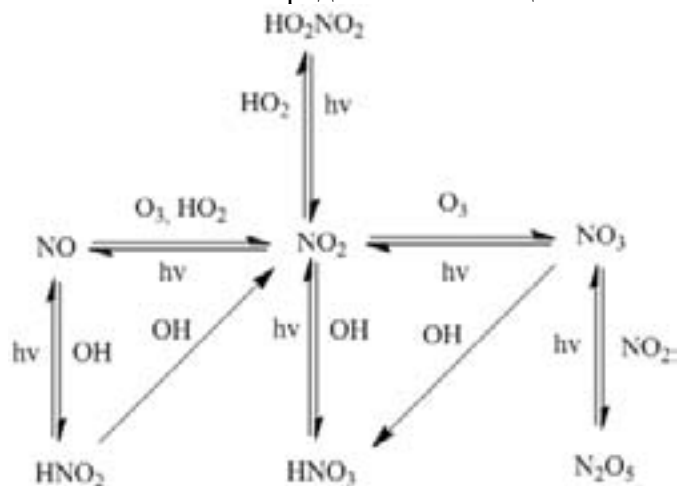


Рис. 3. Цикл соединений азота

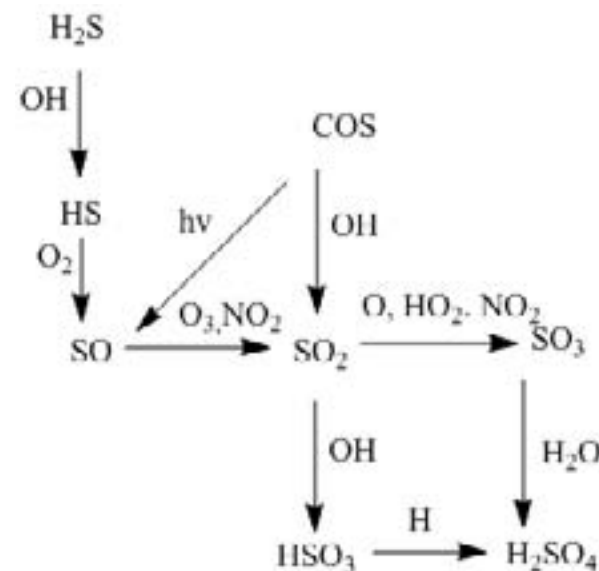


Рис. 4. Цикл соединений серы

Модель химической трансформации примеси в атмосфере основана на решении системы кинетических уравнений, записанных для реакций разложения исходной примеси и взаимодействия продуктов разложения и исходного вещества с компонентами атмосферы. Построение кинетических уравнений основано на построении стехиометрических матриц для реагентов и продуктов и столбца  $V$ , определяющего полный набор участвующих в реакциях веществ. В результате набор химических реакций запишется следующим образом:



где  $k$  – столбец коэффициентов скорости реакция,  $S^r, S^p$  стехиометрические матрицы реагентов и продуктов соответственно размерности  $m, n$ , где  $n$  – число веществ,  $m$  – число реакций/

Эта запись позволит представить систему кинетических уравнений в виде:

$$\frac{dC_i}{dt} = \sum_{j=1}^n (m_{ij}^p - m_{ij}^r) k_i \prod_{l=1}^m C_l^{m_{li}^r} \quad (1.11)$$

Здесь  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества из столбца  $V$ ;  $s_{ij}$  – матричные элементы со-ответствующих стехиометрических матриц. В задачах химии атмосферы встречаются ре-акции трёх типов: фотолизные, имеющие первый кинетический порядок и термические, первого, второго и реже третьего порядка.

Для нахождения законов сохранения строится молекулярная матрица  $M$ , число строк которой равно числу веществ, а число столбцов – числу элементов. Элемент  $m_{ij}$  – показывает с каким весом входит  $j$ -й элемент в  $i$ -е соединение. Закон сохранения числа атомов примет вид:

$$MV = C_i \quad (1.12)$$

Число законов сохранения равно числу химических элементов. Законы сохранения позволяют уменьшить число уравнений на число химических элементов. Благодаря произволу в выборе исключаемых уравнений можно избавиться от медленно меняющихся переменных, таких как основные компоненты атмосферы  $N_2$  или  $O_2$ .

Построение математических уравнений в рамках химической кинетики разделяется на последовательность действий, в число которых входят:

1. Вывод символьных кинетических уравнений и их корректировка для открытых систем;

2. Задание атмосферных условий, при которых проводится анализ (высота, температура, давление, солнечная постоянная, статистическая модель атмосферы, альбедо отражающей поверхности);

3. Для открытой химической системы – задание источников и стоков для веществ;

4. Исключение веществ и с помощью законов сохранения;

5. Вычисление коэффициентов скорости реакций;

6. Построение редуцированной системы кинетических уравнений.

### Расчет констант скоростей химических реакций

Для большинства термических реакций второго и третьего порядка формат представления кинетических данных имеет вид трехпараметрического уравнения Аррениуса

$$k(T) = A \exp\left(-\frac{E}{R T}\right) \left(\frac{T}{300}\right)^{-n} \quad (2.1)$$

При таком описании для определения коэффициента скорости необходимо хранить несколько числовых констант, а именно:  $A$ ,  $-E/R$  и  $n$ .

Для реакций диссоциации и рекомбинации для умеренно сложных молекул в области не очень высоких температур применимо приближенное выражение:

$$k = \frac{k_0 k_\infty}{k_0 + k_\infty} F \quad (2.2)$$

где первые члены представляют собой выражение Линдемана — Хиншельвуда, а дополнительный расширяющий множитель  $F$  при не очень высоких температурах задается:

$$\lg F = \frac{\lg F_c}{1 + \left[\lg \frac{k_0}{k_\infty}\right]^2} \quad (2.3)$$

$k_0, k_\infty$  – предельные значения константы скорости при низком и высоком давлении соответственно. Каждое из этих значений константы скорости зависит от температуры по закону Аррениуса (2.1). Константа скорости фотохимической реакции определяется следующим образом:

$$k(\lambda, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \sigma(\lambda, T) \Phi(\lambda, T) I(\lambda) d\lambda \quad (2.4)$$

где  $\sigma(\lambda, T)$  - сечение поглощения,  $\Phi(\lambda, T)$  - квантовый выход реакции,  $I(\lambda)$  - интенсивность излучения. Первые две величины табулированы в справочных таблицах IUPAC. Последняя величина вычисляется исходя из выбранной модели атмосферы.

В численных расчетах уравнение (2.4) записывается в приближенном виде:

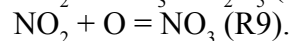
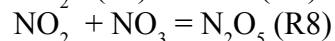
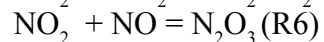
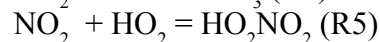
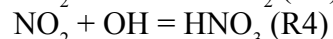
$$k(\lambda, T) \approx \sum_i \sigma_i(\lambda, T) \Phi_i(\lambda, T) I_i(\lambda) \Delta\lambda_i \quad (2.5)$$

Пример модели – химическая трансформация азотной кислоты.

Рассматриваются два основных пути трансформации исходного вещества - термический и фотохимический. В термическом пути распада принимает участие активный радикал OH, постоянно присутствующий в атмосфере.

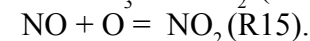
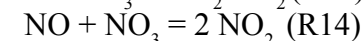
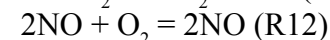
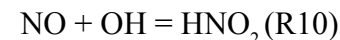


Общий продукт реакций  $\text{NO}_2$  подвергается дальнейшему превращению

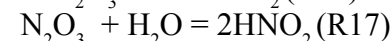
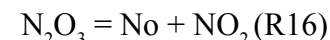


Вновь образовавшиеся соединения азота начинают третью цепочку превращений, замыкая цикл превращений азотсодержащих веществ.

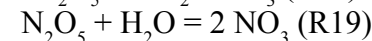
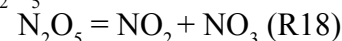
Трансформация NO:



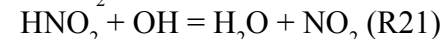
Трансформация  $\text{N}_2\text{O}_3$ :



Трансформация  $\text{N}_2\text{O}_5$ :



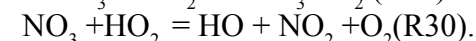
Трансформация  $\text{HNO}_2$ :



Трансформация  $\text{HO}_2\text{NO}_2$ :



Трансформация  $\text{NO}_3$ :



Таким образом, цикл азота включает в себя 30 реакций. Кроме того, в расчетную схему должны быть включены реакции, описывающие эволюцию основных компонентов атмосферы OH, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O, H и H<sub>2</sub>, включая возбужденные состояния молекул (в первую очередь это касается молекул O и O<sub>2</sub>).

Реакции отбираются по справочным таблицам IUPAC по атмосферной химии. Из приведенных в справочных таблицах

фотохимических реакций отбрасываются те, кото-рые идут при длине волны  $\lambda < 290$  нм.

Структура сервиса «Химическая авария».

Модуль по расчёту рисков химических аварий должен включать в себя следующие структурные блоки (части):

1.Блок расчёта пространственно-временного распределения полей концентрации поллютантов. В первую очередь, для экспресс-оценок аварийной ситуации реал-изуется гауссова модель переноса в атмосфере.

2.Блок выбора модели химической трансформации для конкретного выброшенного в атмосферу вещества.

3.Блок расчёта концентраций первичного и вторичных поллютантов на основе уравнений химической кинетики.

4.Блоки расчёта вероятности поражения людей данным токсическим веществом при заданном времени воздействия.

Для обслуживания сервиса необходимы базы данных по моделям химической трансформации, кинетическим данным атмосферных реакций и токсическим свойствам веществ.

## Список литературы

1. Химия окружающей среды./Под ред. Дж. О. М. Бокриса. М.: Химия, 1982. 671 с.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
3. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
4. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 413 с.
5. Керр Дж. А. Экспертные оценки кинетических данных для применения в исследованиях по атмосферному моделированию.// Успехи химии, 1990, т.59, вып. 10, С. 1627.
6. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС/ Под ред. К.П. Махонько. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 264 с.
7. Методика оценки последствий химических аварий (Методика “ТОКСИ”. Вторая редакция). М.: НТЦ ”Промышленная безопасность”, 1999, 83с
8. Горский В.Г., Моткин Г.А., Петрунин В.А., Терещенко Г.Ф., Шаталов А.А., Швецова-Шиловская Т.Н. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. М. Экономика и информатика. 2002. 260 с.
9. Количественная оценка риска химических аварий./Под ред. В.М. Колодкина., Ижевск, 2001, 228 с.
10. Пененко В.В. Скубневская Г. И. Математическое моделирование в задачах химии атмосферы // Успехи химии, 1990, т 59, вып. 11, с. 1757

## СРАВНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ЗОННОЙ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРА

*Сивков А.М.*

Оценка времени, через которое пути эвакуации людей из здания при пожаре оказываются заблокированными, требует расчета скорости изменения опасных факторов пожара. К опасным факторам относятся, прежде всего, повышенная температура воздуха и его задымление.

Чтобы рассчитать температуру воздуха и содержание в воздухе опасных примесей используются три основных группы математических моделей: интегральные, зонные и полевые.

В интегральных моделях принято упрощающее предположение, что температура воздуха и содержание в нем примесей во всех точках помещения одни и те же, и меняются только с течением времени.

В зонных моделях помещение делят на зоны, обычно две: верхнюю и нижнюю - в которых температура воздуха различна. Связано это с тем, что в помещении, где происходит горение, температурные контрасты обычно велики. Горячий воздух, имеющий существенно меньшую плотность, всплывает к потолку, а холодный остается внизу. И горячая и холодная зоны считаются однородными по температуре, но температура воздуха в каждой из зон зависит от времени. Объем зон, а значит и положение горизонтальной границы между ними, с течением времени может меняться за счет перетекания нагреваемого воздуха из одной зоны в другую.

В третьей группе моделей не делается подобных упрощающих предположений о температуре. В полевых моделях принято, что температура воздуха различна во всех точках помещения и может быть рассчитана лишь с учетом конкретного расположения источника горения.

В связи с этим, полевые модели очень требовательны к заданию исходных условий и вычислительным ресурсам. Имеет смысл использовать их для расчета картины пожара

только в тех случаях, когда геометрия помещения и расположение в нем людей являются очень сложными: театры, многоярусные торговые центры и т.п. В остальных случаях разумнее пользоваться интегральными и зонными моделями пожара. Выбор в каждом конкретном случае между этими двумя простыми видами моделей зависит от того, какую разницу в результатах расчетов они дают.

Именно поэтому была предпринята описываемая далее работа. Она посвящена выявлению различий между результатами расчетов по интегральной и зонной модели пожара для некоторых несложных примеров.

Краткое описание моделей, использованных для сравнения .

Описание интегральной и зонной математических моделей содержится в приложении к приказу МЧС РФ № 382 от 30 июня 2009 г.

В обеих моделях здание рассматривается как совокупность помещений, соединенных друг с другом проемами (дверями). Помещения также могут иметь проёмы (окна) наружу. Проемы обеспечивают перетекание горячего задымленного воздуха из помещения с источником огня в другие помещения, а также из здания в атмосферу.

Основные уравнения интегральной модели приведены ниже.

Для расхода воздуха через проемы принята выведенная из закона Бернулли упрощенная формула

$$G = F\sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1)$$

где  $G$  – расход воздуха через проем, кг/с;

$F$  - площадь сечения воздушного потока, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха в потоке, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta P$  – средний перепад давлений между помещениями, Па.



Направление потока воздуха определяется соотношением давлений. Воздух движется через проем из помещения с большим давлением в помещение с меньшим давлением. В некоторых случаях в проеме имеется два встречных потока воздуха. В верхней части проема горячий задымленный воздух вытекает из помещения с источником пожара. В нижней части проема в помещение втекает компенсирующий поток холодного воздуха. Граница между выходящим и входящим потоками лежит на так называемой плоскости равных давлений.

Для каждого помещения используется дифференциальное уравнение баланса массы воздуха

$$\frac{dm}{dt} = \Psi + \sum_i G_i \quad (2)$$

где  $m$  – масса воздуха в помещении, кг;

$\Psi$  – скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с;

$\sum_i G_i$  – сумма расходов воздуха через проемы с учетом их знака, кг/с.

Уравнение баланса энергии имеет вид:

$$\frac{dU}{dt} = Q_z - Q_k + \sum_i c_p T_i G_i \quad (3)$$

где  $U$  – внутренняя энергия воздуха в помещении, Дж;

$Q_z$  – скорость выделения тепла при горении, Дж/с;

$Q_k$  – скорость поглощения тепла конструкциями, Дж/с;

$\sum_i c_p T_i G_i$  – сумма потоков тепла, переносимого воздухом через проемы, с учетом их знака.

В зонной модели используются аналогичные уравнения, но для каждой зоны в каждом помещении. Компьютерная программа, реализующая интегральную модель пожара, была подготовлена автором этой работы. В качестве компьютерной реализации зонной модели пожара была взята программа CFAST Национального института стандартов США.

Обеспечение сравнимости моделей.

Сравнение двух типов моделей необходимо, прежде всего, в части расчета температуры воздуха. Перетекание воздуха, и вместе с ним дыма, из горящего помещения в соседние помещения является вторичным явлением. Ведь движение воздуха порождается разностью давлений, которая в свою очередь возникает из-за разности температур. Если результаты расчета температуры воздуха по двум моделям не будут, хотя бы приблизительно, совпадать, проверять совпадение результатов расчетов распространения дыма вряд ли имеет смысл.

Однако, сравнение расчетов температуры для двух разных моделей имеет методическую трудность. Интегральная модель дает для всего помещения одну температуру воздуха, а зонная – две: для нижней зоны и для верхней. Ясно, что единая для помещения температура воздуха, рассматриваемая в интегральной модели, в действительности является средней температурой. Но только не средним арифметическим двух значений температуры, а средним с весовыми коэффициентами. Если верхняя зона имеет, к примеру, меньшую массу, чем нижняя, то и вклад ее в среднюю температуру меньше, чем вклад нижней зоны.

Поскольку температура является показателем количества внутренней энергии газа, рассматривать надо, в сущности, не температуру, а внутреннюю энергию. Это удобнее потому, что внутренняя энергия – величина аддитивная: внутренняя энергия всего воздуха в помещении равна сумме внутренних энергий нижней и верхней зон.

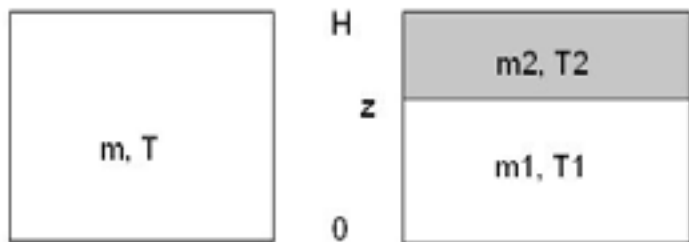


Рис. 1. Параметры интегральной и зонной модели. Здесь  $H$  – высота помещения,  $z$  – высота границы между зонами,  $m$  – масса воздуха в помещении или в зоне,  $T$  – температура воздуха.

Примем следующие приближения:

- помещение имеет отвесные стены и горизонтальные пол и потолок;
- масса воздуха в помещении много больше массы содержащихся в воздухе примесей;
- разность давлений в пределах помещения много меньше общего давления воздуха.

Учитывая, что внутренняя энергия произвольной массы воздуха равна

$$U = c_v m T \quad (4)$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме, для «средней» температуры воздуха в зонной модели имеем

$$c_v (m_1 + m_2) \langle T \rangle = c_v m_1 T_1 + c_v m_2 T_2 \quad (5)$$

или

$$\langle T \rangle = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} \quad (6)$$

Учитывая уравнение состояния идеального газа

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (7)$$

и то, что объем зоны пропорционален её высоте, получаем удобную формулу для расчета средней температуры в помещении:

$$\langle T \rangle = \frac{H}{\frac{z}{T_1} + \frac{H-z}{T_2}} \quad (8)$$

Выбор примера для расчета

Очевидно, что начинать сравнение двух типов моделей необходимо с самого простого случая: пожара в полностью закрытом помещении. Этот случай не осложнен потоками энергии и массы через проемы и соответствует наиболее легкому и «чистому» с точки зрения физики процессов варианту расчета. Если модели не будут иметь какого-то сходства даже в таком простом случае, то сравнивать их на более сложных примерах незачем.

Для моделирования пожара было выбрано помещение в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами основания  $10 \times 7$  м<sup>2</sup> и высотой 3 м, что примерно соответствует размерам школьного класса. Пожар задавался действующим на уровне пола в течение 20 минут источником тепла мощностью 100 кВт (горение метана с расходом 0.002 кг/с.). Было принято, что 67% теплоты сгорания передается воздуху непосредственно, а 33% расходуется пламенем на тепловое излучение.

В этом примере, для простоты, было принято, что пожар в помещении протекает адиабатически, то есть теплоотвод в стены, пол и потолок отсутствует.

Кроме тепла в помещение поступают продукты сгорания метана: углекислый газ и водяной пар в количестве, пропорциональном количеству сгоревшего топлива.

Расчет температуры с помощью интегральной модели.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (2) - (3) с привлечением уравнения (1) и уравнения состояния идеального газа, в совокупности с начальными условиями представляет собой задачу Коши. Расчеты изменения темпе

ратуры воздуха и содержания в нем примесей производились путем численного интегрирования этой системы уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Уравнения интегрировались по времени с шагом  $10^{-4}$  сек. Малый шаг обеспечивал достаточную вычислительную устойчивость схемы.

Результаты интегрирования достаточно просты, если не сказать банальны, и показаны на рисунке 2.

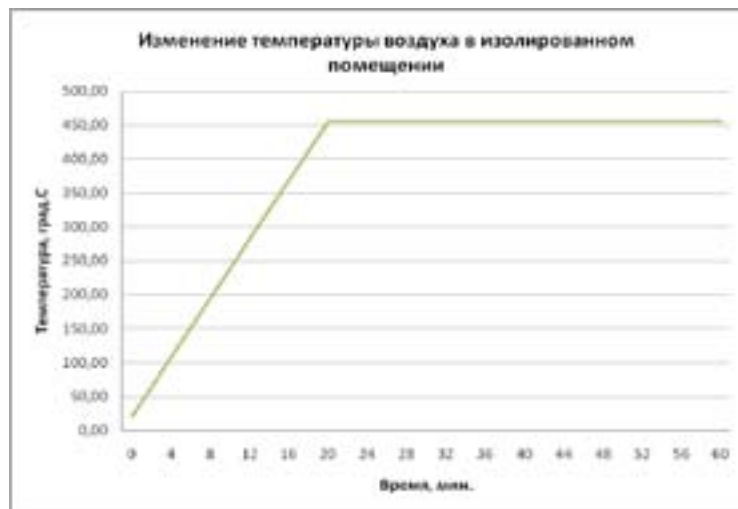


Рис. 2. Зависимость температуры воздуха от времени, полученная с помощью интегральной модели.

Расчеты показывают, что, пока происходит горение, температура воздуха линейно растет со скоростью 22 градуса в минуту. Это и неудивительно, так как теплота от выбранного идеализированного источника поступает в воздух в постоянном темпе. После выключения источника теплоты, температура воздуха остается постоянной, поскольку теплоотдача в стены помещения принята нулевой.

При начальной температуре воздуха  $20^{\circ}\text{C}$ , время достижения критической для человека температуры ( $70^{\circ}\text{C}$ ) для рассмотренного случая - чуть больше двух минут (136 секунд). Максимальное достигнутое за 20 минут горения интегральное значение температуры составляет  $456^{\circ}\text{C}$ .

Расчет температуры с помощью зонной модели .

Для того же самого примера расчеты были выполнены и с помощью программы CFAST, реализующей зонную модель. По температуре нижней и верхней зоны, высоте границы между зонами, согласно формуле (8), вычислялась средняя температура воздуха в помещении. Её зависимость от времени показана на рисунке 3.

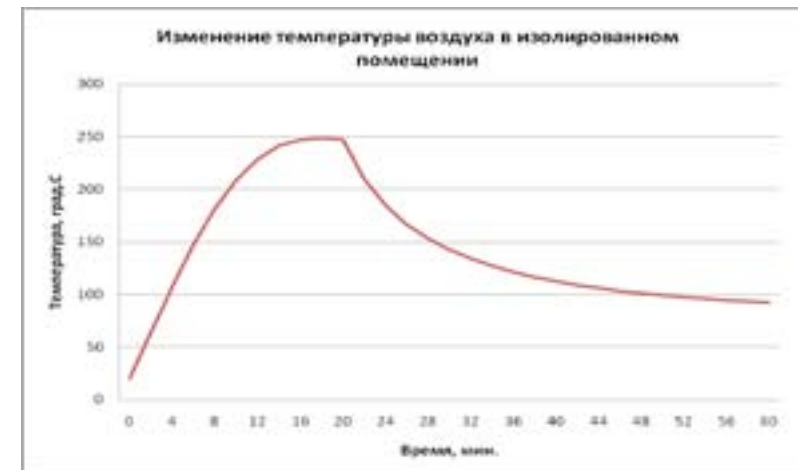


Рис. 3. Зависимость средней температуры воздуха от времени, полученная с помощью зонной модели.

Согласно расчетам, поведение средней температуры существенно отличается от результата, полученного для интегральной модели. Очень интересен эффект «насыщения». Хотя в первые несколько минут горения средняя температура линейно растет в том же темпе, что и в интегральной модели, минут через десять рост температуры заметно замедляется, а затем и вовсе прекращается. Более

того, наблюдается даже некоторое падение температуры, несмотря на то, что теплота всё еще поступает в воздух. Сразу после прекращения горения температура начинает быстро убывать до величины порядка  $100^{\circ}\text{C}$ . Максимальная достигнутая средняя температура оказалась равной  $249^{\circ}\text{C}$ , что практически вдвое меньше, чем в расчете для интегральной модели.

Всё это говорит о том, что, с ростом температуры воздуха, начиная с температуры порядка  $100^{\circ}\text{C}$ , существенно возрастает потеря тепла за счет собственного теплового излучения воздуха, находящегося в помещении.

Дело в том, что при горении метана в воздух непрерывно поступают продукты горения: углекислый газ, вода и частицы сажи. Эти примеси, по сравнению с чистым воздухом, обладают гораздо большей излучательной способностью. С ростом температуры и с ростом содержания в воздухе примесей непрерывно растет и скорость тепловых потерь воздуха за счет собственного излучения. В конце концов, величина потерь становится равной притоку тепла за счет горения, и тогда рост температуры прекращается. Однако, горение продолжается, и примеси продолжают поступать в помещение, что постепенно сдвигает тепловое равновесие в область более низких температур. После окончания горения, собственное излучение всё ещё горячего воздуха продолжается, и, вследствие этого, температура довольно быстро понижается до величины, при которой излучение оказывается сравнительно небольшим.

Учет собственного излучения в интегральной модели .

Если радиационный блок, аналогичный блоку, использованному в программе CFAST, подключить к интегральной модели, то согласованность результатов существенно возрастает. Результаты модификации можно увидеть на рисунке 4.

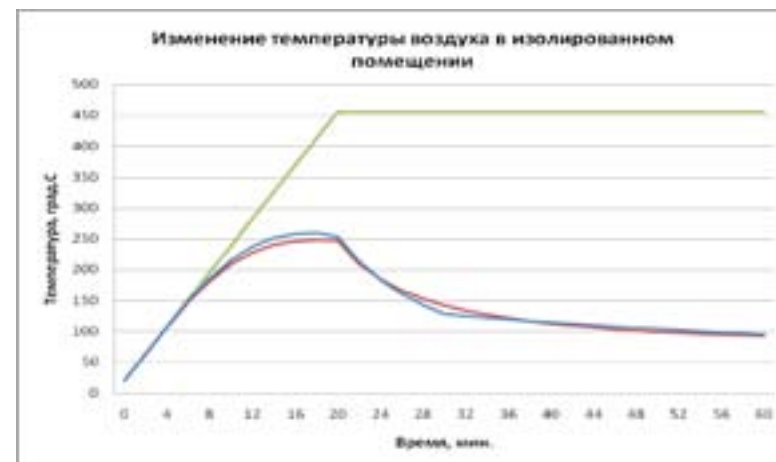


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов. Верхняя линия - интегральная модель без учета собственного теплового излучения воздуха, две другие линии - интегральная и зонная модели с учетом собственного теплового излучения.

Сравнение результатов расчетов, полученных с помощью интегральной и зонной моделей, показывает, что обе модели дают одинаковое время достижения критической температуры ( $70^{\circ}\text{C}$ ): чуть более двух минут.

Заключение.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что интегральная и зонная модели дают весьма сходные результаты, если необходимо вычислить только среднюю температуру воздуха в помещении, по крайней мере, для случаев, когда перенос тепла с воздухом через проемы несущественен. Расчеты показывают, что время достижения критической температуры ( $70^{\circ}\text{C}$ ) в помещении, где происходит горение, не зависит не только от типа использованной модели, но даже от того, учтено ли в модели собственное излучение воздуха.

Для более сложных случаев, в которых необходимо учитывать перенос тепла и примесей через проёмы, сравнение моделей имеет смысл продолжить.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

*Сорокина Д.С.*

Программа-редактор PlanMaker, доступная в рамках Проблемно-ориентированного Сервиса «Декларация пожарной безопасности общественных зданий и сооружений», предназначена для создания пространственно-информационных моделей зданий. На их основе впоследствии можно получить декларацию пожарной безопасности объекта, загрузив полученную модель на <http://rintd.ru/declaration>. Протестировав данную программу на школах Удмуртии, хотелось бы отметить несколько моментов в качестве рекомендаций для внесения изменений с целью дальнейшего ее усовершенствования в новой версии.

- Отображение номера помещения.

Если в предыдущей версии программы в названии комнаты указывался номер помещения, что значительно усложняло понимание типа комнаты, то теперь, глядя на экран, пользователю видно, какое перед ним помещение. Однако совмещение номера и типа комнаты, упростит работу. Можно каждый раз набирать название ручным способом, но, если требуется изменить свойства комнаты, то придется потратить немало времени, чтобы, к примеру, из массы помещений «Каб.» найти интересующую нас лекционную аудиторию, а не кабинет директора или учительскую.



- 1 кабинет директора
- 2 общая преподавательская
- 3 лекционная аудитория

В настоящее же время поиск обычно осуществляется, опираясь на размеры комнат, ведь учебные классы, как правило, больше, нежели кабинеты сотрудников.

- Изменение масштаба.

Загружаемые в программу планы эвакуации часто бывают неудобны в использовании из-за своего масштаба: окна получаются или очень маленькими, что мешает добавлению дверей, или слишком большими, так что на экран вмещается немного комнат. Поэтому приходится изменять его в процессе добавления помещений. Но это приводит к тому, что, вводя новое помещение, добавляемое окно комнаты появляется не в правом верхнем углу экрана, а за пределами видимости монитора, и каждый раз нужно искать это окно.

- Заполнение атрибутивной информации одинаковых комнат.

В школах есть множество кабинетов, тип комнаты которых и число людей в них одинаково. Стоило бы добавить функцию, благодаря которой можно будет отмечать несколько помещений, одновременно заполняя атрибутивную информацию. Такая опция будет в лучшей степени использоваться при добавлении коридоров и учебных классов, где наполняемость является почти всегда фиксированным числом.

- Построение списка помещений.

Все помещения поделены на несколько групп, но процесс построения списка комнат идет по-разному. Иногда в алфавитном порядке, но чаще вразброс. Особых неудобств при этом не возникает, но в группе «служебные помещения» хотелось первым в списке видеть коридор, так как он используется гораздо чаще остальных служебных помещений. По той же причине в графе «административные (офисные) помещения» на первом месте мог бы стоять кабинет сотрудника.

- Дополнительные помещения.

Во многих школах есть такие помещения, которых нет в списке программы. В школах, совмещенных с детским садом, или интернатах всегда есть спальни, но при отсутствии такого пункта приходится заменять его имеющимися в списке типами помещений.

- Загружаемые в программу изображения.

У большинства образовательных учреждений планы эвакуации выполнены не в масштабе, поэтому геометрические размеры кабинетов не совпадают с размерами, указанными в экспликации здания, отсюда и ошибки в вычислениях пожарного риска. Чтобы избежать этого, лучше загружать в программу поэтажные планы, запрашивая со зданий именно их.

Если перед разработчиками ставится цель корректировки программы для ее улучшения, то изменение имеющихся функций позволит упростить работу с редактором, дополнение новых также будет направлено на эту задачу. А при появлении возможности работать одновременно с несколькими окнами и некоторой перестройки свойств комнаты, время, потраченное на создание одной модели здания со всей необходимой атрибутивной информацией, будет уменьшено.

Таким образом, тестирование программы создания пространственно-информационных моделей зданий имело положительный характер, позволив выявить ряд недостатков, которые будут учтены при создании новой версии программы.

## ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Ушаков Д.Е.*

В статье рассмотрено тестирование и верификация программного обеспечения для ввода зданий и расчётного модуля данной программы на примере программы PlanMaker.

Задача тестирования и верификации программных систем занимают центральное положение в исследованиях по математической теории программирования. Это обусловлено, в первую очередь, высокой актуальностью создания теоретического фундамента для разработки надёжного программного обеспечения. Современный этап развития индустрии программных систем характеризуется значительным усложнением процесса их разработки.

Нашей задачей было выявление проблем тестирования и верификации на примере отладки программного обеспечения для расчета риска при пожарной эвакуации [1,2,3]. Основная проблема состояла в разработке тестов, позволяющих судить о качестве программы.

Требования качества отражены в стандарте [5], наиболее важные из них:

- Корректность, т.е. соответствие системы предназначению;
- Безопасность, отсутствие неавторизованной утечки информации;
- Устойчивость системы в случае непредусмотренного поведения окружения и при работе с неправильными входными данными;
- Эффективность использования ресурсов времени и памяти;
- Оптимальность реализованных в системе алгоритмов.

Как правило, анализ соответствия предъявленным требованиям проводится либо путём визуального анализа, либо методом тестирования. Если какое-либо из свойств

системы может быть выражено формально, например, в виде математической формулы, то анализ этого свойства может быть проведён методами верификации. Так эти методы были использованы для отладки и проверки программного обеспечения процесса эвакуации при пожаре.

Тестирование программы заключается в анализе результатов на некоторых выборочных данных. Тестирование является в настоящее время основной формой контроля качества программ, и занимает большую часть разработки самой программы. Такими тестами являлись тесты на нагрузку расчётов, путём увеличения расчётных данных и сокращения времени расчётов, и тестирования выходных данных в соответствии с теоретическими расчётами.

Однако, тестирование обладает фундаментальным недостатком: если его невозможно провести для всех входных данных, а только лишь для небольшой их части, то оно не может служить гарантированным обоснованием того, что программа обладает проверяемыми свойствами.

Таким образом, заострим своё внимание на верификации.

Верификация состоит из следующих частей:

-Построение математической модели анализируемой системы;

-Представление проверяемых свойств в виде формального текста (называемого спецификацией);

-Построение формального доказательства наличия или отсутствия у данной программы проверяемых свойств. Математическое моделирование представляет собой граф, где вершинами являются состояния, и изображают ситуации, в которых может находиться программа в разные моменты времени, и рёбра которого могут иметь метки, изображающие действия.

Спецификация – это описание свойств системы в виде формального текста, которая может выражать связь между вводными значениями или зависимость между свойствами системы. Построение доказательств, где существует два основных метода построения доказательств того, что модель соответствует спецификации [4]:

-Model checking;

-Логический вывод.

В нашем случае разработана и проведена серия верификационных тестов для проверки некоторых свойств программы. Краш – тесты, основная задача которых выявить явное нарушение работы программы в некоторых сценариях действий пользователя и их предотвращение.

Тест №1 (рис.1) позволяет определить наличие в программе механизмов контроля связности и целостности здания, т.е. наличие путей эвакуации.

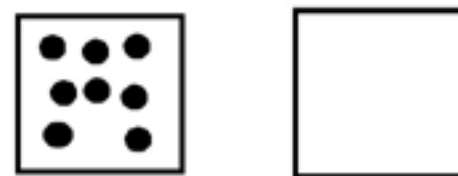


Рис.1 Тест №1

Тест №2 (рис.2) определяет завершённость введения здания, присутствия в нём выходов для эвакуации и отсутствие свойства ведущего к закливанию процессов расчёта пожарного риска.

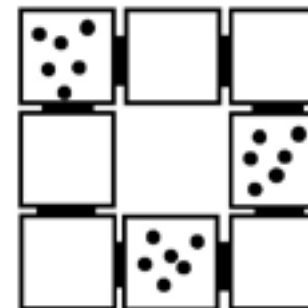
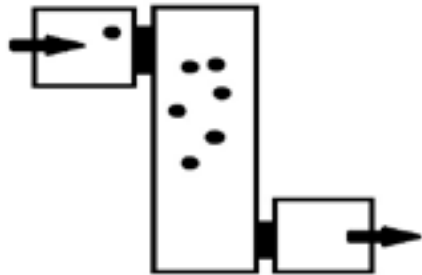


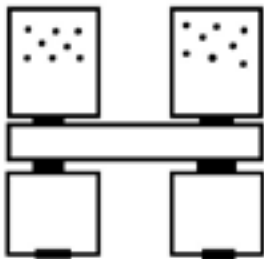
Рис.2 Тест №2

Тест №3 (рис.3) осуществляет проверку отсутствия закливания путей эвакуации, т.е. попадание людей в пройденные участки пути, возврат в прежние комнаты и схожие ситуации.

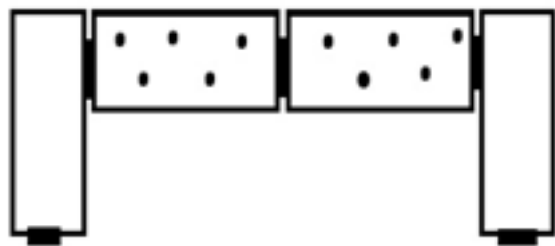


**Рис.3** Тест №3

Симметрические тесты, позволяющие определить равномерность и правильность вычисления симметричных ситуаций, такие как тесты №№4-5 (рис.4,5) проверка симметричности вычисления

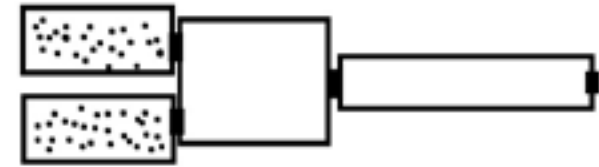


**Рис.4** Тест №4

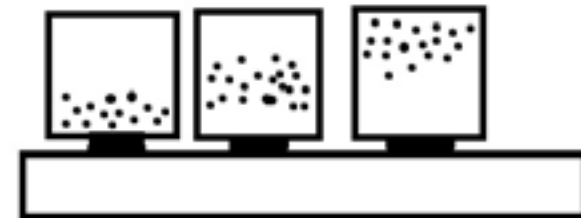


**Рис.5** Тест №5

Тесты №№6-7 (рис.6,7) на заторы, позволяющие определить соответствие теоретической постановке задачи (ГОСТ эвакуации) с вычислительным модулем, определение ситуации и характерных свойств заторов.



**Рис.6** Тест №6



**Рис.7** Тест №7

Впоследствии все тесты использовались в тестировании нагрузки на вычислительный модуль путём увеличения количества людей в комнате и изменения путей и количества комнат.

	50 человек	100 человек	1000 человек	10000 человек	100000 человек
Тест 4	0,0001мс	0,0002мс	0,0023мс	0,0194мс	0,1913мс
Тест 5	0,0001мс	0,0002мс	0,0021мс	0,0191мс	0,1916мс
Тест 6	0,0006мс	0,0012мс	0,0128мс	0,0191мс	– *
Тест 7	0,0009мс	0,0018мс	0,0197мс	– *	– *

– \* ситуации, когда происходят заторы.

Таким образом, проведя серию экспериментов тестирования и верификации программного обеспечения процесса эвакуации при пожаре, необходимо отметить, что найдены линейные зависимости нагрузки на расчётный модуль программы, что ведёт к линейным затратам времени



для оценки риска, найдены характерные свойства для зацикливания расчётов, их полной остановки. Необходимые данные позволяют сделать выводы о недоработке инструментов ввода здания для расчёта эвакуации, дают статистику для оптимизации расчётного модуля и нового инструмента ввода здания, исключая элемент человеческого фактора, а, именно, обучаемость, отсутствие навыков работы с персональными компьютерами. Всё это позволяет сделать вывод о необходимости и важности продолжения тестирования данного продукта и других продуктов в следующих разработках.

### Список литературы

1. Морозов, О. А. Архитектура, методология создания и принципы работы сервера «Безопасность в техносфере» // Безопасность в техносфере : сб. статей / Удмурт. регион. отделение Общерос. обществ. орг. «Рос. науч. о-во анализа риска», ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Учеб.-науч. ин-т природ. и техноген. катастроф ; науч. ред.: В. М. Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск : Удмурт. ун-т, 2010. - Вып. 6. - С. 35-42.
2. Морозов, О. А. Открытая платформа интеграции сервисов «Безопасность в техносфере» // Производство. Технология. Экология : междунар. конф. с элементами науч. шк. для молодежи : материалы конф. и шк. / Гл. упр. МЧС РФ по УР, ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Ин-т исслед. природ. и техноген. катастроф. - Ижевск, 2010. - С. 20-24. - Библиогр.: с. 23-24 (7 назв.).
3. Проблемно-ориентированный сервис «Декларация пожарной безопасности общественных зданий и сооружений» // Безопасность в техносфере : сб. статей / Удмурт. регион. отделение Общерос. // обществ. орг. «Рос. науч. о-во анализа риска», ГОУВПО «Удмурт. Гос. // ун-т», Учеб.-науч. ин-т природ. и техноген. катастроф ; науч. ред.: В. М. // Колодкин, И.Л. Бухарина. - Ижевск : Удмурт. ун-т, 2010. - Вып. 6. - С. 11-21. - Библиогр.: с. 21 (7 назв.).

4. Миронов А. М., Жуков Д. Ю. Математическая модель и методы верификации программных систем // Интеллектуальные системы. Т. 9. 2005. Вып. 1–4, с. 209–252

5. International Standard ISO/IEC 9126. // Information Technology - Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for their Use. // International Organization for Standardization, International Electro technical Commission, Geneva, 1991.

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

*Варламова Д.М.*

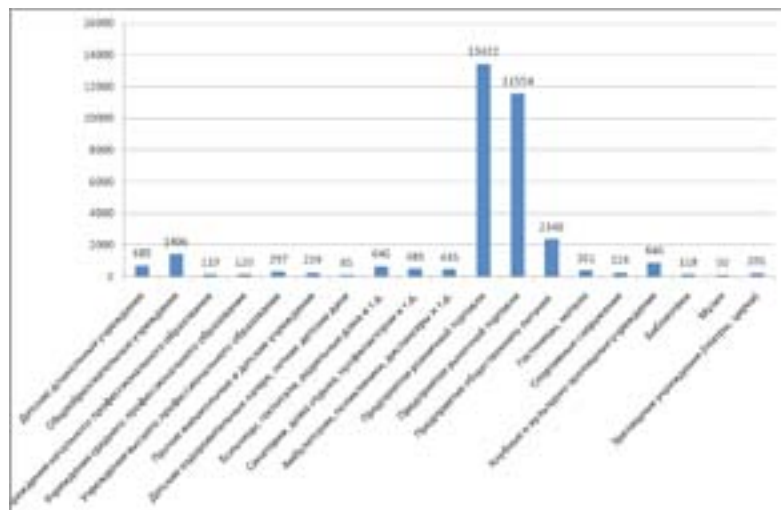
Ежедневно происходит сотни пожаров, в которых гибнут десятки людей. Среди них есть пожары и в общественных зданиях, которые могут, а иногда и приводят к сотне погибших. Согласно статистическим данным [1], к причинам возникновения пожаров относятся:

- поджог;
- неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса;
- нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования;
- нарушение правил устройства и эксплуатации печей;
- нарушение правил устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и установок;
- неосторожное обращение с огнем;
- нарушение правил устройства и эксплуатации транспортных средств;
- нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ;
- взрывы;
- самовозгорание веществ и материалов;
- нарушение правил эксплуатации бытовых газовых, бензиновых и др. устройств;
- нарушение ППБ при проведении огневых работ;
- грозовые разряды;
- неустановленные причины;
- прочие причины.

За последние пять лет наибольшее количество пожаров произошло на предприятиях розничной торговли – 13422 пожара, наименьшее количество пожаров в детских оздоровительных лагерях, летних детских дачах – 85 пожаров. На рис. 1 представлены общественные здания и количество

### **Часть III.** Теоретические аспекты безопасности жизнедеятельности в техносфере

пожаров, произошедшие за пять лет (с 2006 по 2010 гг.).



**Рис. 1** Количество пожаров в общественных зданиях за 5 лет (с 2006 по 2010 гг.).

К основным причинам возникновения пожара, в зависимости от типа общественного здания относятся:

- 1) Детские дошкольные учреждения:
  - Неосторожное обращение с огнем (45,6 %);
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (27,9 %);
  - Поджог (13,9 %).
- 2) Общеобразовательные учреждения:
  - Неосторожное обращение с огнем (40,7 %);
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (25,8 %);
  - Поджог (18,9 %).
- 3) Учреждения начального профессионального образования:
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (37 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (32 %);
  - Поджог (16,8 %).
- 4) Учреждения среднего профессионального образования:
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (39,2 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (35 %);
  - Поджог (12,5 %).

5) Учреждения высшего профессионального образования:

- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (38,7 %);
- Неосторожное обращение с огнем (36,7 %).

6) Прочие внешкольные и детские учреждения:

- Неосторожное обращение с огнем (44,1 %);
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (29,3 %);
- Поджог (12,7 %).

7) Детские оздоровительные лагеря, летние детские дачи:

- Неосторожное обращение с огнем (41,2 %);
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (29,4 %);
- Нарушение ПУиЭ печей (12,9 %).

8) Больницы, госпитали, родильные дома и др.:

- Неосторожное обращение с огнем (42 %);
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (33,4 %);
- Поджог (9,3 %).

9) Санатории, дома отдыха, профилактории:

- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (32,6 %);
- Неосторожное обращение с огнем (32,2 %);
- Нарушение ПУиЭ печей (14,8 %).

10) Амбулатории, поликлиники, диспансеры:

- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (38,7 %);
- Неосторожное обращение с огнем (28,3 %);
- Поджог (12,8 %).

11) Предприятия розничной торговли:

- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (44,5 %);
- Неосторожное обращение с огнем (21,7 %);
- Поджог (20,5 %);
- Нарушение ПУиЭ печей (4,5 %).

12) Предприятия рыночной торговли:

- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (41 %);
- Неосторожное обращение с огнем (26 %);
- Поджог (21,6 %).

- 13) Предприятия общественного питания:
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (41 %);
  - Поджог (19,9 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (19,6 %);
  - Нарушение ПУиЭ печей (7,1 %).

- 14) Гостиницы, мотели:
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (40,4 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (32,4 %).

- 15) Спортивные сооружения:
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (40,4 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (28,5 %).

- 16) Клубные и культурно-зрелищные учреждения:
- Неосторожное обращение с огнем (33 %);
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (30 %);
  - Поджог (17,4 %).

- 17) Библиотеки:
- Неосторожное обращение с огнем (39 %);
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (28 %);
  - Поджог (15,3 %).

- 18) Музеи:
- Неосторожное обращение с огнем (39 %);
  - Поджог (22,2 %);
  - Нарушение ПУиЭ электрооборудования (20 %).

- 19) Зрелищные учреждения (театры, цирки):
- Нарушение ПУиЭ электрооборудования (39,3 %);
  - Неосторожное обращение с огнем (38,3 %).

Проанализировав причины возникновения пожаров в общественных зданиях, к основным можно отнести:

- 1) Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования – 40,7 %;
- 2) Неосторожное обращение с огнем – 26 %;
- 3) Поджог – 19,6 %;
- 4) Нарушение правил устройства и эксплуатации печей – 3,7 %.

## Список литературы

1. Письмо № 117-1-18-11-6 от 17 мая 2011 г. Статистические данные о числе пожаров, произошедших в общественных зданиях на территории Российской Федерации в 2006-2010 гг., по причинам их возникновения. Департамент надзорной деятельности МЧС России.

## АНАЛИЗ ОЦЕНОК ВЗРЫВООПАСНОСТИ ТВС

*Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Николай, Тимашев С.А.,  
Гурьев Е.С.*

Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия РБ Г-05-039-96 разработано авторским коллективом предста-вителей Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности Госатом-надзора России, Всероссийского проектного и научно-исследовательского института комплексной энергетической технологии, Московского государственного строительного университета, воинской части № 70170 Министерства обороны России и утверждено Постановлением Госатомнадзора России от 31.12.1996 года № 100 [1]. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (ТВС), приведенная в РД 03-409-01, создана сотрудниками научно-технического центра по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России и института химической физики РАН и утверждена Постановлением Госгортехнадзора России от 26 июня 2001 г. № 25 [2].

Ранее нами по этим действующим методикам была рассмотрена взрывоопасность следующей теоретической аварийной ситуации, при которой предполагается, что из системы хранения или транспортировки при температуре окружающей среды равной 35 0С и нормальном атмосферном давлении происходит разлитие керосина марки РТ<sup>1</sup> в количестве 25 м<sup>3</sup>, и который собирается в яме с площадью зеркала жидкости 100 м<sup>2</sup> [3,4].

<sup>1</sup> Керосин РТ – это российский авиационный керосин, который по физико-химическим свойствам близок к авиационному топливу Jet A/JetA1, производства Hess Co. [3].

**Таблица. Сравнительный анализ РБ Г-05-039-96 и РД 03-409-01.**

Параметр или характеристика	РБ Г-05-039-96	РД 03-409-01
Форма облака паров ТВС	полусфера	не задается
Масса паров в облаке ТВС, кг	961,25	435,44
Концентрация керосина в облаке ТВС, % (об.)	Сстх = 1,3	НКПВ = 0,7
Режимы вспышки облака ТВС	Детонация, дефлаграция	В зависимости от окружающей пространств один из четы-рех режимов дефлагра-ции (№ 3–6 )
«Мертвая зона» для расчетов, м	< 23 (детонация) < 40,6 (дефлаграция)	< 24,4
Радиус категории разрушений и повреждений, м		
A	50 (детонация) нет (дефлаграция)	37 (режим № 3) нет (режимы № 4-6)
B	62 (детонация) нет (дефлаграция)	63 (режим № 3) нет (режимы № 4-6)
C	109 (детонация) 95 (дефлаграция)	183 (режим № 3) 73 (режим № 4) нет (режимы № 5-6)
D	174 (детонация) 205 (дефлаграция)	380 (режим № 3) 161 (режим № 4) 45 (режим № 5) нет (режим № 6)

### Примечания.

**А** – Полное разрушение здания, смертельное поражение человека;

**В** – Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу;

**С** – Средние повреждения, возможно восстановление здания;

**Д** – Разрушение оконных проемов, легкообрасываемых конструкций.

режим № 3 – дефлаграция, скорость фронта пламени 300 м/с;

режим № 4 – дефлаграция, скорость фронта пламени 200 м/с;

режим № 5 – дефлаграция, скорость фронта пламени 118,4 м/с;

режим № 6 – дефлаграция, скорость фронта пламени 71,6 м/с;

Стх – стехиометрическая концентрация горючего вещества;

НКПВ – нижний концентрационный предел воспламенения.

В данной работе предлагается сравнительный анализ проведенных расчетов [3,4]. Как видно из таблицы в РБ Г-05-039-96 и РД 03-409-01 заложены различные подходы к формированию облака ТВС.

В результате этого количество паров керосина в облаке ТВС различается более чем в 2 раза.

По РБ Г-05-039-96 для нашей расчетной аварийной ситуации предполагается два режима взрыва (вспышки) ТВС – детонация и дефлаграция. В то время как, по РД 03-409-01 режим детонации исключается, но в зависимости от характера окружающей местности предлагается 4 варианта дефлаграционной вспышки паров керосина. Методики РБ Г-05-039-96 и РД 03-409-01 характеризуются «мертвой зоной», т.е. областью, в которой они не работают. Результаты расчета радиуса зон разрушений и повреждений по данным методам плохо коррелируют между собой (см. табл.).

Полученные результаты ставят на повестку дня необходимость рассмотрения других методов расчета взрывоопасности ТВС и проведения натурных испытаний.

Работа выполняется по целевой программе научных исследований УрО РАН по проекту «Природные и техногенные катастрофы» (регистрационный номер проекта 09-С-2-1014) и по плану научно-технической деятельности МЧС России (п. 3.3-49/Б).

### Список литературы

1.РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия (утв. Постановлением Госатомнадзора России от 31.12.1996 г. № 100; введ. в действие 01.08.1997 г.). [Электронный ресурс]. Доступ из информационно-справочной системы «СтройКонсультант».

2.РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (утв. и введ. в действие Постановлением Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 г. № 25). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3.Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М. и др. Методы оценки взрывопожароопасности топливновоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96 // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 5. – С. 37-47.

4.Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М. и др. Методы оценки взрывопожароопасности топливновоздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 1. – С. 21-27.

## МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТА ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Макарова Л.Г., Ширококов С.В., Щепин П.А., Урванцева С.В.

Согласно Федеральному закону ФЗ 68 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» одной из основных задач единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС является осуществление целевых и научно-технических программ, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций и повышение устойчивости функционирования предприятий, организаций, учреждений, а также объектов социального назначения в чрезвычайных ситуациях [1].

Проблемы повышения устойчивости функционирования организаций до последнего времени (до начала 90-х годов) в основном рассматривались применительно к чрезвычайным ситуациям, характерным для военного времени.

Были созданы научно-обоснованные методики оценки устойчивости функционирования промышленных объектов в военное время, на базе которых разработаны основные направления и мероприятия по повышению устойчивости функционирования различных отраслей экономики и ее объектов применительно к опасностям военного времени. Эти разработки актуальны и сейчас.

Вместе с тем, в современных условиях, на наш взгляд на первое место вышли проблемы предупреждения ЧС мирного времени, особенно техногенного характера. Причём, в условиях, когда явно наметилась тенденция передачи государством полномочий по обеспечению защиты населения и территорий муниципальным образованиям и предприятиям, единственным приемлемым подходом к оценке устойчивости объекта экономики в условиях чрезвычайных ситуаций мирного времени является оценка его экономической состоятельности после прогнозируемой ЧС.

Другими словами, чем меньше отношение прибыли предприятия после чрезвычайной ситуации ( $\text{Приб}'$ ) к ущербу от данной ЧС, которые предприятию необходимо возместить ( $Y$ ), тем менее устойчиво предприятие. При этом следует рассматривать наиболее опасный сценарий развития чрезвычайной ситуации.

В то же время, следует учитывать, что на предприятии прогнозируемый ущерб от наиболее опасного сценария развития ЧС ( $P_{\text{НО}} * Y_{\text{НО}}$ ) может оказаться меньше прогнозируемого ущерба от наиболее вероятного сценария развития ЧС ( $P_{\text{НВ}} * Y_{\text{НВ}}$ ).

Данное обстоятельство также учитывается в предлагаемом выражении для коэффициента устойчивости объекта экономики в чрезвычайной ситуации:

$$U_{\text{СТ}} = \frac{\text{Приб}'}{Y_{\text{НО}}} * \frac{P_{\text{НО}} * Y_{\text{НО}}}{P_{\text{НВ}} * Y_{\text{НВ}}} \quad (1)$$

Отметим следующие характерные значения:

$\text{Приб}' \leq 0$  - предприятие является банкротом и в принципе не может считаться устойчиво функционирующим;

$U_{\text{СТ}} > 0$  - предприятие устойчиво;

$0 < U_{\text{СТ}} < 0,1$  – предприятие ограниченно устойчиво (на восстановление

после чрезвычайной ситуации без внешней помощи потребуется порядка 10 лет);

$0,1 < U_{\text{СТ}} < 1$  – предприятие устойчиво (на восстановление после чрезвычайной ситуации без внешней помощи потребуется несколько лет);

$1 < U_{\text{СТ}}$  – предприятие стабильно устойчиво (на восстановление после чрезвычайной ситуации без внешней помощи потребуется меньше года).

Прибыль предприятия после чрезвычайной ситуации рассчитаем по формуле:

$$\text{Приб}' = \text{Дох}' - \text{Затр}' , \quad (2)$$

где  $\text{Дох}'$  - доход предприятия после ЧС, тыс. руб.;

$\text{Затр}'$  - производственные затраты предприятия после ЧС, тыс. руб.

$$\text{Дох}' = \text{Дох} * (1 - \text{СтП}), \quad (3)$$

где  $\text{Дох}$  - доход предприятия до ЧС, тыс. руб.;

$\text{СтП}$  – степень поражения производственных мощностей в ЧС, %.

Производственные затраты предприятия после ЧС рассчитывается по формуле

$$\text{Затр}' = \text{Затр} * (1 - \text{СтП}) + \text{У}_{\text{но}} \quad (4)$$

где  $\text{Затр}$  – производственные затраты предприятия до ЧС, тыс. руб.;

$\text{У}_{\text{но}}$  – ущерб предприятия в результате наиболее опасного ЧС.

Ущерб предприятия в зависимости от источника ЧС рассчитывается по следующим методикам:

1. При пожаре - Методика оценки экономического ущерба от пожаров. Научно-технический сборник ГНТП “Чрезвычайные ситуации”, Мн., НИИ ПБ и ПЧС, 2005 г. [2].

2. При авариях на промышленном предприятии - Производственные затраты предприятия после ЧС в соответствии с РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах» [3].

3. При иных источниках ЧС - Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004г. [4].

Степень поражения производственных мощностей в ЧС (СтП) определяется как соотношение производственных мощностей предприятия после и до ЧС.

Унв рассчитывается аналогично  $\text{У}_{\text{но}}$ , либо данные берутся из журнала регистрации аварий на предприятии.

С целью определить вероятности наиболее опасного и наиболее вероятного сценариев развития чрезвычайных ситуаций следует адаптировать РД 03-41 8-01 “Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов”, а именно, для определения вероятности головного события (аварии, пожара или других источников ЧС) воспользоваться методом анализа дерева событий [4].

Основная проблема для проведения расчетов по данному методу состоит в недостаточной базе численных данных по вероятностям исходных событий. Недостающие сведения можно получить методом экспертной оценки, суть которой подробно изложена в учебном пособии [5].

Таким образом, авторским коллективом разработана методика количественной оценки устойчивости объектов экономики в чрезвычайных ситуациях, основанная на оценке его экономической состоятельности после ЧС. При данном подходе средства вложенные предприятием на повышение своей устойчивости следует воспринимать как инвестиции в своё производство. Соответственно, методика позволит обосновывать внедрение того или иного предложения на экономическом языке.



## Список литературы

1. Федеральный закон “О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера” от 21.12.1994 №68-ФЗ.
2. Методика оценки экономического ущерба от пожаров. Научно-технический сборник ГНТП «Чрезвычайные ситуации», Мн., НИИ ПБ и ПЧС, 2005 г.
3. РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах».
4. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004г.
5. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов».
6. Надежность технических систем и техногенный риск. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. и др. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002– 368 с.

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ «СПАСАТЕЛЬ – АВАРИЙНО- СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

*Кабакова А.В., Макарова Л.Г., Ширококов С.В., Щетин П.А.*

Последствия чрезвычайных ситуаций (ЧС) многообразны и чрезвычайно опасны. Учи-тывая внезапность их наступления, необходимо систематически проводить профилактические мероприятия, главное из которых — создание и поддержание в постоянной готовности специальных сил для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в зоне бедствия. Важнейшую роль в этом играют предварительные мероприятия по повышению надежности аварийно-спасательной техники (АСТ) и снижению вероятности совершения ошибочных действий спасателями.

Комплекс мероприятий должен быть минимальным и достаточным (оптимальным) для решения задач при выполнении АСДНР в очаге ЧС. Для оптимизации комплекса мероприятий необходима методика количественной оценки эффективности проводимых мероприятий.

В основу методики положим работоспособность системы «Спасатель - аварийно-спасательная техника», которую будем понимать следующим образом: система работоспособна, если работоспособен и спасатель (элемент 1) и АСТ (элемент 2), то есть в такой системе отказ (ошибка) любого элемента равносителен отказу (ошибке) системы в целом. С позиции теории надежности рассматриваемая система представляет собой последовательное соединение элементов [1]. Пусть вероятность безотказной работы спасателя  $P_{сп}$ , а вероятность безотказной работы аварийно-спасательной техники  $P_{аст}$ . Тогда вероятность безотказной работы системы

$$P = P_{сп} \cdot P_{аст} \quad (1)$$

В формуле 1 сделано допущение о независимости отказов элементов, что выполняется в большинстве случаев.

Исходные значения вероятности выхода из строя ( $1-P_{аст}$ ) приведены в таблице 1 [2].

**Таблица 1.** Вероятность выхода из строя АСТ за один день в процентах от общего количества машин.

Машины	Разрушения и повреждения, получаемые в очаге поражения, %	Потери от естественного износа, %
Грузоподъёмные: На колёсной базе На гусеничной базе	3 – 4 2 – 3	4 – 5 4 – 5
Землеройные: На колёсной базе На гусеничной базе	4 – 5 4 – 5	6 – 7 8 – 9
Дорожные: На колёсной базе На гусеничной базе	4 – 5 4 – 5	6 – 7 8 – 9
Специальные автомобили: Тракторы и тягачи Электростанции Ремонтные мастерские	2 – 3 3 – 4 3 – 4	5 – 6 4 – 5 4 – 5

В свою очередь, значение  $R_{сп}$  необходимо рассчитать, используя дерево событий, которое строится на базе модели взаимодействия спасателя с АСТ.

Для оценки эффективности мероприятий по снижению безаварийности системы «Спасатель - Аварийно-спасательная техника» предлагается:

- рассчитать вероятность безотказной работы системы в отсутствие действия на нее неблагоприятных факторов, возникающих во время проведения АСДНР -  $P_0$ ;

- рассчитать вероятность безотказной работы системы с учетом действия на нее не-благоприятных факторов, возникающих во время проведения АСДНР -  $P_1$ ;

- рассчитать вероятность безотказной работы системы, с учетом действия неблагоприятных факторов, возникающих во время проведения АСДНР, только на аварийно-спасательную технику -  $P_1-аст$ ;

- рассчитать вероятность безотказной работы системы, с учетом действия неблагоприятных факторов, возникающих во время проведения АСДНР, только на спасателя  $P_1-сп$ ;

- принять вероятность безотказной работы системы после осуществления комплекса мероприятий по повышению надежности равной  $P_0$ ;

- количественно оценить вклад комплекса мероприятий по обеспечению надежности АСТ по формуле (2)

$$K = (P_1-сп - P_1)/(1 - P_1). \quad (2)$$

- количественно оценить вклад комплекса мероприятий по обеспечению надежности спасателя по формуле (3)

$$K = (P_1-аст - P_1)/(1 - P_1). \quad (3)$$

- количественно оценить вклад комплекса мероприятий по обеспечению надежности системы в целом по формуле (4)

$$K = (P_0 - P_1)/(1 - P_1). \quad (4)$$

В приведенных формулах безразмерный коэффициент  $K$  является количественной мерой эффективности мероприятий и показывает насколько они близки к идеальным (если система становится идеальной, то  $K=1$ ).

Для проведения соответствующих расчетов необходимо создать модель взаимодействия спасателя с аварийно-спасательной техникой.

#### *Модель взаимодействия спасателя с АСТ.*

Работа бульдозериста или человека, работающего на автогрейдере, погрузчике, скре-пере различна, но во всех случаях она начинается с запуска двигателя и приведения различных агрегатов машины в действие. Рассмотрим некоторые из агрегатов.

- Коробка передач – для грейдера и бульдозера это основной агрегат, способствующий движению техники. Его приводят в действие при любом движении данной техники в пространстве, поэтому повышенный износ - неотъемлемая часть ее эксплуатации.

- Муфта – эта часть системы, которая с момента пуска двигателя находится в непрерывной эксплуатации вплоть до окончания работы и выключения двигателя. Муфты соединяют движущие и движимые валы двигателя, поворотных механизмов и т.д.

- Фрикционы – механизм плавной передачи энергии движения от движущего элемента технической системы к движимым. Отличается от зубчатой передачи плавным - свободным ходом движения после остановки движущего элемента.

- Гидросистема – это система, умножающая мускульную силу человека согласно законам гидравлики и приводящая в движение такие узлы и устройства, как тормозные дис-ки, ковш, скребок и пр.

Для определенности остановимся на анализе работы бульдозериста. После запуска двигателя такие действия бульдозерист в течение часа выполняет приблизительно 40 раз.

Вытягивание рычага гидросистемы на себя, привод в действие гидросистемы с последующим опусканием ковша. Нажатие педали сцепления, через привод сцепления разъединение фрикционов.

Установка рычага переключения передач в новое положение, соединение валов коробки передач, отжатие педали сцепления, соединение фрикционов, привод в действие муфты. Движение вперед. Вытягивание рычага гидросистемы от себя, привод в действие гидросистемы с последующим поднятием ковша. Нажатие педали сцепления, разъединение фрикционов.

Установка рычага переключения передач в новое положение, соединение валов коробки передач, отжатие педали сцепления, соединение фрикционов, привод в действие муф-ты. Движение назад. Далее операции повторяются по циклу. Такие действия бульдозерист в течение часа выполняет приблизительно 40 раз.

Схема взаимодействия спасателя с АСТ приведена на рис.1.

Как следует из таблицы 1, в благоприятных условиях в результате естественного износа отказ бульдозера возникает с вероятностью до 9 %. Следовательно, вероятность безотказной работы АСТ можно принять равной 91%.

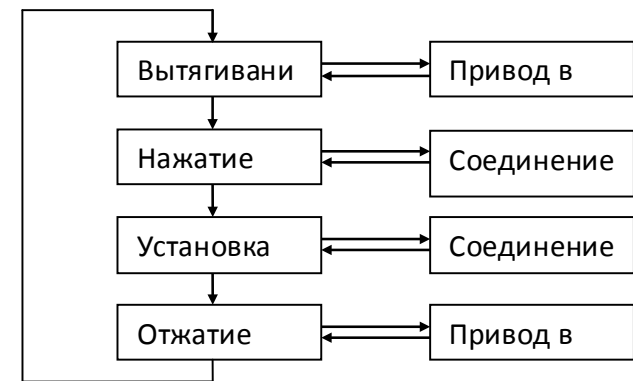


Рис. 1. Схема взаимодействия спасателя с АСТ.

Для оцифровки дерева исходов найдем вероятности отказа (совершения ошибки) бульдозеристом при совершении каждого действия. При этом используем данные по вероятности ошибочных действий из литературы [1]. Перед тем, как приступить к анализу каждого действия, заметим, что каждое действие сопровождается контролем над ходом выполнения задания агрегатами, и частота ошибок составляет  $10^{-5}$ . Несложно обосновать, что этот факт можно учесть путем сложения частот совершения ошибок соответствующего действия и контроля.

1) Вытягивание на себя рычага гидросистемы: возможная ошибка квалифицируется как выбор переключателя (или двух переключателей), непохожего по форме или по расположению на нужный переключатель при условии отсутствия ошибки в принятии решения; например, оператор включает переключатель с большой рукояткой вместо малого переключателя — частота ошибок  $10^{-5}$ . Количество повторений за день (8 часов) 8800. Следовательно, вероятность совершения ошибки равна 0,088 (0,176), а вероятность безошибочной работы - 0,912 (0,824).

2) Нажатие педали сцепления: возможная ошибка квалифицируется как обычная ошибка человека при выполнении операции (например, неправильное считывание таблички и в результате выбор ошибочного переключателя) — частота ошибок  $3 \cdot 10^{-5}$ . Количество повторений за день (8 часов) 1520. Следовательно, вероятность совершения ошибки равна 0,046 (0,061), а вероятность безошибочной работы — 0,954 (0,939).

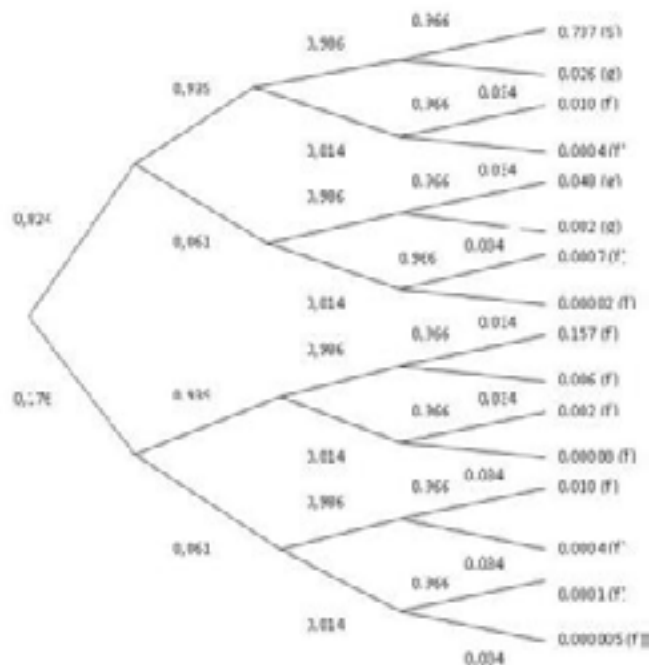
3) Установка рычага переключения передач в новом положении: возможная ошибка квалифицируется как ошибка принятия решения в случае, когда оператор неправильно воспринимает ситуацию и полагает, что данный ключ выбран правильно — частота ошибок  $10^{-5}$ . Количество повторений за день (8 часов) 640. Следовательно, вероятность совершения ошибки равна 0,007 (0,014), а вероятность безошибочной работы - 0,993 (0,986).

4) Отжатие педали сцепления: возможная ошибка квалифицируется как обычная ошибка человека при выполнении операции (например, неправильное считывание таблички и в результате выбор ошибочного переключателя) — частота ошибок  $3 \cdot 10^{-5}$ . Количество по-вторений за день (8 часов) 840. Следовательно, вероятность совершения ошибки равна 0,025 (0,034), а вероятность безошибочной работы - 0,975 (0,966).

*Примечание: в скобках указаны значения, полученные с учетом ошибки контроля.*

Дерево исходов приведено на рис. 2. (порядок действий установлен слева направо). Знаком «s» обозначен успешный исход действия в целом, знаком «f» — исход, характеризующийся движением бульдозера, приводящем к ущербу окружающим предметам (движение в обратную сторону в результате неверной установки передачи и неверной установки скребка), знаком «g» — исход, характеризующийся остановкой двигателя бульдозера без ущерба окружающим предметам (ошибка в работе с рычагом сцепления). Вероятность безотказной работы системы представляет собой произведение вероятности безотказной работы АСТ на сумму вероятностей исходов с маркировкой s и g:

$$P_0 = 0,91 \cdot (0,737 + 0,026 + 0,048 + 0,002) = 0,7390.$$



**Рис. 2.** Дерево исходов для взаимодействия спасателя с бульдозером без учета неблагоприятных факторов.

Для определенности в качестве аварийно-спасательной техники будем рассматривать только бульдозер. Вероятность отказа бульдозера в течение одного рабочего дня  $Q_{act}(t)$ , согласно сведениям, приведенным в таблице 1, составляет 4-5 %. Подставив максимальное значение в формулу 1 и суммируя с вероятностью отказа из-за естественного износа, находим значение вероятности безотказной работы бульдозера:

$$P_{act} = 1 - Q_{act} = 1 - 0,14 = 0,86.$$

В свою очередь,

$$P_{1-act} = 0,86 \cdot 0,813 = 0,6992.$$

Согласно сведениям из литературы [3, 4], в результате воздействия негативных факторов ЧС частота совершения ошибки в действиях,

требующих внимательности (контроль над исполнением действий), увеличивается на 22 % ( $1,22 \cdot 10^{-5}$ ), а действий, требующих точности движений (установка рычага переключения передач в новом положении), - на 17 % ( $1,17 \cdot 10^{-5}$ ).

Расчет вероятности безотказной работы системы «Спасатель – АСТ», с учетом приведенных данных, даёт:

$$P_{ср} = 0,7371.$$

$$P_{1-ср} = 0,91 \cdot 0,7371 = 0,6708,$$

$$P_1 = 0,86 \cdot 0,7371 = 0,6339.$$

Проведем все расчеты, предусмотренные предложенной выше методикой, с учетом полученных ранее численных значений для соответствующих величин.

Коэффициент эффективности при работе только с АСТ по (2):

$$K = (0,6708 - 0,6339) / (1 - 0,6339) \approx 0,101 \text{ (10,1\%).}$$

Коэффициент эффективности при работе только со спасателями по формуле (3):

$$K = (0,6992 - 0,6339) / (1 - 0,6339) \approx 0,178 \text{ (17,8\%).}$$

Коэффициент эффективности при работе системы в целом по формуле (4):

$$K = (0,7390 - 0,6339) / (1 - 0,6339) \approx 0,287 \text{ (28,7\%).}$$

Как видно из полученных результатов, эффективность мероприятий по работе только с АСТ в 1,76 раза ниже, чем только со спасателями. Кроме того, эффективность комплекса мероприятий получилась больше, нежели прямая сумма коэффициентов эффективности, рассчитанных отдельно. Следовательно, предложенный коэффициент эффективности позволяет выявить системный фактор взаимодействия спасателя с АСТ.

Таким образом, при допущении, что комплекс мероприятий по техническому обслуживанию АСТ по психологической подготовке спасателей позволяет полностью компенсировать влияние вредных факторов, возникающих при проведении АСДНР, эффективность мероприятий по работе только с АСТ в 1,76 раза ниже, чем только со спасателями.

## Список литературы

1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М. Надежность технических систем и технологи-ческий риск. – М., 2002. – 48 с.
2. ГОСТ-27.002 – 89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определе-ния. – М.: ГОСТ России, 1990. – 11 с.
2. Дедков В.П., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. – СПб., 2001. – 296 с.
3. Корчемный П.А., Елисеев А.П. Психологическая устойчивость в чрезвычайной си-туации / Академия гражданской защиты. 2006. № 7. С. 17 – 21.
6. Самонов А.П. Психология для пожарных. – М., 1998. – 163 с.
10. Шейнин А.М. Закономерности влияния надежности машин на эффективность их эксплуатации. – М.: Знание, 1987. – 54 с.
11. Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Перевод с англ. Сыромятниковой В.С., Деминой Г.С. – М.; Машиностроение, 1984. – 528 с.

## СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ РЕГЛАМЕНТА БИОМОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Янников И.М.*

В условиях угрозы или возникновения нештатной ситуации на потенциально опасном объекте (ПОО) решение о проведении превентивных и защитных мероприятий, в том числе и решение об изменении регламента мониторинговых исследований в зоне влияния ПОО, зачастую приходится принимать в условиях дефицита информации, ее неточного характера, нечетких целей и ограничений. В этих случаях для обработки данных применяют методы нечеткой логики [1]. Аппарат нечеткой математики позволяет формализовать, выразить и преобразовать количественно нечеткие (качественные) понятия, которыми манипулируют оператор или эксперт при описании своих представлений о реальной системе [2].

Решение об изменении регламента измерений (при прогнозе возможной чрезвычайной ситуации) принимается в зависимости от выявленного характера влияния ПОО [3]. Ранее эксперт, исходя из собственного опыта, логических или интуитивных способностей, выбирал регламент биомониторинга. Для принятия более достоверного решения об изменении регламента измерений с применением автоматизации указанного выбора по данным предыдущих измерений необходима разработка системы принятия решений.

Регламент – это перечень видов биообъектов, их параметров, подлежащих измерениям, времени и периодичности взятия проб, а также методов измерений. В отношении мониторинга ПОО, в отличие от классического подхода, выделены две разновидности: диагностический и оперативный [4, 6].

В первом случае выбираются биологические системы, способные к интегральному ответу на комплексные воздействия и проявляющие кумулятивный эффект, во втором - чувствительные то есть имеющие низкие пороги и незначительное запаздывание ответной реакции. Выбор параметров оперативного биомониторинга и площадки будет зависеть от регламента.

Структура экспертно-аналитической системы обработки данных биомониторинга для ПОО приведена на рис. 1. В состав системы входят: база данных; база знаний; расчетно-аналитический модуль; модуль логического вывода; модуль поддержки принятия решений; модуль визуализации.

На вход системы информация поступает в виде измеренных значений параметров в различных биоиндикаторах. Из базы правил и базы данных эталонов биоиндикаторов извлекается информация для расчета уровня фоновое содержания загрязняющего вещества [5,6]. В системе принятия решения данные обрабатываются с помощью правил проведения различных видов мониторинга, делаются выводы о необходимости проведения того или иного вида мониторинга, а также об изменении регламента последнего [6].

Наиболее сложной проблемой автоматического выбора регламента является формальное описание этого процесса с помощью нечетких метаимпликаций вида «если  $x_i$  есть  $A_k$ , то  $u_j$  есть  $B_l$ » и построения по ним нечеткого соответствия или графа  $\bar{R}$ , представляющего формальную модель базы знаний. Здесь приняты следующие обозначения:  $x_i$  – наименование признаков определения регламента;  $A_k$  – нечеткое значение, которое принимает признак  $x_i$ ;  $u_j$  – наименование предполагаемого регламента;  $B_l$  – нечеткая характеристика степени важности регламента  $u_j$  [6].



Рис. 1. Структура экспертно-аналитической системы биомониторинга

Правила принятия решений формируем в виде метаимпликаций вида «если  $x_i$  есть  $A_k$ , то  $u_j$  есть  $B_l$ ».

Составим метаимпликации для конкретного вида регламента.

Первичный регламент диагностического мониторинга характеризуется малым количеством биоиндикаторов с низкой, средней, высокой величиной превышения уровня фоновое содержания отравляющего вещества. Метаимпликация для определения первичного регламента примет вид:

$$((x_1 \text{ есть } B) \& (x_2 \text{ есть } (I \cup K \cup L))) \rightarrow (y \text{ есть } PerReg), \quad (1)$$

где  $x_i$  – переменная «количество биоиндикаторов», которая принимает значение  $B$  – «малое»;

$x_2$  – переменная «величина превышения», которая принимает значения  $I$  – «низкая»,  $K$  – «средняя»,  $L$  – «высокая»;

$y$  – переменная «мониторинг», принимающая значение  $PerReg$  – «первичный регламент диагностического мониторинга».

Содержательно метаимпликацию (1) можно прочесть таким образом: «если количество биоиндикаторов  $x_1$  малое  $B$  и величина превышения  $x_2$  низкая  $I$  или средняя  $K$  или высокая  $L$ , то мониторинг  $y$  первичного регламента  $PerReg$ ».

Регламент 1 диагностического мониторинга характеризуется количеством биоиндикаторов ниже среднего с низким превышением УФС ЗВ. Метаимпликация для определения регламента 1 примет вид:

$$((x_1 \text{ есть } C) \& (x_2 \text{ есть } I)) \rightarrow (y \text{ есть } Reg1), \quad (2)$$

где  $x_1$  – переменная «количество биоиндикаторов», которая принимает значение  $C$  – «ниже среднего»;

$x_2$  – переменная «величина превышения», которая принимает значения  $I$  – «низкая»;

$y$  – переменная «мониторинг», принимающая значение  $Reg1$  – «регламент 1 диагностического мониторинга».

Содержательно метаимпликацию (2) можно прочесть таким образом: «если количество биоиндикаторов  $x_1$  ниже среднего  $C$  и величина превышения  $x_2$  низкая  $I$ , то мониторинг  $y$  регламента 1 диагностического мониторинга  $Reg1$ ».

Аналогично строятся метаимпликации для Регламентов 2 и 3 диагностического мониторинга.

Переход к оперативному мониторингу характеризуется количеством биоиндикаторов выше среднего с высокой величиной превышения УФС ЗВ, или большим количеством биоиндикаторов со средней, высокой величиной превышения, или предельным количеством биоиндикаторов с низкой, средней, высокой величиной превышения.

Метаимпликация для определения оперативного мониторинга примет вид

$$(((x_1 \text{ есть } E) \& (x_2 \text{ есть } L)) \cup ((x1 \text{ есть } F) \& (x_2 \text{ есть } (K \cup L))) \cup ((x_1 \text{ есть } G) \& (x_2 \text{ есть } (I \cup K \cup L)))) \rightarrow (y \text{ есть } Op), \quad (3)$$

где  $x_1$  – переменная «количество биоиндикаторов», которая принимает значение  $E$  – «выше среднего»,  $F$  – «большое»,  $G$  – «предельное»;

$x_2$  – переменная «величина превышения», которая принимает значения  $I$  – «низкая»,  $K$  – «средняя»,  $L$  – «высокая»;

$y$  – переменная «мониторинг», принимающая значение  $Op$  – «оперативный мониторинг».

Содержательно метаимпликацию (3) можно прочесть таким образом: «если количество биоиндикаторов  $x1$  выше среднего  $E$  и величина превышения  $x_2$  высокая  $L$ , или если количество биоиндикаторов  $x_1$  большое  $F$  и величина превышения  $x_2$  средняя  $K$  или высокая  $L$ , или если количество биоиндикаторов  $x_1$  предельное  $G$  и величина превышения  $x_2$  низкая  $I$ , средняя  $K$  или высокая  $L$ , то мониторинг  $y$  есть оперативный  $Op$ ».

Таким образом, метаимпликации представляют собой составную нечеткую логическую формулу импликации  $P \rightarrow Q$ , в которой посылка  $P$  также является нечеткой логической формулой, зависящей от значений лингвистических переменных, определяющих заключение  $Q$ .

По составленным метаимпликациям построим матрицы нечетких отношений. Они примут вид  $R = \|x_1, x_2\| \times \|y\|$

Для пояснения работы системы построим теперь матрицу нечетких отношений по метаимпликации (2).

Запишем метаимпликацию (2) в сокращенном виде:  $(x1 \& x2) \rightarrow (y)$  и построим матрицу инцидентий

$R_2 = \|x_1, x_2\| \times \|y\|$  как декартово произведение всевозможных пар соответствующих элементов на базовых шкалах, значения функции принадлежности которых равны нечеткой конъюнкции значений функций принадлежности составляющих ее элементов.



На основании этой метаимпликации легко построить требуемую матрицу. Тогда матрица инцидентий нечеткого соответствия  $R_2$  представляет собой декартово произведение, множество строк которого помечено элементами базовой шкалы лингвистических переменных  $x_1, x_2$ , а множество столбцов – элементами базовой шкалы лингвистической переменной  $y$ . Аналогично строятся матрицы инцидентий для остальных метаимпликаций.

По рассмотренной метаимпликации можно построить нечеткое соответствие, задаваемое нечетким двудольным графом или матрицей инцидентий. Она используется для автоматического определения регламента мониторинга при получении декомпозиции любого текущего вектора нечетких значений признаков на полученное нечеткое соответствие. В результате выполнения декомпозиции получается нечеткое значение вектора регламента. Очевидно, что чем больше нечетких импликаций включается в базу знаний интеллектуальной системы, тем сложнее определять ее полноту и непротиворечивость, тем больше требуется времени на выполнение нечеткого логического вывода. Кроме того, при достижении очень большого (порядка тысячи) числа нечетких метаимпликаций в модели базы знаний практическая ценность и выполнение результата нечеткого логического вывода становятся проблематичными. Это – один из основных недостатков предполагаемого метода представления и обработки знаний в виде нечетких метаимпликаций. Вторым недостатком заключается в том, что метод не позволяет быстро адаптировать структуру в процессе функционирования и выполнять достоверный прогноз результата или направления его поиска.

Для устранения этих недостатков предлагается использовать метод представления знаний в виде нечетких отношений на множестве нечетких ситуаций, представляющих собой совокупность всех значений параметров, описывающих все регламенты мониторинга.

Одновременно уточним, что нечеткая ситуация представляет собой конкатенацию (последовательный набор или запись) нечетких значений лингвистических переменных параметров, от которых существенно зависит данный регламент.

В качестве примера приведем стандартную форму записи хотя бы одной нечеткой ситуации, соответствующей регламенту «оперативный мониторинг». Тогда, используя выражение для метаимпликации, стандартную форму нечеткой ситуации  $S_i$  можно записать в виде:  $S_i = \{ (E|x_1), (L|x_2) \} \leftrightarrow (Op|y)$

Представим каждый шаг логического вывода в виде выражения  $\frac{A}{B}$ , где  $A$  – посылка, которая представляет собой совокупность экспериментальных данных – измеренных значений параметров биообъекта;  $B$  – заключение, которое представляет собой принимаемое по посылке  $A$  решение.

*Входные данные:*

1. База данных для хранения информации о биоиндикаторах, их параметрах и эталонах.

2. Нечеткая переменная  $X_{value}$  «величина превышения», описанная в виде:

$(\alpha, T, X, A)$ ,

где  $\alpha$  – название нечеткой переменной «величина превышения»;

$T$  – описание терм-множества = {«очень низкая», «низкая», «средняя», «высокая»};

$X$  – универсальное множество (область определения  $\alpha$ ),  $X_v = [0, 25]$ ;

$A$  – нечеткое множество на  $X$ , описывающее ограничения,  $A = \{ [Xv, \mu(x)] | x \in X \}$  на значения нечеткой переменной  $\alpha$ ,

где  $\mu(x)$  – функция принадлежности элемента множества  $X_v$  к величине превышения (приложение 6).

3. Нечеткая переменная  $X_{amount}$  «количество биоиндикаторов», описанная в виде:

$$(\alpha, T, X, A),$$

где  $\alpha$  – название нечеткой переменной «количество биоиндикаторов»;

$T$  – описание терм-множества = {«очень малое», «малое», «ниже среднего», «среднее», «выше среднего», «большое», «предельное»};

$X$  – универсальное множество (область определения  $\alpha$ ),  $X\alpha = [0, 100]$ ;

$A$  – нечеткое множество на  $X$ , описывающее ограничения,  $A = \{[X\alpha, \mu(x)] | x \in X\}$  на значения нечеткой переменной  $\alpha$ ,

где  $\mu(x)$  – функция принадлежности элемента множества  $X_\alpha$  к количеству биоиндикаторов.

4. База правил принятия решения об изменении регламента проведения биомониторинга в виде нечетких ситуаций.

5. Веса значимости каждого регламента биомониторинга.

*Выходные данные:*

Необходимо по уровню фонового содержания отравляющего вещества в различных видах биоиндикаторов сделать вывод о необходимости проведения оперативного или диагностического мониторинга.

*Алгоритм определения регламента:*

1. Выбор из базы данных проведенного измерения с рассчитанными уровнями фонового содержания (УФС).

2. Определение процентного содержания одного биоиндикатора при проведении выбранного регламента:

$$amount_i = \frac{100\% \cdot \mu_i}{c}; \quad i = 1, \dots, c;$$

где  $amount_i$  – процентное содержание каждого биоиндикатора при проведении выбранного регламента;

$c$  – количество биоиндикаторов в выбранном регламенте.

Таким образом, устанавливается четкое значение параметра «количество биоиндикаторов».

3. Определение нечеткого значения переменной  $X_{value}$  «величина превышения». Из базы данных выбирается четкое значение величины превышения уровня фонового содержания отравляющего вещества в фонах и в соответствии с базой правил принятия решения определяется нечеткое значение данной переменной. Если исследованы все биоиндикаторы в данном регламенте, то переходим к п. 4, иначе возвращаемся к п. 2.

4. Если нечеткое значение  $X_{value}$  при проведении выбранного регламента для различных биоиндикаторов равно, то пересчитывается  $X_{amount}$  по следующему правилу:

Если  $((X_{value_d} = X_{value_f}) \text{ И } (d=1, \dots, c) \text{ И } (f=1, \dots, c) \text{ И } (d \neq f))$ ,  
то  $((amount_d = amount_d + amount_f) \text{ И } (amount_f = nul) \text{ И } (X_{value_f} = nul))$

5. По имеющимся данным в базе правил определим нечеткое значение переменной  $X_{amount}$  «количество биоиндикаторов».

6. Итак, при расчете получается множество ситуаций  $MS [2]$ :

$$MS = \{Si\}; \quad i = 1, \dots, g; \quad g \leq c;$$

где  $g$  – количество ситуаций, которое может быть равно численности биоиндикаторов, исследованных в выбранном регламенте, или быть меньше этого значения;

$Si$  – ситуация, возникающая при определенных значениях переменных  $X_{amount}$  и  $X_{value}$ ; она выглядит следующим образом:

$$S = \{X_{amount}, X_{value}\}$$

7. По базе правил находим данные ситуации и определяем значения предстоящих решений выбора регламента. Если в результате получается несколько разных решений, то выбираем регламент с максимальным весом значимости.

8.  $Reg = Regi \text{ при } Weight(Regi) = \max(Weight(Regi));$   
 $i=1, \dots, b,$

где  $b$  – количество возможных регламентов;  
 $Weight(Regi)$  – вес регламента.

Таким образом, на выходе системы анализа данных биомониторинга получаем вывод об изменении регламента диагностического мониторинга или о переходе к оперативному мониторингу с предлагаемым вариантом отбора проб на данном объекте.

Алгоритм реализован в виде отдельного модуля  $Cu \#$ . На рис. 2 представлена экранная форма, на которой выводятся результаты принятия решения для определения регламента мониторинга.

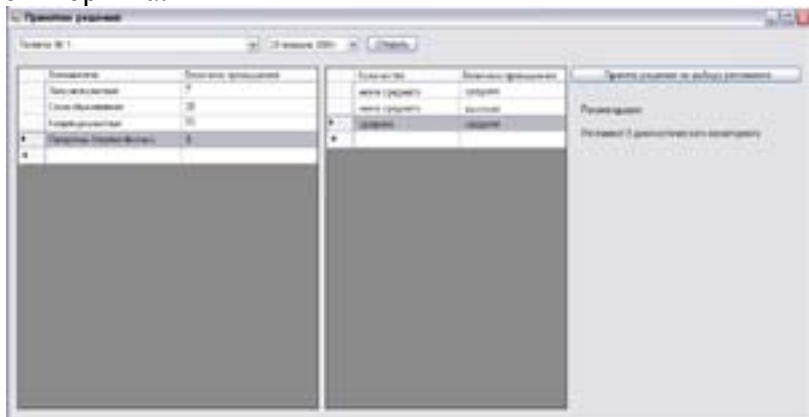


Рис. 2. Модуль принятия решений в системе биомониторинга

## Список литературы

1. Мелихова О. А. Методы построения интеллектуальных систем на основе нечеткой логики [Текст] / О. А. Мелихова; под ред. З. А. Мелиховой. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. – 92 с.

2. Заде Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений [Текст] / Л. А. Заде. – М.: Математика сегодня, 1974. – С. 5–49.

3. Модуль логического вывода для поддержки принятия решений по данным биомониторинга [Текст] / В. А. Алексеев, И. М. Янников, М. В. Телегина [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск: ИжГТУ, 2008. – № 2 (12). – С. 127–137.

4. Янников И. М. Изменения регламента биомониторинга при аварийных ситуациях на объектах по уничтожению и хранению химического оружия [Текст] / И. М. Янников, Н. В. Козловская // Вестник Министерства по делам ГО и ЧС Удмуртской Республики. – Ижевск, 2007. – № 3 (003). – С. 33–35.

5. Алексеев В. А. Применение методов нечеткой логики в задачах анализа экологических данных [Текст] / В. А. Алексеев, И. М. Янников, М. В. Телегина // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – № 12. – С. 143–148.

6. Янников И. М. Сравнительный анализ методов обработки данных биомониторинга [Текст] / И. М. Янников // Интеллектуальные системы. – Ижевск: ИжГТУ, 2010. – № 1(15). – С. 123–128.

## НЕОБХОДИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

*Стахеев М. В.*

Теория риска в течение последних десятилетий интенсивно развивается для оценки и анализа многих аспектов безопасности сложных систем (технических, социальных, экономических), а также в области защиты людей от пожаров, катастроф и иных чрезвычайных ситуаций. В нашей стране исследования проблем риска получили интенсивное развитие после Чернобыльской аварии, когда идеология «абсолютной безопасности» показала свою несостоятельность. Именно тогда философия безопасности была реформирована коренным образом, и началось построение новой науки о безопасности на основе отказа от принципа «абсолютной» безопасности или «нулевого» риска, в пользу принципа «приемлемого» риска. Этот процесс в наши дни уже перешел в область практической реализации - новые законодательства и нормативно-методические документы в области безопасности уже широко используют идеи анализа и управления риском.

С вступлением в силу Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] представляющий собой значительный, принципиальный шаг в направлении совершенствования государственного управления обеспечением комплексной безопасности производственной деятельности и жизнедеятельности вообще. Практически это первый в нашей истории общественно значимый правовой акт в направлении перехода от нормативного государственного регулирования «сверху» к управлению рисками в местах их

возникновения на методологических основаниях концепции приемлемого риска. Этот шаг предоставляет реальную возможность перехода от формального контроля за «соблюдением установленных требований безопасности» к реальной деятельности по улучшению состояния безопасности.

В условиях реформирования профессионального образования в МЧС России, стремительного развития науки и техники, изменения промышленных технологий и социально-экономических условий развития общества требуется пересмотреть направленность, содержание, методы, средства и формы профессиональной подготовки курсантов и студентов в образовательных учреждениях пожарно-технического профиля. Без внедрения прогрессивных образовательных инноваций невозможна подготовка высококвалифицированных специалистов, готовых к профессиональной деятельности в новых условиях. Весь процесс обучения необходимо нацеливать на развитие у курсантов профессионально значимых качеств, главным из которых является умение самостоятельно принимать единственно верные в экстремальной ситуации решения. Особую актуальность этот вопрос приобретает в настоящее время, когда круг профессиональных обязанностей специалиста противопожарной службы значительно расширился.

Как показывает анализ практики деятельности образовательных учреждений пожарно-технического профиля, в подготовке будущих специалистов противопожарной службы ранее преобладал традиционный подход, при котором обучение носит преимущественно репродуктивный характер и ориентирует обучающихся главным образом на решение типовых профессиональных задач. В результате этого способность самостоятельно принимать решения, отступать в своих действиях от шаблона с полной ответственностью за последствия в процессе обучения в достаточной мере не формируется.

□ Во многом это обусловлено тем, что формирование компетентности будущего специалиста происходит стихийно, не все преподаватели четко осознают необходимость формирования у курсантов не только предметных знаний и умений, но и профессионально значимых качеств и необходимых компетенций.

В Концепции модернизации российского образования одним из важных концептуальных положений обновления содержания образования провозглашается компетентностный подход [2]. Компетентностный подход - это приоритетная ориентация на реализацию целей образования, обучаемость, самоопределение, самоактуализацию, социализацию и развитие индивидуальности. В качестве инструментальных средств достижения этих целей выступают компетенции. Эти метаобразовательные конструкты имеют отчетливо выраженную практико-ориентированную и проектно-деятельностную направленность.

Компетентностный подход начал использоваться в системе образования МЧС России с утверждением федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Пожарная безопасность» [3, 4].

По данным направления предполагается формирование следующих компетенций в области управления рисками:

- владение культурой безопасности и риск-ориентированным мышлением, при котором вопросы безопасности и сохранения окружающей среды рассматриваются в качестве важнейших приоритетов в жизни и деятельности;

- способность оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники;

- способность использовать методы расчётов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности;

- способность использовать методы определения

нормативных уровней допустимых негативных воздействий на человека и природную среду;

- способность проводить измерения уровней опасностей в среде обитания, обрабатывать полученные результаты, составлять прогнозы возможного развития ситуации;

- способность определять допустимые, недопустимые и приемлемые уровни риска;

- способность разрабатывать оптимальные системы противопожарной защиты объектов с учетом требований технических регламентов, национальных и международных стандартов, расчета пожарного риска.

Для реализации компетентностного подхода востребован специалист, не только имеющий знания в предметной области, но и владеющий современными технологиями обучения и умеющий их применять. Однако предварительные исследования выявили низкий уровень сформированности компетенций в области управления рисками у большинства курсантов образовательных учреждений пожарно-технического профиля.

Необходимость и важность проблемы формирования компетенций, связанных с риском, у курсантов образовательных учреждений пожарно-технического профиля на современном этапе обусловлена тем, что до настоящего времени данные аспекты образовательной деятельности в системе подготовки кадров для противопожарной службы не получили научно обоснованной разработки.

## Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. – 157 с.

2. Концепция модернизации российского образования на период до 2010 года: распоряжение Правительства РФ от 29 декабря 2001 г. № 1756-р.

3. ФГОС ВПО по направлению подготовки (специальности) 280705 Пожарная безопасность: утв. Минобрнауки России 14 января 2011 г. : ввод. в действие с 14 января 2011 г.

4. ФГОС ВПО по направлению подготовки (специальности) 280700 Техносферная безопасность: утв. Минобрнауки России 14 декабря 2009 г.: ввод. в действие с 14 декабря 2009 г.

## ЭТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СПЕЦИАЛИСТА КАК ГАРАНТ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Н.А.Перминов*

*Два мира есть у человека:  
Один, который нас творил,  
Другой, который мы от века  
Творим по мере наших сил.  
Н. Заболоцкий*

*Мир, что создали мы, нам надо  
Не разрушать своим трудом,  
А сохранять, и ждет награда:  
Весь шар земной – надежный дом.  
Н. Перминов*

Мир, который мы создаем своими действиями вокруг себя, все больше и больше заставляет нас отвечать за наши ошибки. И чем крупнее объекты наших созиданий, тем мощнее обратная связь: окружающий мир – люди. Если это творение человеческого разума – просто автомобиль, то мы, измерив содержание вредных веществ в выхлопных газах, можем запретить ему ездить, чтобы он не отравлял воздух вокруг нас. А если это атомная электростанция или подводная лодка, деятельность которых в критических случаях просто так не выключишь: и вот она – обратная связь, сообщающая нам, что мы в этом мире совсем не цари природы. Поэтому мы, как технические специалисты, создавая эти чудеса техники, должны всесторонне обдумывать свои технические решения и поступки, отправляя эту подводную лодку в плавание и запуская эту электростанцию в работу.

Примеров таких критических ситуаций с техническими объектами, вышедшими из под контроля – множество, они у всех на слуху.

Напомню одно из последних мировых событий: в Японии произошла катастрофа на атомной электростанции. По телевидению были приведены слова американского ученого, одного из участников проекта разработки этой атомной электростанции: он не может себе простить, что в свое время, докладывая руководству о недостатках и недоделках в конструкции и получив отрицательное решение по их переделке, не настоял на своем: системы безопасности не гарантировали безаварийную работу реакторов в экстренных случаях. Позже, выражая свое несогласие, он ушел из организации, проектировавшей и строившей атомную электростанцию в Японии, так как испытывал моральную ответственность за некачественно, не полностью проделанную работу. Этот пример высоких этических принципов можно и нужно назвать этикой технического специалиста.

Квалификации бакалавров, специалистов и магистров, которых будут выпускать кафедры Института гражданской защиты тоже имеют техническую направленность, и в число их компетенций записаны и такие как: уметь делать технические расчеты конструкций, механизмов и сооружений.

Избрав инженерную техническую профессию, молодые люди должны понимать, что для них в их профессиональной деятельности может настать день и час, когда возникнет необходимость держать как минимум моральный ответ за участие в том или ином техническом решении.

Это относится и к теме предотвращения чрезвычайных ситуаций, и к теме защиты от них, и к темам сохранения и восстановления окружающей среды и ее биологической составляющей в частности и последующей безопасной жизнедеятельности в созданной инженерами техносфере, деятельность которой после осуществления различных технологий и применения различных образцов техники всегда приводит к ответу человеческий фактор, специалистов-инженеров, которые эти технологии и технику разрабатывают и используют.

Да и не только эти темы! Вышеперечисленное можно отнести ко всем техническим специалистам, где бы они ни трудились, какого бы профиля тему ни разрабатывали.

И вот здесь речь заходит об этичности их поступков в своей технической деятельности.

Что такое этика мы знаем все и давно, со времен студенческой скамьи, когда слушали лекции по философии. Кроме того, этические стороны поступков человека нам объясняли с детства и папа и мама. Папа – ремнем, мама – другими методами. Школа пыталась сказать в эту сторону что-то официально-идеологическое, которое отнюдь не застряло в наших мозгах. Но все запомнили, что перед едой надо мыть руки, чтобы не навредить себе – раз, и чтобы окружающие не шарахались от тебя как от грязнули – два.

Эти два последствия такого простого дела, как вымыть руки с мылом, можно проецировать на всю остальную человеческую деятельность:

чтобы не было вреда себе, морального, как минимум;

чтобы не создавалось неудобств и, более того, несчастий окружающим тебя людям.

Может показаться, что если бы ученые все как один отказались работать над созданием атомной бомбы, то мир был бы более надежен и спокоен. Но тогда у человечества не было бы оружия, которое могло бы остановить приближающуюся к планете Земля комету для предотвращения исчезновения уже не динозавров, а людей.

Создавать новые технологии и технические объекты необходимо, так как наша цивилизация когда-то избрала не путь совершенствования человека, а путь расширения своей мощи с помощью техники и жизни в техносфере.

Да и может ли человек стать лучом, как предсказывал Константин Эдуардович Циолковский, этого не знает никто.

И жить в мире с техникой, не ждать от нее тяжких последствий применения, может помочь и этическое воспитание наших бакалавров, специалистов и магистров: преподавание в вузах дисциплины «Этика технического специалиста», которая, не одна, конечно,

а вкуче с другими науками может и должна стать гарантом техносферной безопасности.

Некоторые рекомендации к курсу «Этика технического специалиста»:

1 Можно и нужно рассчитывать процент брака изготавливаемых деталей, если этот брак не нанесёт никому убытков, кроме производителя, но недопустимо считать методами теории вероятности то, что может принести вред людям, хотя бы малому их количеству, даже одному проценту: неучтённые в расчётах ошибки в действиях людей и природные катаклизмы многократно увеличивают эти проценты, а для пострадавших, кто в эти проценты попал, они вообще составляют число 100.

2 Как правильно говорит народ: мудр не тот, кто знает многое, а тот, кто знает нужное, поэтому инженер, знающий только техническую сторону дела и не ведающий об этических проблемах, вытекающих из результатов его работы, может натворить много опасных последствий, ибо «специалист подобен флюсу: полнота его односторонняя» (Козьма Прутков).

3 Как узки улицы наших городов, как много места вокруг них. Все проектирование подчинено минимализации расходов и ничего другого, а это есть не что иное, как: не думать о людях, то есть полнейшее отсутствие у проектировщиков технической этики.

4 Писатели фантасты, когда писали о роботах, объясняли, что в программы роботов введен первый закон: «Не навреди человеку». В этом писатели видели выход из создавшейся ситуации, когда техника становится опасной для человека и человечества.

Когда я перешёл на преподавание в ИГЗ, то с удовлетворением воспринял наличие в штате института защитников природы и людей от техногенных опасностей специалиста культурологии. Как это здорово, подумал я: два направления образования (техническое и гуманитарное) параллельно дадут лучший результат, и будет очень жаль,

если культурологию вытеснят из учебного процесса. Да, мы готовим инженеров, но недостаток технического образования они дополучат в процессе своей профессиональной деятельности, а вот в вопросах культуры и этики так и останутся неучами: некому будет научить.

Видимо интуитивно, на основе этого, предложил ввести в учебный процесс курс этики технического специалиста и весьма рад, что руководство ИГЗ отнеслось к этому с пониманием.

Я – технический специалист, и я не против техники, но она должна развиваться вместе с нашей гуманитарной образованностью.

Конечно, я за технические удобства в нашей жизни, но в определенной мере. Где та мера находится, это надо еще определить, но я за то, чтобы человек стал мерой всех своих действий.



## **ПОВЫШЕНИЕ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ КАК ФАКТОР БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Мерзлякова Д.Р.*

Поведение людей при пожарах во многом определяется состоянием стресса, вызванного чувством опасности.

Существует множество определений стресса. Назовем некоторые из них.

Г. Селье. Стресс есть неспецифический ответ организма на любое предъявленное ему требование.

Л.А. Китаев-Смык. Стресс - неспецифические физиологические и психические проявления адаптационной активности при действии любых значимых для организма факторов.

Л.П. Гримак. Стресс - неспецифическая реакция на ситуацию, требующей функциональной перестройки организма.

М.И. Дьяченко, Н.И. Наенко. Стресс – крайняя психическая напряженность, которая может выражаться в дезинтеграции поведения и деятельности вплоть до появления нервно-эмоционального срыва.

L. Levi. Стресс - неспецифическая стереотипизированная реакция организма на требования, возлагаемые на него.

A. Fishman. Стресс возникает, когда появляются такие условия, с которыми организм не способен легко справиться.

I. Udriș. Стрессор - фактор, исходящий из окружающей действительности, влияющий на индивида.

T. Кокс. Стресс - любое влияние, которое нарушает естественное равновесие организма. В него включаются физические ранения, различные воздействия, лишения, все болезни и эмоциональные расстройства.

Данные определения объединяют следующие подходы.

1.Парадигма соответствия в системе “личность - среда”, лежащая в основе экологического подхода. В этой парадигме стресс рассматривается как результат дисбаланса между требованиями окружающей среды (физической, трудовой, социальной) и наличными ресурсами человека, что проявляется в формировании широкого спектра негативных последствий как со стороны снижения эффективности труда, так и нарушений физического здоровья и личностного благополучия работающих.

2.Процессуально-когнитивная парадигма, базирующаяся на психологической модели стресса Р.Лазаруса и оформившаяся в виде трансактного подхода. Она основана на интерпретации стресса как процесса развития индивидуально-личностных форм адаптации к осложненным условиям деятельности, главными компонентами которого являются когнитивная оценка ситуации и актуализация репертуара внутренних средств преодоления затруднений (т.н. coping strategies).

3.Парадигма регуляции состояний, реализуемая в рамках регуляторного подхода. В ней внимание фиксируется на анализе стресса как особого класса состояний с богатой феноменологией, возникающих в результате изменения механизмов регуляции деятельности и поведения при актуальном и пролонгированном воздействии стрессогенных факторов.

По нашему мнению, при изучении прогнозирования поведения людей при пожарах наиболее продуктивным будет создание типологии поведения людей в стрессовой ситуации.

Индивидуальные различия по отношению к стрессу обусловлены во многом своеобразными личностными особенностями человека. Мельник Ю. выделяет 6 диспозиционных типов личности, которые по-разному реагируют на стресс [3].

1. Честолюбивый тип. К этому типу относятся люди с сильной потребностью достижения и успеха. Причинами стресса для них становятся перегрузки, большая интенсивность деятельности и межличностных отношений, недостаточное понимание себя. Основные симптомы стресса: бессонница, высокое кровяное давление, проблемы с сердцем, чрезмерное курение и потребление алкоголя.

2. Спокойный тип. К нему относятся безмятежные, спокойные люди; они ориентированы на прошлое, мечтательны и малоактивны, соблюдают баланс между работой и домом, отличаются низкой уязвимостью к стрессу. Причинами стресса могут стать или другие люди, или требования профессиональной жизни, которые нарушают размеренное течение жизни.

3. Совестьливый тип. К этому типу относятся люди мелочные, дотошные, педантичные, тщательные, догматичные и стабильные, консервативные и обязательные. Они верят авторитетам и подчиняются традициям. Причинами стресса для них оказываются в первую очередь другие люди, которые нарушают их планы и стереотипы поведения. Им свойственна средняя степень уязвимости по отношению к стрессу. Но они очень чувствительны к изменениям их привычной жизнедеятельности.

4. Неотстаивающий тип. К этому типу принадлежат люди, которые не могут постоять за себя и отстаивать свои права. Такие люди стремятся угодить другим и избегать межличностных конфликтов, боятся конфронтации и проблемных отношений с другими. Вообще испытывают внутреннее напряжение на почве межличностных отношений, то и служит частой причиной стресса.

5. Жизнелюбивый тип. Люди, относящиеся к этому типу, жизнелюбивые, сильные, энергичные; живут полноценной жизнью, жаждут новых событий и впечатлений; импульсивные и рискованные; для них характерна частая смена интересов. Причинами стресса для людей этого типа выступает рутинная скучная работа и чрезмерное внутреннее напряжение,

которое существенно повышает уязвимость к стрессу.

6. Тревожный тип. Люди, принадлежащие к данному типу, отличаются высокой уязвимостью к стрессу, испытывают беспокойство по поводу возможных неудач, ориентированы на будущее и чрезмерно рефлексируют, характеризуются высоким внутренним напряжением при низкой самооценке. Причинами стресса для тревожного типа личности оказывается ответственная работа и резкие изменения в жизни.

При этом личностные особенности формируют особого рода стратегии поведения человека в трудных жизненных ситуациях, к которым относятся и пожары.

Согласно исследованиям Дж. Амирхана существуют три базисные копинг-стратегии личности: разрешение проблем, поиск социальной поддержки, избегание проблем. Согласно подходу Дж. Амирхана, высокий уровень стратегии «разрешение проблем» указывает на высокую готовность и, как правило, способность эффективно разрешать возникающие у человека проблемы, что свидетельствует о высокой адаптивности его поведения в стрессовых ситуациях. Из трех базисных копинг-стратегий стратегия «разрешение проблем» является наиболее конструктивной, так как направлена на целеполагание, поиск возможных когнитивно-поведенческих решений, практических шагов по преодолению трудностей. Стратегия «поиск социальной поддержки» является менее конструктивной, поскольку предполагает использование не столько внутренних, сколько внешних ресурсов, что может свидетельствовать о социальной зависимости и незрелости субъекта совладания. Стратегия избегание проблем, или сознательный уход от возникших жизненных трудностей, помогает сохранить относительную эмоциональную стабильность, но не считается продуктивной [2].

Помимо учета личностных особенностей и существующих стратегий совладающего поведения человека, необходимо учитывать ситуацию, возникающую в процессе пожара и социально-психологические аспекты группы,

влияющие на поведение индивидуумов.

Поведение человека при пожаре определяется возникающим состоянием паники.

Согласно Большой советской энциклопедии, паника (от греческого *panikon* — безотчетный ужас), психологическое состояние, вызванное угрожающим воздействием внешних условий и выраженное в чувстве острого страха, охватывающего человека или многих людей, неуправляемого неконтролируемого стремления избежать опасной ситуации.

Практически все исследователи отмечают, что паника является «очень нетипичной реакцией» и что это «статистически нечастый вид поведения». Поэтому возникает вопрос о влиянии групповых процессов на поведение человека в группе. По нашему мнению влияние группы на человека может быть определен как некий «коэффициент адекватности». Соответственно, чем выше «коэффициент адекватности», тем более личностные особенности влияют на поведение человека и при эвакуации, и тем менее групповые процессы эмоционального заражения захватывают человека.

Эмпирическое изучение соотношения личностных особенностей человека, его стратегий совладающего поведения и групповых процессов, происходящих при пожаре, могут быть предметом дальнейшего изучения.

### Список литературы

1. Баранов А.А. Стресс-толерантность педагога: теория и практика. М.: «АСТ»; Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2002.- 444 с.

2. Камынина И.В. Копинг-стратегии личности в экстремальных условиях жизнедеятельности: автореф. дис. ... канд. психол. наук. – Хабаровск, 2008. – 20 с.

3. Мельник Ю. Управление стрессами (или 6 типов личностей, реагирующих на стресс) // Управление персоналом. 2000. № 3.

## **БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ**

*Выпуск 7*

Напечатано в авторской редакции

Подписано в печать 11.10.11г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать офсетная. Усл. печ. л.11,7 Уч-изд.л 9,0.

Тираж 100 экз. заказ №

Типография ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»  
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1 кор.4.