



Безопасность  
в техносфере  
rintd.ru

Система управления  
эвакуацией людей  
eesystem.ru



ISBN 978-5-4344-0347-4



9 785434 403474

Безопасность в техносфере 10

Удмуртское региональное отделение  
Общероссийской общественной организации  
«Российское научное общество анализа риска»

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

# Безопасность в техносфере

10



Ижевск 2016

Удмуртское региональное отделение  
Общероссийской общественной организации  
«Российское научное общество анализа риска»

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**  
*Сборник статей*

*Выпуск 10*



Ижевск  
2016

УДК 351.86 (063), 004.4'2

ББК 68.9 я 431

Б 40

*Научный редактор:*

доктор технических наук, профессор В. М. Колодкин

**Б 40 Безопасность в техносфере:** сборник статей / науч. ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 142 с.

**ISBN 978-5-4344-0347-4**

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на X международной конференции «Безопасность в техносфере». Конференция посвящена представлению новой беспроводной системы управления эвакуацией людей из зданий в условиях пожара.

В статьях раскрываются принципы организации системы, вопросы создания математического, алгоритмического и программного обеспечения. Содержание статей дает системное представление о современных проблемах безопасности в техносфере и способах их решения.

**ISBN 978-5-4344-0347-4**

УДК 351.86 (063), 004.4'2

ББК 68.9 я 431

СОДЕРЖАНИЕ

<b>I Управление эвакуацией</b> . . . . .	5
<i>В.М. Колодкин, М.Э. Галиуллин, О.А. Морозов, Д.В. Варламов, Б.В. Чирков, В.К. Вашитиев</i> Система управления эвакуацией людей из здания при пожаре . . . . .	6
<i>В.М. Колодкин, Д.В. Варламов, Б.В. Чирков, А.В. Романенко, Г.М. Чигвинцев</i> Пространственно-распределенный мониторинг опасных факторов пожара на основе микропроцессорных сенсорных узлов системы управления эвакуацией . . . .	17
<i>В.М.Колодкин, Б.В. Чирков</i> Алгоритмы и модели системы управления эвакуацией людей при пожаре в здании . . . . .	28
<i>В.К. Вашитиев, Б.В. Чирков</i> Беспроводной указатель путей эвакуации в здании при пожаре . . . . .	44
<i>Б.В. Чирков, В.К. Вашитиев</i> Испытательный стенд базовых компонентов системы динамического управления эвакуацией . . . . .	48
<i>Д.Е. Ушаков, Д.В. Варламов</i> Беспроводная система директивного управления эвакуацией из здания ВУЗа в условиях ЧС . . . . .	53
<i>А.О. Степанов</i> Разработка системы голосового оповещения при управлении эвакуацией . . . . .	63
<i>Р.Ш. Хабибуллин, С.В. Гудин</i> Система поддержки управления пожарной безопасностью крупных производственных объектов нефтегазовой и нефтехимической отрасли . . . . .	69
<i>Д.В. Шизалев</i> Анализ подходов к определению маршрутов движения людей во время эвакуации при пожаре . . . . .	74
<b>II Техносферная безопасность</b> . . . . .	81
<i>V.V. Vodryaga, F.V. Nedopekin, V.V. Belousov, V.A. Kravets, J.I. Shalapko</i> Mathematical simulation of emission aerodynamics during cast iron overflows with regard to nitrogen jet . . . . .	82
<i>А.М. Сивков, А.В. Радикова</i> Веб-сервис «Безопасность в техносфере» . . . . .	93

<i>В.О. Анашин</i>	
Онлайн – информационная система оценки техногенного риска аварии . . . . .	99
<i>Д.М. Варламова</i>	
Декомпозиция частоты возникновения пожара в административно-общественных зданиях . . . . .	102
<i>В.Ф. Недопекин, Н.С. Шестакин</i>	
Анализ рисков адаптации на Донбассе технологий улавливания и хранения диоксида углерода . . . . .	105
<i>А.П. Симоненко, В.В. Белоусов, Н.А. Дмитренко, Ф.В. Недопёкин</i>	
Повышение эффективности защиты от крупномасштабных пожаров и затоплений сточными водами путём применения гидродинамически-активных композиций . . . . .	112
<i>С.Г. Светушенко, И.Е. Зотов</i>	
Универсальный способ расчёта пожарного риска с помощью матриц . . . . .	118
<i>О.И. Харина</i>	
Исследование работы биполярного шагового двигателя . . . . .	122
<i>Н.А. Перминов</i>	
Мобильное средство для эвакуации людей с высоких уровней вертикальных каменных стен в условиях чрезвычайной ситуации . . . . .	126
<i>И.М. Янников, И.А. Латыпова</i>	
Роль ГИС-Технологий в анализе риска чрезвычайных ситуаций территорий . . . . .	130
<i>М.В. Телегина, М.А. Михайлов, А.В. Якимов, Е.Ю. Шкатова</i>	
К вопросу о разработке тренажера по организации, медицинской сортировке пострадавших и выбору видов медицинской помощи в условиях массовых катастроф . . . . .	135
<i>С.В.Широбоков</i>	
Количественная оценка эффективности деятельности инспектора государственного пожарного надзора . . . . .	139

# Раздел I

## Управление эвакуацией

УДК 351.86(063)

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

*В.М. Колодкин, М.Э. Галиуллин, О.А. Морозов, Д.В. Варламов,  
Б.В. Чирков, В.К. Вашитиев*<sup>1</sup>

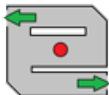
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: [kolodkin@rintd.ru](mailto:kolodkin@rintd.ru), [m.a.galiullin@gmail.com](mailto:m.a.galiullin@gmail.com),

[big.black.fox@gmail.com](mailto:big.black.fox@gmail.com), [b.v.chirkov@gmail.com](mailto:b.v.chirkov@gmail.com), [vashtiev@ya.ru](mailto:vashtiev@ya.ru)

*Представлены результаты работы над системой управления эвакуацией людей из здания при пожаре. Описаны основная идеология и этапы работы над системой. Описана структура программно-аппаратного комплекса.*

**Ключевые слова:** система оповещения и управления эвакуацией, пожарный извещатель, путь эвакуации, опасные факторы пожара, модель эвакуации, микроконтроллер.



Emergency  
Evacuation  
System  
<http://eesystem.ru>

*Экстренная эвакуация людей из  
общественных зданий и  
сооружений – это наиболее  
эффективный способ сохранения  
жизни и здоровья людей при  
авариях, катастрофах и  
террористических проявлениях*

### О проекте

Проект поддержан грантом Минобрнауки № RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий» в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

<sup>1</sup>Над проектом также работали: Анашин В.О. Варламова Д.М. Дedyхин А.А. Колесников Е.Ю. Петров К.А. Радикова А.В. Романенко А.В. Романов Э.А. Сивков А.М. Степанов А.О. Ушаков Д.Е. Федотова И.В. Харина О.И. Чазов Д.П. Черкасов С.В. Чигвинцев Г.М. Шихалев Д.В.

## Цели проекта



В рамках проекта усилия концентрируются на разработке и создании программно-аппаратного комплекса динамического управления эвакуацией людей из общественных зданий в режиме реального времени.

## Требования к комплексу

Комплекс должен быть надежным в эксплуатации, доступным по стоимости и монтироваться в общественных зданиях и сооружениях без нарушения целостности строительных конструкций.



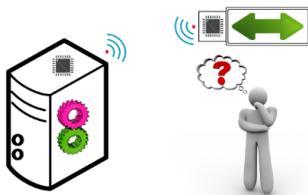
## Как это работает

В основе системы лежит идея управления процессом эвакуации через постоянный мониторинг состояния среды в здании, отслеживания динамики развития опасных факторов пожара и направления потоков людей по безопасным маршрутам с минимальными затратами времени.



### 1. Мониторинг среды в здании

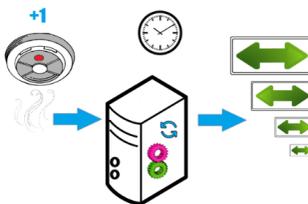
Мониторинг состояния среды в здании осуществляется через распределенную сеть беспроводных сенсоров с обратной связью (данные передаются как от сенсоров на сервера, так и от серверов на сенсоры, а также между сенсорами), снимающих показания по задымленности, температуре, содержанию газов и другим характеристикам, влияющим на процесс эвакуации.



## 2. Определение аварийной ситуации и проектирование эвакуационных путей

По результатам мониторинга в автоматическом режиме идентифицируется состояние возникновения чрезвычайной ситуации. Система управления эвакуацией работает в режиме реального времени.

То есть, как только сенсорный узел идентифицировал или получил сигнал аварийной ситуации, на основе математической модели движения людских потоков проектируются пути из всех помещений здания, и эти пути указываются людям (например, с помощью светодиодных информационных указателей, звуковых оповещателей и т.д.).

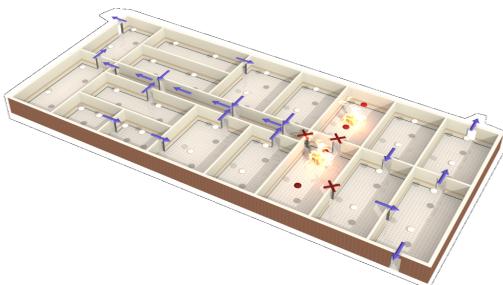


## 3. Перерасчет путей в реальном времени

По мере срабатывания сенсорных узлов (выявления непроходимых для человека участков путей внутри здания) происходит новый расчет путей эвакуации и их новое

представление людям, находящимся в здании.

То есть каждое изменение в состоянии здания преломляется в новых указателях направлений движения людских потоков по всему зданию. Вычислительный процесс организован на выделенных узлах системы (серверах).



*В основе системы лежит идея постоянного отслеживания динамики развития опасных факторов пожара и направления потоков людей по безопасным маршрутам с минимальными затратами времени.*

## Что внутри

### Микроконтроллеры



Основой аппаратной части каждого узла в сети является ультрасовременный AVR микроконтроллеры фирмы Atmel – ATMega128RFA1 (класса SoC), уже содержащий в себе сетевые возможности, удовлетворяющий требованиям экономичного энергопотребления, универсальности, надежности работы и доступной цены.

Все устройства системы базируются на универсальном модуле, спроектированном в виде печатной платы, содержащим в себе микроконтроллер, интерфейс для подключения периферийных элементов, а также антенну. Производство серийной партии модулей обеспечил партнер проекта - АО «Ижевский радиозавод».

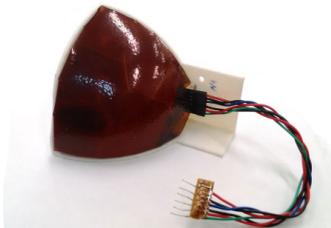
### Беспроводная передача данных



В микроконтроллер ATMega128RFA1 встроен приемопередатчик, работающий на частоте 2,4 ГГц, обеспечивающий передачу цифровых данных на расстоянии порядка 50 метров. Геометрия антенны, обеспечивающей приемлемый уровень сигнала, реализована в виде разводки на плате.

Передачу данных возможно осуществлять по протоколам, совместимым со стандартом IEEE 802.15.4. Для проекта наиболее подходящим оказался сетевой программный стек – Lightweight Mesh (Atmel).

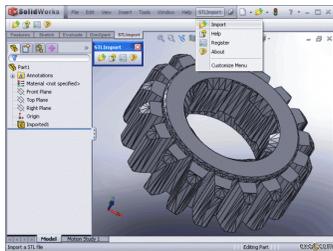
## Детекторы



В рамках проекта ведется разработка собственных сенсоров. В частности, секционный детектор пламени. Для экспериментального сегмента системы были использованы стандартные датчики температуры и дыма.

Также ведется разработка датчиков, определяющих количественные характеристики людских потоков.

## 3D печать



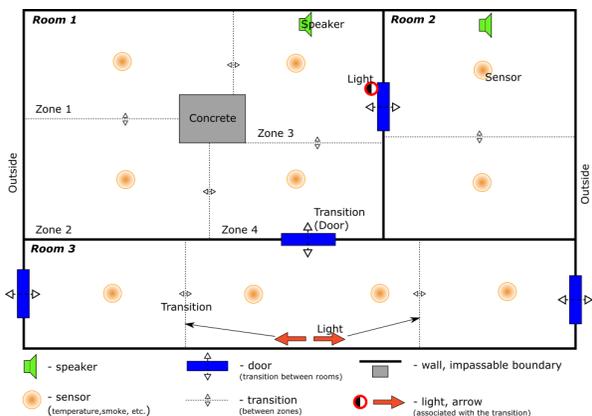
Для создания элементов системы (корпусов датчиков и т.п.) был использован 3D-принтер. Моделирование производилось в таких программных комплексах как SolidWorks, Blender, FreeCAD.



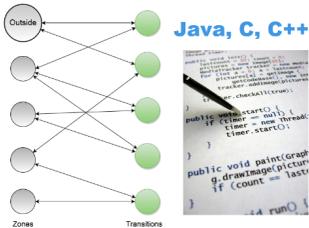
## Пространственные модели зданий

Для целей проекта пространственно-информационная модель (ПИМ) здания должна соответствовать определенным требованиям. ПИМ должна:

- содержать описания помещений, проемов, переходов;
- содержать связи помещений через проемы/переходы;
- иметь информацию для каждого помещения (размеры, начальное распределение людей);
- содержать информацию об узлах беспроводной сети системы (указатели направления движения, сенсоры, маршрутизаторы, и т.д.);
- сопровождаться инструментами, позволяющими осуществлять ввод и импорт информации.



## Модели и алгоритмы



### Численное моделирование

Математическая модель эвакуации, используемая в проекте, описывает людские потоки в здании, отвечающие условию минимальности времени освобождения здания (по времени выхода последнего человека из здания).

Траектории движения людских потоков проектируются в динамическом режиме исключительно по проходным помещениям, где опасные факторы пожара (температура, концентрация дыма, концентрации газов, выделяющихся при пожаре) находятся в допустимых границах.

На данном этапе работ реализован численный алгоритм математической модели эвакуации, в основе которого лежит представление пространственно-информационной модели здания (ПИМ) в виде взвешенного двудольного графа. Узлами графа являются объекты двух типов – помещения и проемы, ребрами – соответствующие связи между ними. Такая форма представления здания получается из структуры ПИМ, разработанной для целей проекта. Численная реализация модели эвакуации учитывает изменение во времени весов графа, означающее изменение состояния среды в здании (выделение непроходимых для людей участков в здании). Результатом является динамический перерасчет траекторий движения людских потоков при эвакуации.

### Прошивка для микроконтроллеров.

Каждый узел системы функционирует в соответствии с программой, «прошитой» в микроконтроллер узла. Программа должна обеспечивать такие функции, как:

- считывание показателей сенсоров
- управление указателями направлений движения
- передача считываемых данных на сервер
- прием управляющих команд с сервера
- транзит пакетов данных через беспроводную сеть
- определение работоспособности узлов сети

## Этапы развития



**2004-2013**

### **Работы в области пожарной безопасности**

Научные разработки в области оценки пожарного риска. Проведение масштабных работ по ранжированию общеобразовательных учреждений региона по уровню пожарной опасности. Работы в рамках гранта «Паспорт безопасности образовательного учреждения как основа управления рисками в образовательных учреждениях России» по АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы».



**2013 - Май 2014**

### **Поиск вариантов управления эвакуацией**

Выбор подходящего аппаратного обеспечения для реализации управления эвакуацией людей. Эра DIY. Новые возможности с появлением современных микроэлектронных устройств. Поиск подходящих алгоритмов для расчета путей эвакуации.



**Май 2014**

### **Заявка и победа в конкурсе грантов Минобрнауки**

Выигрыш в конкурсе с проектом «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий». Начало работ по реализации наработанных идей.



**Октябрь-Декабрь 2014**

### **Выставки. Завершение 1-ого этапа работ**

Участие во всероссийской выставке «Комплексная безопасность». Выпуск партии электронных плат партнером проекта – «Ижевским радиозаводом». Разработка программных моделей системы. Проектирование сенсорных элементов системы.



**Май-Декабрь 2015**

### **Участие в выставках и конференциях**

Создание выставочного стенда, демонстрирующего работу всей системы в целом. Участие во всероссийской выставке «Комплексная безопасность. 2015». Участие во всероссийской выставке «2015 ВузПромЭкспо. Москва».



**Декабрь 2015**

**Завершение 3-го этапа работ**

Создание экспериментального сегмента системы, отвечающего общей концепции комплекса управления эвакуацией людей из здания при пожаре.

**Выставки и конференции**



Всероссийская выставка «Комплексная безопасность 2014»



Всероссийская выставка «ВУЗПромЭкспо 2015. Москва»

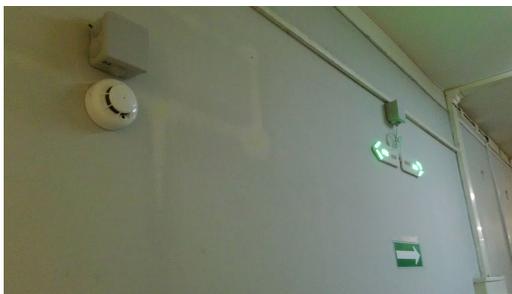
### Экспериментальный сегмент

В конце 2015 года был развернут экспериментальный сегмент Системы в одном из зданий университета.

Беспроводные электронные блоки с яркими светодиодными «бегущими» стрелками указывают наиболее безопасное направление движения для эвакуирующихся.



Сенсорные беспроводные блоки, регистрирующие температуру и дым, размещены для целей эксперимента на стенах.



## EVACUATION CONTROL SYSTEM IN CASE OF FIRE

*Kolodkin Vladimir Mikhailovich, Galiullin Marat Anzimovich,  
Varlamov Dmitriy Viktorovich, Chirkov Boris Vladimirovich, Vashtiev  
Vasiliy Konstantinovich*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *kolodkin@rintd.ru, m.a.galiullin@gmail.com,  
big.black.fox@gmail.com, b.v.chirkov@gmail.com, vashtiev@ya.ru*

*The article shows results of two years of work on the evacuation management system in case of fire. It describes the basic ideology, the stages of work on the system, and the structure of hardware and software.*

**Keywords:** evacuation control system, fire alarm, escape route, fire hazards, evacuation model, microcontroller.

УДК 004.492

**ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ  
МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА  
ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СЕНСОРНЫХ  
УЗЛОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ<sup>1</sup>**

*В.М. Колодкин*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия  
e-mail: kolodkin@rintd.ru

*Д.В. Варламов*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия  
e-mail: big.black.fox@gmail.com

*Б.В. Чирков*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия  
e-mail: b.v.chirkov@gmail.com

*А.В. Романенко*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия  
e-mail: rom@uni.udm.ru

*Г.М. Чигвинцев*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия  
e-mail: chigv@uni.udm.ru

*Развивается подход к решению задачи динамического управления эвакуацией через постоянный мониторинг параметров среды в помещениях, раннее обнаружение, локализацию места возгорания и динамическое построение путей эвакуации во время пожара. Построен экспериментальный сегмент беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из здания при пожаре, работающей в режиме реального времени на базе микроконтроллеров ATmega128RFA1, к которым подключены многоканальные детекторы опасных факторов пожара и светодиодные указатели разрешенных и запрещенных направлений движения людей.*

**Ключевые слова:** мониторинг опасных факторов пожара, управление эвакуацией, сенсорный узел.

Проблема обеспечения безопасности людей в случае возникновения пожара в здании имеет множество аспектов, одним из

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

которых является проектирование путей эвакуации и информирование людей о путях эвакуации. Организация своевременной и беспрепятственной эвакуации определяет безопасность людей. В настоящее время эта проблема, обычно, решается путем разработки и заблаговременного представления людям планов эвакуации. Однако в планах эвакуации не могут быть учтены все возможные сценарии развития пожара в здании и, соответственно, все возможные сценарии эвакуации. Действительно, некоторые пути эвакуации могут оказаться заблокированными очагом пожара, некоторые пути эвакуации в процессе пожара могут изменяться по мере развития пожара. Многообразие изменений крайне сложно предусмотреть в планах эвакуации. Фактически возникла необходимость перехода от статических планов эвакуации к программно-аппаратным комплексам, которые в динамическом режиме проектируют и представляют людям пути эвакуации, в зависимости от текущего состояния среды в горящем здании.

Актуальность создания таких программно-аппаратных комплексов мониторинга и динамического управления эвакуацией людей из зданий при пожаре обусловлена большим количеством человеческих жертв во время пожаров и тем, что современные системы микропроцессорной обработки сигналов с многоканальных детекторов опасных факторов пожара позволяют получить качественно новые возможности по раннему обнаружению, контролю динамики и сценариев развития пожара и изменениям чрезвычайной ситуации при управлении эвакуацией людей.

Основными причинами жертв при пожарах являются воздействие опасных факторов пожара и образование скоплений людей при эвакуации. Эффективным подходом к повышению пожарной безопасности как для строящихся, так и для существующих зданий может явиться динамическое управление эвакуацией людей. Работы в данном направлении ведутся [1–5]. Но законченных комплексных исследований по системам динамического управления эвакуацией людей в условиях пожара не имеется.

В настоящей работе развивается новый подход к решению задачи динамического управления эвакуацией через постоянный мониторинг параметров среды в помещениях, раннее обнаружение, локализацию места возгорания и динамическое построение путей эвакуации во время пожара. Основным преимуществом подхода и его новизной является динамическое перестроение путей эвакуации и оповещение людей об изменении безопасных маршрутов движения. При этом должно быть реализовано активное воздействие на процесс эвакуации людей на основе постоянного мониторинга

распространения опасных факторов пожара и образования скопленных людей, расчет путей эвакуации исходя из данных мониторинга и аудиовизуальное оповещение людей о безопасных маршрутах движения к выходам.

Условия успешной эвакуации фактически означают, что при любом сценарии пожара из помещений в здании люди должны эвакуироваться ранее, чем пути эвакуации будут заблокированы опасными факторами пожара. Необходимо чтобы общее время эвакуации  $\Delta t_{эв}$  для каждого помещения с начала пожара до момента обнаружения факта возгорания было меньше, чем время блокирования  $\Delta t_{бл}$  данного помещения вследствие превышения допустимых параметров опасных факторов пожара (температура, задымленность, содержание в воздухе продуктов горения, содержание кислорода). В этом случае все люди успевают покинуть здание.

Интервал времени с начала пожара до момента обнаружения факта возгорания  $\Delta t_{об}$  определяется техническими характеристиками системы обнаружения пожара; интервал времени с момента обнаружения факта возгорания до момента оповещения людей о начале эвакуации  $\Delta t_{оп}$  определяются техническими характеристиками системы оповещения (инерционностью системы оповещения). Численные значения  $\Delta t_{об}$ ,  $\Delta t_{оп}$  могут варьироваться в широком диапазоне значений, но эти временные интервалы могут быть доведены до минимальных величин. Существенно повлиять на вероятность успешной эвакуации можно либо увеличивая  $\Delta t_{бл}$ , либо уменьшая  $\Delta t_{оп}$  и  $\Delta t_{эв}$ . Но значение интервала времени блокирования  $\Delta t_{бл}$  в основном определяется распределением пожарной нагрузки и конструктивными характеристиками помещений в здании. Значения  $\Delta t_{оп}$  и  $\Delta t_{эв}$  в значительной степени зависят от возможностей системы управления эвакуацией людей во время пожара. Следовательно, необходимым условием снижения пожарного риска является построение такой системы управления эвакуацией людей из здания, при которой обеспечивается минимальное время эвакуации при обеспечении требуемого уровня безопасности людей.

Качественный и количественный анализ пожарной опасности объектов производится исходя из их данных и объемно-планировочных решений: теплофизических характеристик ограждающих конструкций и размещенного на объекте оборудования; вида, количества и расположения горючих материалов; количества и вероятного расположения людей в здании; материальной и социальной значимости объекта; систем обнаружения и тушения пожара, противопожарной защиты и огнезащиты, системы обеспечения безопасности

людей. При этом учитываются: вероятность возникновения пожара; возможная динамика развития пожара; наличие и характеристики систем противопожарной защиты; вероятность и возможные последствия воздействия пожара на людей, конструкцию здания и материальные ценности; соответствие объекта требованиям противопожарных норм [6]. На величину пожарного риска большое влияние оказывает использование различных средств пожаротушения, в том числе и автоматических. Но анализ влияния систем пожаротушения на пожарную безопасность и процессы эвакуации выходит за рамки данной работы.

Этап количественного анализа пожарной опасности начинается с экспертного определения сценария или сценариев пожара, при которых ожидается достижение критерием «наихудшего» значения. На основе качественного анализа проводится исследование и формулируется количественный критерий оценки пожарной опасности объекта. Если целью расчетов является оценка воздействия пожара на уровень безопасности людей, то критерием будет время блокирования путей эвакуации, определяемое распределением значений показателей опасных факторов пожара в объеме помещений и их динамикой. [6]

Следовательно, постоянный мониторинг параметров среды в помещениях необходим для раннего обнаружения возникновения пожара и локализации места возгорания. А активная фаза мониторинга распределений значений показателей опасных факторов в процессе пожара необходима для определения безопасных для прохода людей участков здания или помещений и динамического расчета путей эвакуации исходя из данных мониторинга и для аудиовизуального оповещения людей о безопасных маршрутах движения к выходам. Пороговый принцип мониторинга значений показателей опасных факторов пожара, который используется в большинстве обычных систем противопожарной защиты, обеспечивает минимизацию затрат на аппаратные средства, но имеет и принципиальные недостатки, связанные с отсутствием информации о динамике развития пожара и изменения чрезвычайной ситуации.

Современные микропроцессорные системы позволяют без неоправданных затрат на аппаратные средства перейти в местах, где это необходимо, к пространственно-распределенному мониторингу значений показателей опасных факторов пожара, контролю динамики развития пожара и изменений чрезвычайной ситуации при управлении эвакуацией людей.

В настоящее время разработан и создан экспериментальный вариант реализации системы мониторинга и динамическо-

го управления эвакуацией людей на базе микроконтроллеров ATmega128RFA1. На основе этих микропроцессоров созданы экспериментальные сенсорные узлы системы, к которым подключены одноканальные и многоканальные детекторы опасных факторов пожара. Экспериментальные узлы, к которым подключены светодиодные указатели реализуют динамическое управление направлениями эвакуации людей. Основными требованиями к подобной системе являются: однозначная идентификация чрезвычайной ситуации, связанной с пожаром; малая вероятность ложного срабатывания; высокая информационная производительность и надежность работы системы при заданных технико-экономических ограничениях.

На рисунках 2.2 – 2.1 представлен экспериментальный сегмент программно-аппаратного комплекса динамического управления эвакуацией людей. Показаны функциональные узлы и части системы управления эвакуацией, в которой функционально можно выделить три подсистемы: подсистема мониторинга состояния среды в здании; подсистема формирования и передачи информации о направлении движения людей при эвакуации и подсистема управления и контроля функционирования системы. Выбор микроконтроллера ATmega128RFA1 в качестве основы для сенсорных и управляющих узлов связан с требованиями обеспечения высокой надежности работы системы, необходимостью проведения многоканальных пространственно-распределенных измерений и передачи на сервер значений показателей опасных факторов пожара получаемых от детекторов сенсорных узлов, надежной передачи информации на светодиодные указатели о направлении движения людей, необходимостью надежного беспроводного цифрового канала связи между узлами сети и автоматического контроля работоспособности системы.

ATmega128RFA1 – экономичный 8-битный микроконтроллер на RISC-архитектуре, имеет высокоскоростной трансивер диапазона 2.4 ГГц. Благодаря выполнению большинства инструкций за один цикл синхронизации, микроконтроллер реализует производительность до 1 MIPS/МГц (до 16 MIPS на тактовой частоте 16 МГц), что позволяет оптимизировать соотношение потребляемой мощности и производительности. Трансивер обеспечивает передачу данных на скорости от 250 кбит/сек до 2 Мбит/сек, обладает высокой чувствительностью приемника и мощным передатчиком. Это обеспечивает надежность беспроводной передачи данных. Высокоэффективный и маломощный 8-битный микроконтроллер ATmega128RFA1 изготовлен по КМОП технологии с топологическими нормами 0.15 мкм и серийно выпускается с 2010 года. Имеет прогрессивную RISC-



Рисунок 2.1 — Опытный экземпляр сенсорного узла экспериментальной системы управления эвакуацией и светодиодные указатели направлений движения людей.

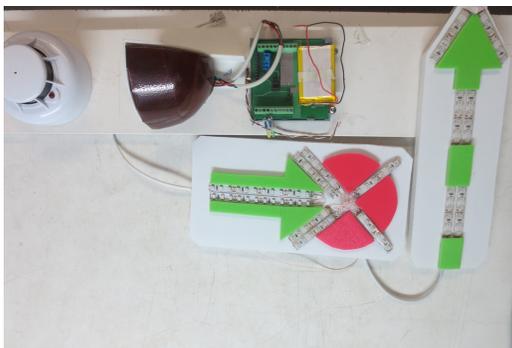


Рисунок 2.2 — Фрагмент экспериментальной системы управления эвакуацией, установленной в здании.

архитектуру (135 инструкций, большинство из них выполняются за один цикл синхронизации), 32 рабочих 8-разрядных регистра общего назначения и встроенное 2-тактное умножающее устройство. Энергонезависимые памяти программ и данных 128 кбайт flash-памяти, 4 кбайт EEPROM, статическое встроенное 16 кбайт ОЗУ. Имеет 10-разрядный АЦП на частоту дискретизации до 330 кГц с восьмиканальным входным мультиплексором и аналоговый компаратор. Температурный диапазон работы  $-40 \dots +85^{\circ}\text{C}$ . Диапазон напряжения питания:  $1.8 \dots 3.6 \text{ В}$  (с учетом встроенных стабилизаторов напряжения). Имеет сверхмалый потребляемый

ток ATmega128RFA1 при приеме/передаче не более 18.6 мА, в активном режиме ЦПУ (16МГц): 4.1мА. [7]

Печатная плата узлов экспериментальной системы на базе микроконтроллера представлена на рисунке 2.3.

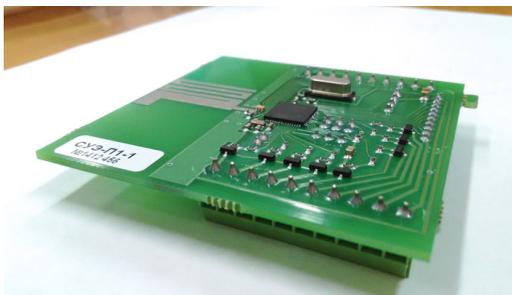


Рисунок 2.3 — Печатная плата на базе микроконтроллера ATmega128RFA1.

Экспериментальная подсистема мониторинга построена на базе сети беспроводных сенсорных узлов. Подсистема мониторинга предназначена для измерения значений контролируемых параметров среды помещений; первичной обработки и анализа полученных данных, определения превышения критических значений; и в случае их превышения, формирования сигнала управляющей подсистеме. Каждый узел такой сети представляет собой автономный блок, состоящий из микроконтроллера, модуля цифровой беспроводной связи, нескольких датчиков- детекторов опасных факторов пожара и элементов питания. Модуль связи обеспечивает передачу и прием данных. Каждый узел сети имеет собственный уникальный адрес, поэтому данные могут передаваться как адресно, так и в широковещательном режиме. В целом узлы образуют сеть с топологией «ненаправленный граф» с возможностью динамического перестроения маршрутов передачи и приема данных в случае изменения условий в среде передачи. Например, в случае выхода из строя во время пожара или до него некоторых узлов.

Функциональные узлы аудиовизуального оповещения входят в подсистему формирования и передачи информации о направлении движения людей при эвакуации и созданы на базе микроконтроллеров ATmega128RFA1. Для визуального оповещения разработаны и созданы несколько типов энергоэффективных светодиодных разноцветных указателей-стрелок, работающих в импульсном режиме под управлением выходных сигналов микроконтроллеров.

Их назначение – оповещение людей при возникновении пожара, информирование о текущем маршруте эвакуации для каждого участка здания, разрешенных и запрещенных направлениях движения людей. Каждый узел представляет собой автономный блок с модулем цифровой беспроводной связи и состоит из микроконтроллера ATmega128RFA1, который управляет внешними выходными МОП-транзисторами и рядом светодиодных указателей направления движения людей с автономным электропитанием.

Управляющая подсистема осуществляет прием и обработку информации от подсистемы мониторинга, производит контроль работы всех узлов подсистем, в случае получения сигнала от подсистемы мониторинга о превышении критических значений опасных факторов пожара и переводит систему из энергосберегающего в активное состояние; осуществляет расчет и перерасчет путей эвакуации; передает данные о них в подсистему формирования и передачи информации о направлениях движения людей при эвакуации. Каждый автономный специализированный блок управляющей подсистемы состоит из вычислительного блока, модуля связи, модуля интеграции со сторонними системами МЧС. Экспериментальный сегмент программно-аппаратного комплекса динамического управления эвакуацией людей был реализован в упрощенном виде (опытного экземпляра) для управления несколькими десятками микропроцессорных узлов. Детальное описание функционирования программно-аппаратного комплекса выходит за рамки данной работы.

Далее представлены результаты разработки и исследования опытных экземпляров сенсорных узлов экспериментальной системы управления эвакуацией, позволяющих устанавливать факт возникновения пожара и определять место возгорания, отслеживать задымленность и температуру, передавать данные на управляющий сервер. Для обнаружения и локализации очага возгорания разработаны и созданы экспериментальные сенсорные узлы на основе 5-ти сегментных инфракрасных детекторов ближнего ИК-излучения с оптическими фильтрами. Определение места возгорания происходит за счет размещения нескольких таких пространственно-разнесенных датчиков (не менее двух) и детекторов задымленности на стене с окнами вблизи потолка помещений. Локализация места возгорания реализована путем определения зоны пересечения областей (секторов детектирования) соседних с местом возгорания инфракрасных детекторов, первичной обработки на базе микроконтроллера многоканальных пространственно-распределенных измерений выходных сигналов сегментов-секторов фотодиодных

инфракрасных детекторов, и передачи на сервер программно-аппаратного комплекса значений показателей опасных факторов пожара получаемых от детекторов для обработки и анализа. При использовании в одном устройстве пяти ИК-каналов, работающих в смежных направлениях пространства, комбинация нескольких ИК-каналов и микропроцессорной обработки делает многосегментные датчики-сенсоры более совершенными и помехоустойчивыми.

Возгорание различных материалов – очень сложный, непредсказуемый и постоянно изменяющийся процесс. Любой очаг горения имеет свою индивидуальную спектральную характеристику, и выбор типа датчика необходимо проводить с учетом особенностей источников излучения, расположенных в поле его зрения. ИК-излучение хорошо проникает сквозь дым, пыль, копоть и загрязнения чувствительного элемента – такой тип датчиков незаменим в особо ответственных объектах. Хорошо обнаруживаются детекторами-извещателями очаги горения древесины и полимерных материалов. Сертификационные испытания, и проверка работоспособности извещателей пламени проводятся с помощью очагов горения ЛВЖ без выделения и с выделением дыма. В зданиях с массовым пребыванием людей необходима комбинация дымовых датчиков и извещателей пламени. [8]

В опытных сенсорных узлах для детектирования и локализации дыма возгорания использованы микропроцессорные оптико-электронные дымовые извещатели ИП 212-189А, которые выпускаются серийно и предназначены для раннего обнаружения задымления и подачи свето-звукового сигнала тревоги. В дымовых извещателях ИП 212-189А определение возгорания производится по увеличению оптической плотности среды при возникновении задымленности на уровне 0.05 – 0.2 дБ/м. Контроль работоспособности извещателя в дежурном режиме индицируется кратковременной вспышкой светодиода с периодом повторения 12 секунд. Микропроцессорная схема реализует измерение оптической плотности среды, дает высокую достоверность обнаружения дыма при малоинерционном срабатывании (задержка не более 5 секунд). Рабочий диапазон температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . ИП 212-189А имеют сертификат соответствия ССПБ, малое энергопотребление и длительный период автономной работы от элемента питания «Крона». [9]

Проведены исследования опытных экземпляров 5-ти сегментных инфракрасных детекторов ближнего ИК-излучения при измерении ИК-излучения модельных источников локального очага возгорания ( $P=250$  Вт, диаметр 20 см) на различных расстояниях

между детектором и источником при различных углах их взаимного расположения. Получены количественные значения параметров и характеристик 5-ти сегментных инфракрасных детекторов и показана возможность быстрого обнаружения и локализации очага возгорания. Проведены успешные комплексные испытания экспериментального программно-аппаратного комплекса пространственно-распределенного мониторинга и динамического управления эвакуацией людей на базе сети беспроводных сенсорных узлов.

Таким образом, по результатам данной работы показана возможность построения экспериментального сегмента беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из здания при пожаре, работающей в режиме реального времени базе микроконтроллеров ATmega128RFA1, к которым подключены многоканальные детекторы опасных факторов пожара. Показана возможность реализации пространственно-распределенного мониторинга опасных факторов пожара, контроля динамики развития пожара и изменений чрезвычайной ситуации при эвакуации людей для повышения уровня пожарной безопасности зданий с массовым пребыванием людей.

#### Список литературы

1. Шихалев Д.В., Хабибулин Р.Ш. Математическая модель определения направлений безопасной эвакуации людей при пожаре // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 4. С. 51–60.
2. Шихалев Д.В. О структуре и функциях системы управления эвакуации людей при пожаре в зданиях / Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2014. Вып. 4 (56). С. 1–9. <http://www.ipb.mos.ru/ttb>
3. Шихалев, Д.В., Хабибулин, Р.Ш. Системы управления эвакуацией в зданиях торгово-развлекательных центров / Пожаровзрывобезопасность № 6, 2013. С.61–65.
4. Валеев С. С., Кондратьева Н. В., Янгирова А. Ф. Иерархическая система поддержки принятия решений при эвакуации людей из здания в критических ситуациях // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. Вып 1 (62). С. 161–166.
5. Валеев С. С., Кондратьева Н. В., Янгирова А. Ф. Информационная система управления эвакуацией людей в критических ситуациях // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. 2014. С. 8173–8179.
6. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации М.: ВНИИПО, 2003. С. 35.

7. Техническая спецификация ATmega128RFA1 [Электронный ресурс]. – [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266-MCU\\_Wireless-ATmega128RFA1\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266-MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf) (режим доступа: свободный, дата обращения: 14.03.2016).
8. Трубаева М.В. Извещатели пламени. Техническое обозрение. // Системы безопасности, 2009, № 4, С. 52-53.
9. Автономный дымовой извещатель «Сверчок» [Электронный ресурс]. – <http://www.ooo-element.ru/products/sverchok/> (режим доступа: свободный, дата обращения: 15.03.2016).

**Spatially distributed monitoring fire hazards on the basis of microprocessor-based nodes of system of management evacuation**

*Kolodkin Vladimir Mikhailovich*  
e-mail: [kolodkin@rintd.ru](mailto:kolodkin@rintd.ru)

*Varlamov Dmitriy Viktorovich*  
e-mail: [big.black.fox@gmail.com](mailto:big.black.fox@gmail.com)

*Chirkov Boris Vladimirovich*  
e-mail: [b.v.chirkov@gmail.com](mailto:b.v.chirkov@gmail.com)

*Romanenko Aleksandr Viktorovich*  
e-mail: [rom@uni.udm.ru](mailto:rom@uni.udm.ru)

*Chigvintsev Georgiy Mikhailovich*  
e-mail: [chigv@uni.udm.ru](mailto:chigv@uni.udm.ru)

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1

*An approach to the solution of dynamic evacuation control through constant monitoring of the environment parameters of the problem in the rooms, early detection, localization of the fire place and the dynamic construction of the escape route during a fire. It built a pilot segment of the wireless system of dynamic management of evacuation of people from the building in case of fire, working in real time on the basis of microinspection-klers ATmega128RFA1, which are connected to the multi-channel detectors and fire hazards LED signs allowed and forbidden areas of movement of persons.*

**Keywords:** monitoring of fire hazards, evacuation management, sensor node.

УДК 351.86(063)

## АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИИ <sup>1</sup>

*В.М. Колодкин, Б.В. Чирков*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@gmail.com

*В статье рассматривается один из аспектов проблемы управления эвакуацией людей из зданий при пожаре. Обосновываются основные требования к системе мониторинга развития и распространения пожара, а так же процесса эвакуации людей из здания. Описывается один из вариантов организации компьютерной сети с использованием микропроцессоров семейства AVR фирмы Atmel®. Представлена специализированная модель, разработанная для управления эвакуацией. Приведены результаты сравнения реализации данной модели с программными продуктами Pathfinder и FDS+Evac. Для системы управления эвакуацией обоснована целесообразность перехода к упрощенной программной реализации модели, которая способна обеспечить моделирование движения людских потоков в режиме реального времени, хотя при этом несколько снижается точность компьютерного моделирования. Представлены режимы работы системы и алгоритмы управления эвакуацией.*

**Ключевые слова:** управление эвакуацией, компьютерное моделирование.

### Введение

Современные здания характеризуются сложными конструктивными решениями. Некоторые из них относятся к зданиям с массовым пребыванием людей (торговые центры, выставочные павильоны, спортивные комплексы и т.д.). Причем, можно выделить категорию зданий, в которых люди не всегда хорошо ориентируются. Для этой категории зданий, проблема управления эвакуацией в случае пожара, с использованием динамических указателей направлений движения людских потоков, весьма актуальна. Это связано с тем, что, обычно, движение людских потоков связывается с внутренней структурой здания, но не с условиями в здании. То есть, не учитывается, что некоторые помещения в условиях пожара, становятся непроходимыми для людей (блокирование помещений

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки № RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий»

продуктами горения). Не учитывается возникновение скоплений людей на некоторых участках путей эвакуации. Обычно, пути эвакуации разрабатываются предварительно, а система указания путей эвакуации лишь доводит информацию до людей. Направление движения людей не зависит от возникшей в данный момент и, тем более, прогнозируемой ситуации в здании. Для преодоления этих ограничений, необходима система управления эвакуацией людей, которая учитывает данные мониторинга состояния среды в здании во время пожара, учитывает распределение людей по зданию и использует результаты моделирования движения людских потоков для указания путей эвакуации.

Существуют решения, которые используют один из множества предварительно разработанных маршрутов эвакуации. Такие системы обычно выбирают один из маршрутов в зависимости от места возникновения пожара. Разрабатываются системы, которые могут изменять показания устройств визуализации маршрутов в зависимости от показаний сенсоров в здании. Однако, при интеграции модели движения людских потоков с системой управления эвакуацией (СУЭ), появляется возможность построить пути эвакуации с учетом прогноза распределения людей в здании в режиме реального времени.

Предлагаемая система управления формирует команды, направляющие людские потоки в каждый момент времени в соответствии с данными мониторинга состояния среды в здании. Формирование команд осуществляется по результатам моделирования движения людских потоков в режиме реального времени. Предполагается, что люди в процессе эвакуации подчиняются указаниям системы. Поддерживается возможность перестроения путей движения к эвакуационным выходам под воздействием внешних факторов. Внешние факторы, влияющие на выбор путей эвакуации, делятся на две категории. К одной категории относятся опасные для человека продукты горения, достижение предельных величин которых, приводит к необходимости изменения путей эвакуации. Также пути эвакуации могут быть изменены людьми, уполномоченными управлять процессом эвакуации (так называемое, директивное управление процессом эвакуации).

Обзор значимых достижений по моделированию эвакуации людей из зданий, которые относятся к периоду до 2008 года, содержится в [14]. Среди более поздних работ по описанию моделей и их программных реализаций следует отметить [1, 17–19]. Модели и их программные реализации ориентированы на исследование перемещений людей по зданию, но не на управление

процессом эвакуации. Тем более модели и программные продукты не ориентированы на управление эвакуацией в режиме реального времени.

Так же ведутся работы по разработке аппаратных элементов систем управления эвакуацией [2, 3, 7, 10, 12, 15, 16]. Отличие данной разработки в том, что используется специально разработанная модель проектирования путей эвакуации, которая обеспечивает динамический режим проектирования путей эвакуации. При этом обеспечивается поддержка режима реального времени.

### **Математическая модель движения людских потоков**

Для поддержки моделирования движения людских потоков в здании, для выработки команд управления, а также для создания сети (сенсорных узлов, управляющих элементов, серверов), требуется пространственная модель здания, которая однозначно описывает конфигурацию здания и характеристики помещений. С этой целью разработана пространственно-информационная модель (ПИМ), которая содержит информацию о геометрических параметрах помещений здания, пожарной нагрузке, типе помещений (комната, проем, лестница), связях между помещениями и т.д. ПИМ здания содержит информацию о распределении людей по зданию. Для описания данной структуры используется текстовый формат JSON [8]. Для создания ПИМ здания используется специализированный программный комплекс – PlanCreator [5], созданный на базе QGIS (версия > 2.6) [13].

Кратчайший по времени путь эвакуации от каждой точки здания до выхода из здания определяется при помощи моделирования движения людских потоков.

Модель базируется на экспериментальной зависимости скорости передвижения людей от количества людей в  $\epsilon$ -окрестности, которая экспериментально установлена [9]:

$$V_{Dj} = V_{Dj} * (1 - a_j * \ln \frac{D_j}{D_{0j}}) \quad (3.1)$$

где  $V_{0j}$  – случайная величина скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), зависящая от вида пути  $j$ ;

$a_j$  – коэффициент, определяющий степень влияния плотности людского потока при движении по  $j$ -му виду пути;

$D_i$  – текущее значение плотности потока;

Таблица 3.1 — значения коэффициентов  $a_j$  и  $D_{0j}$  в зависимости от вида пути

Вид пути	$a_j$	$D_{0j}$ , чел / $m^2$
Горизонтальный в зданиях	0.295	0.51
Проем	0.295	0.65
Лестница вниз	0.400	0.86
Лестница вверх	0.305	0.67

$D_{0j}$  – пороговое значение плотности потока, по достижении которого плотность становится фактором, влияющим на скорость движения.

Некоторые коэффициенты, используемые в (3.1), представлены в таблице 3.1 [9].

Здание разбивается на зоны. Каждая зона может принадлежать только одному помещению. Каждое помещение может быть разбито на несколько зон. Зоны эвакуационных выходов образуют зоны эвакуации. От каждой зоны эвакуации образуются очереди  $m$ .

Время достижения безопасной зоны от  $p$ -ой зоны очереди  $m$  рассчитывается по формуле:

$$t_{ijk,m}^p = t_{ijk,m}^{p-1} + \frac{h}{V_m^p} \quad (3.2)$$

где  $j, i, k$  – координаты зоны;

$h$  – характерный размер зоны;

$m$  – номер очереди,  $m \in Z_+$ .

$V_m^p$  – скорость движения, рассчитанная по соотношению (3.1);

$p$  – номер зоны в очереди  $m$ ,  $p \in [1..n]$ ,  $n$  – количество зон;

$t_{ijk,m}^p = 0$  при  $p = 1$ .

Перед началом моделирования определяется временной шаг моделирования  $\tau$ , который так же определяет минимальное время преодоления зоны:

$$\tau = \frac{h_{min}}{V_{max}},$$

где  $h_{min}$  – характерный размер минимальной по размерам, зоны;

$V_{max}$  – максимальная скорость движения людского потока, принимаемая  $V_{max} = 100$  м/с.

В каждой очереди имеется активная зона – зона, от которой осуществляется переход в следующую зону. В начале

моделирования зона эвакуационного выхода является активной зоной. Далее по выражению (3.2) определяется время движения от зон, которые являются соседями активной зоны. Из зоны, для которой выполняется условие минимума времени достижения безопасной зоны, людской поток перемещается в активную зону, и эта зона становится активной зоной. Другие (соседние зоны) встают в очередь. Перемещение людей в зону возможно, если в ней не достигнуто предельное значение плотности людского потока  $5 \text{ чел/м}^2$ , так как при этом значении отсутствует силовое воздействие между людьми и компрессионное сдавливание.

В очередь попадают зоны, которые не принадлежат другой очереди — свободные зоны. Если все свободные зоны помещены в очереди, то текущее время эвакуации увеличивается на шаг  $\tau$ . Очищаются очереди и осуществляется переход к новому шагу по времени.

На каждом шаге по времени в каждой активной зоне выполняется определение кратчайших по времени путей. В направлениях, отвечающих кратчайшим по времени путям, осуществляются перемещения людских потоков.

На рисунке 3.1 представлен алгоритм работы, отвечающий данной модели. Алгоритм показывает, что маршрут прокладывается по зонам с минимальным временем достижения безопасной зоны.

Отметим, что для выполнения условия минимизации времени эвакуации в модели не учитываются индивидуальные особенности людей.

### Реализация модели

Модель реализована в программном продукте «MPEG» (Movement of People during Evacuation using the difference Grid). Каждый уровень здания покрывался разностной сеткой. Межуровневые переходы также покрывались разностной сеткой. Принималось, что в пределах элемента сетки все функции, характеризующие свойства среды, характеристики движения людских потоков, сохраняют свои значения. Наиболее значимые функции — плотность людей в элементе разностной сетки; интервал времени достижения безопасной зоны. На границах элементов сетки функции скачкообразно изменяют свои значения.

Программная реализация модели MPEG прошла сравнение с результатами моделирования, представленными в работе [6]. В данной работе представлено сравнение результатов моделирования процесса эвакуации людей из здания. Были рассмотрены результаты моделирования, полученные при использовании двух

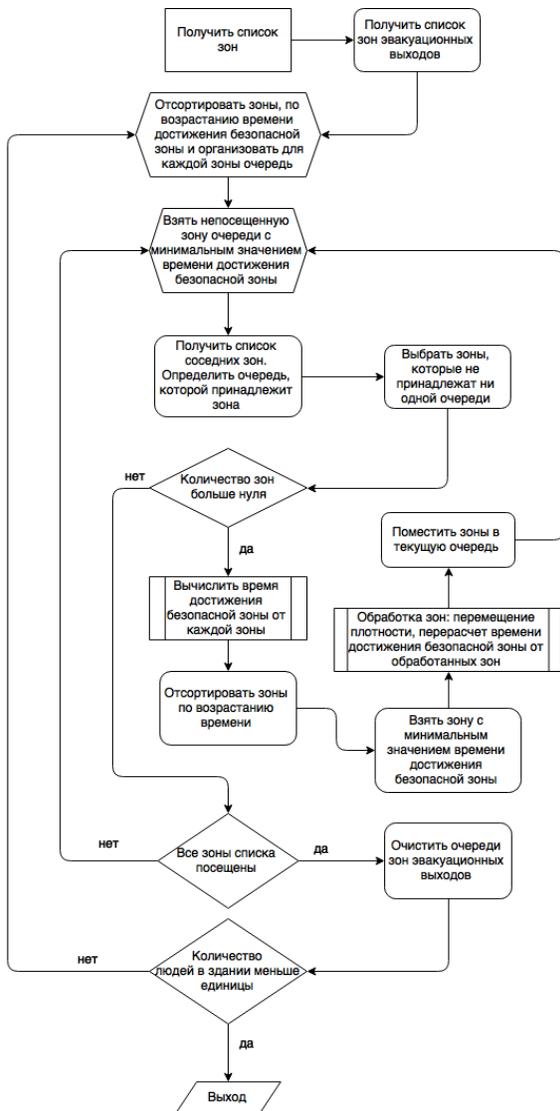


Рисунок 3.1 – Алгоритм работы модели.

программных реализаций – FDS+Evac [4] и Pathfinder [11]. По представленным в работе [6] данным по зданию была разработана пространственно-информационная модель здания, которая была использована при моделировании в программном продукте MPEG. Задано совпадающее с работой [6] начальное распределение людей по помещениям здания. Площадь горизонтальной проекции человека принималась равной  $f = 0.12 \text{ м}^2$ .

На рисунке 3.2 отражены результаты вычислительных экспериментов в виде графика зависимости количества людей в здании от интервала времени, прошедшего с начала пожара. В таблице 3.2 представлены численные значения характерных интервалов времени, применительно к использованию программных продуктов FDS+Evac, Pathfinder и MPEG.

Результаты, представленные на графике 3.2 и таблице 3.2 показывают, что специализированная модель MPEG приводит к минимальным временам эвакуации людей из здания.

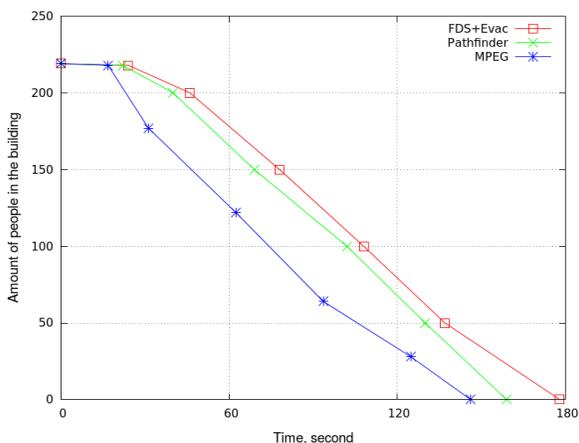


Рисунок 3.2 — Зависимость количества людей в здании от времени

Несмотря на все достоинства модели и ее программной реализации MPEG, ее применение в системе управления эвакуацией вызывает определенные затруднения. Моделирование движения людских потоков с использованием программной реализации MPEG требует больших вычислительных ресурсов. Вместе с тем, система управления эвакуацией предназначена для работы в реальном

Таблица 3.2 — Время эвакуации первого и последнего человека исследуемых моделей

Модель	Время, с	
	$t_1$	$t_{эв}$
FDS+Evac	24	178
Pathfinder	22	159
MPEG	16.8	146

где  $t_1$  – время выхода из здания первого человека, с;  $t_{эв}$  – время выхода из здания последнего человека, с.

масштабе времени. Кроме того, по экономическим соображениям, крайне желательно использование дешевых одноплатных компьютеров для моделирования движения людских потоков в реальном масштабе времени. Поэтому потребовалось упрощение реализации модели.

В основе упрощенной программной реализации — «MPEGR» (Movement of People during Evacuation with using a bipartite GRaph) лежит представление пространственно-информационной модели здания в виде взвешенного двудольного графа  $G = (W, E)$ ,  $X_a \cup X_b = W$ ,  $|X_a| > 0$ ,  $|X_b| > 0$ , где  $X_a$  – узлы графа, отвечающие зонам различных типов,  $X_b$  – узлы графа, отвечающие проемам. Узлы множества  $X_b$  имеют строго два ребра, которые ведут к разным зонам. Безопасная зона, представлена одним узлом, с которым соединены все эвакуационные выходы. Каждый узел имеет набор характеристик в зависимости от типа зоны, которому он принадлежит. Такая форма представления здания следует из структуры пространственно-информационной модели здания, используемой для расчетов на основе регулярной разностной сетки.

Узлы графа, отвечающие зонам, характеризуются весом, под которым понимается время достижения зоны безопасности. Данная реализация модели эвакуации учитывает изменения весов узлов графа во времени, что означает изменение состояния зон здания во времени за счет перехода людей по зонам здания. Направление движения людских потоков всегда отвечает узлам с минимальными значениями весов. Результатом является динамический расчет траекторий движения людских потоков при эвакуации.

Реализация модели, основанная на графе здания, не требует значительных вычислительных ресурсов и работает на порядки быстрее. В частности, для шестиэтажного здания, площадью около 10000 м<sup>2</sup> ( $\approx$  600 помещений, 2000 человек в здании)

сравнение скорости моделирования эвакуации на основе двух описываемых реализаций показало, что моделирование эвакуации с использование программной реализации MPEGR требует в 50 раз меньше времени, чем моделирование эвакуации с использование программной реализации MPEG.

Результаты вычислительных экспериментов по моделированию эвакуации людей, проведенных на основе пространственно-информационной модели одного и того же здания с совпадающим распределением людей, но использующих различные реализации модели движения людей в условиях пожара (реализация модели с представлением здания в виде разностной сетки, и в виде двудольного графа), представлены на рисунке 3.3. Сравнение выявило некоторое уменьшение скорости эвакуации людей (завышение расчетных времен эвакуации). Эффект уменьшения скорости эвакуации особенно проявляется в конце процесса. Количественные оценки различаются для различных зданий и начального распределения людей по зданию. В среднем количественные оценки различаются примерно в два раза.

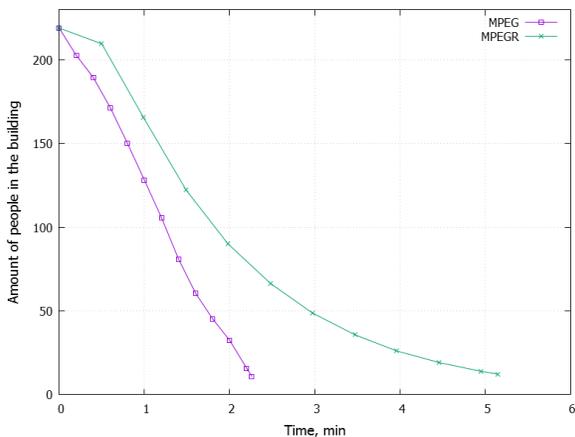


Рисунок 3.3 — Зависимости количества оставшихся людей в здании от времени с момента начала эвакуации для двух реализаций модели движения людских потоков.

Таким образом, сопоставление результатов вычислительных экспериментов по эвакуации людей из зданий, показало, что приемлемая точность моделирования в реальном масштабе времени,

может быть достигнута при использовании упрощенной программной реализации MPEGR.

### **Описание работы беспроводной системы управления эвакуацией**

К основным элементам беспроводной системы управления эвакуацией с точки зрения их назначения относятся:

- сенсорные узлы, для своевременного детектирования пожара и наблюдения за его развитием;
- элементы управления людскими потоками (управляющие элементы), для светового и звукового информирования людей и доведения до человека команд управления;
- элементы формирования команд управления (вычислительные ресурсы), для обработки данных с сенсорных узлов, моделирования движения людских потоков и формирования сигналов элементам управления.

Отметим, что часть элементов формирования команд управления, устройств управления сетью и сенсорных узлов конструктивно совпадают. Они различаются на уровне программного кода, функционирующего на устройстве.

Для повышения уровня надежности срабатывания системы и уменьшения вероятности ложных срабатываний, к системе предъявлялись следующие требования:

- 1 Поддержка нескольких режимов работы (повседневный режим работы, режим управления эвакуацией);
- 2 Поддержка двухстороннего канала связи;
- 3 Обеспечение анализа информации с датчиков (оптический детектор дыма, анализатор концентраций опасных веществ ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HCl$ ), анализатор концентрации  $O_2$ , датчик измерения температуры);
- 4 Обеспечение работы в автономном режиме;
- 5 Временной интервал между сеансами активности устройств (режим сна устройств) в режиме повседневной работы –  $T_d$  (для конкретизации  $T_d = 8$  с). В режиме работы управления эвакуацией – временной интервал между сеансами активности устройств –  $T_d = 0$  секунд (постоянная активность). Значения временных интервалов режима сна устройств зависят от многих факторов. В частности, назначения здания, финансовых возможностей. Кроме того, увеличение временного интервала режима сна устройств возможно исключительно до достижения предельного интервала времени идентификации пожара. Отметим, что временной интервал между сеансами активности устройств в данном случае, выбирался как

компромисс между стоимостью источников питания с заданной емкостью и стоимостью замены батарей в устройствах. Причем, временной интервал относился к корпусу учебного заведения (шесть этажей);

6 Пропускная способность каналов связи системы – не менее 1 Мб/с.

При построении системы управления эвакуацией использовался микроконтроллер ATmega128RFA1 (класса SoC). Данный микроконтроллер позволяет организовать беспроводную распределенную сеть устройств – mesh-сеть, которая объединяет облако сенсорных узлов (с точки зрения сети – конечных узлов), маршрутизаторов и серверов. Маршрутизаторы поддерживают перенаправление пакетов в сети. Отметим, что разделение на конечные узлы и маршрутизаторы устанавливается исключительно программным путем. На рисунке 3.4 представлена структура сети, образуемая конечными узлами (сенсорами), маршрутизаторами и сервером. Данные, которые сенсорные узлы получают со своих датчиков, после предварительной обработки, направляются на сервер, где осуществляется их хранение и анализ.

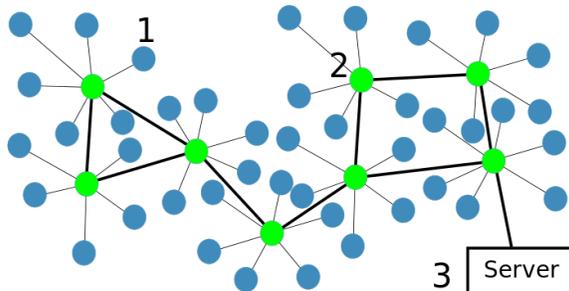


Рисунок 3.4 — Структура сети, образуемая сенсорами на базе микроконтроллера ATmega128RFA1. 1 – конечный узел, 2 – маршрутизатор, 3 – сервер.

В качестве серверной платформы системы управления эвакуацией людей, предназначенной для управления сетью беспроводных устройств, используются экономичные одноплатные компьютеры – Raspberry Pi. Это обусловлено, в первую очередь, требованием обеспечить надежность работы системы, в том числе и в условиях отсутствия электроэнергии в здании. Недостатком такого выбора

является сравнительно низкая производительность компьютеров данного типа.

Каждый сенсорный узел получает со своих датчиков значения опасных факторов пожара (ОФП) в контролируемой зоне и определяет коэффициент проницаемости –  $K(x)$ . Коэффициент проницаемости влияет на построение маршрута эвакуации до безопасной зоны – зоны вне здания, где люди не подвергаются воздействию опасных факторов пожара. Когда проницаемость зоны опускается до критического значения, возникает необходимость определения новых безопасных и кратчайших по времени маршрутов до безопасной зоны. В данном случае, коэффициент проницаемости принимался в виде ступенчатой функции:

$$K(x) = \begin{cases} 1, \text{ при } 0 \leq x < 1 \\ 0, \text{ при } x \geq 1 \end{cases}$$

До тех пор, пока  $K(x) = 1$ , зона считается проходимой для людей. В противном случае, зона непроходима (помещение заблокировано).

В частном случае, для определения  $x$  принято выражение –

$$x = \max_i \left( \frac{\xi_i}{\xi_i^{critical}} \right)$$

где  $\xi_i$  – текущее значение  $i$ -го опасного фактора пожара,  $\xi_i^{critical}$  – критическое значение для  $i$ -го опасного фактора пожара.

На сенсорный узел возложена функция идентификации пожара. В этом случае реализуется переход с повседневного режима работы системы на режим управления эвакуацией. После активации режима управления эвакуацией запускается оповещение людей и моделирование движения людских потоков с учетом текущей обстановки в здании.

Так как сенсорный узел построен на базе микроконтроллера, то на сенсорный узел также возложены функции прогнозирования времени достижения критических значений опасных факторов пожара (температуры, концентраций опасных веществ в воздухе помещений здания). Прогноз времени достижения критических значений основан на контроле динамики изменения опасных факторов пожара.

В общем случае, управление эвакуацией сводится к управлению световыми и звуковыми индикаторами направления движения. Выделяется два типа световых индикаторов: указатель для

информирования о направлении движения и световое табло выхода. Указатели предназначены для указания направления движения, световое табло выхода – для запрета/разрешения движения через проем (например, дверной проем).

Моделирование позволяет спрогнозировать направления движения людских потоков в здании, учитывая обстановку по состоянию среды и по распределению людей в здании в данный момент времени. Модель настроена на выбор путей эвакуации, отвечающих минимуму времени достижения людьми безопасной зоны.

Так как моделирование протекает быстрее, чем эвакуация в реальном времени, происходит остановка процесса моделирования через интервал сеанса моделирования  $T_s$  (в частном случае,  $T_s = 3$  с). Когда время от начала эвакуации достигает времени на котором остановилось моделирование, моделирование возобновляется с учетом обновленных данных об обстановке в здании (рисунок 3.5).

Например, если через некоторое время после начала эвакуации коэффициент проницаемости в некоторой зоне обращается в нуль  $K(x) = 0$  (зона блокируется опасными факторами пожара), то система обеспечивает процесс моделирования с данными о новой обстановке. Проектируются новые пути эвакуации. Световые и акустические индикаторы будут сигнализировать людям в здании о новых маршрутах.

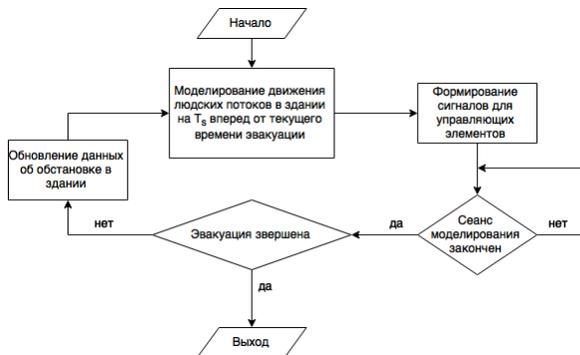


Рисунок 3.5 — Обобщенный алгоритм работы системы управления эвакуацией

## Заключение

Разработанная модель движения людских потоков, позволяет динамически проектировать пути эвакуации людей, обеспечивающие минимальное время освобождения здания при пожаре. Модель реализована в виде программного продукта, ориентированного для беспроводной системы управления эвакуацией.

Модель движения людских потоков имеет определенные допущения, которые сказываются на точности проектирования путей эвакуации. Программная реализация модели с использованием регулярной разностной сетки является более точной, но не отвечает требованиям беспроводной системы управления эвакуацией по скорости моделирования. Далее, в модели не реализован механизм внешнего управления эвакуацией людей, то есть механизм, при котором, в случае необходимости, управление процессом эвакуации берет на себя ответственное лицо. Указанные недостатки определяют вектор дальнейших исследований в данной области.

Следующее направление дальнейших работ – изменение частоты радиоканала передачи данных с 2.4 ГГц на 443 МГц. Это связано с большой загруженностью канала 2.4 ГГц.

И, наконец, главный вектор дальнейших исследований и работ – интеграция систем обеспечения безопасности людей в здании. Например, интеграция системы контроля посетителей здания и системы управления эвакуацией.

## Список литературы

1. Alizadeh R. (2011) A dynamic cellular automaton model for evacuation process with obstacles. *Safety Science*. 49(2): 315 – 323.
2. Cherniak, A., Zadorozhny, V. (2010) Towards Adaptive Sensor Data Management for Distributed Fire Evacuation Infrastructure. *Mobile Data Management (MDM)*, 2010 Eleventh International Conference, 151 – 156.
3. Diegane D. (2004) Emergency evacuation management method, system, and program product, U.S. Patent 2004/0172277 A1, issued September 2, 2004.
4. FDS+Evac Software. VTT Technical Research Centre of Finland [Electronic resource]. – Access mode: <https://code.google.com/p/fds-smv/>, free (07.07.2015).
5. Galiullin M.E. (2015) Sozdanie i ispol'zovanie Prostranstvenno-Informacionnoj Modeli zdanija (PIM) dlja rascheta velichiny riska pri sostavlenii deklaracii pozharnoj bezopasnosti (The creation and use of Spatial Information building Model (PIM) to calculate

- the magnitude of risk in the drafting of the Declaration of fire safety). Safety in the technosphere. 9: 60 – 81
6. Grigoras Z.C. (2014) Analysing the human behavior in a fire drill. Comparison between two evacuation software: FDS+Evac and Pathfinder. материалы конференции Proceedings of The International Scientific Conference CIBv, Brasov, 2014. С. 273-280.
  7. Grundler G., Wagner G.F., Wagner U.C. (2009) Evacuation and escape route indicator device for this purpose, G.P. Patent DE 102007061754 A4, issued June 25, 2009.
  8. JavaScript Object Notation. Description standard JSON [Electronic resource]. – Access mode: <http://json.org> free, (07.07.2015).
  9. Kholshchikov V.V. et al. (2008) Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia. / T.J. Shields, K.E. Boyce, D.A. Samoshin. Fire Safety Journal. 43(2): 108 – 118/
  10. Nandyala R.R. (2014) Evacuation system for planning escape routes in a building, method, and computer program, E.P. Patent EP2758949A1, issued July 7, 2014.
  11. Pathfinder. Agent Based Evacuation Simulation [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>, free (07.07.2015).
  12. Picard D.J., Hulse J., Krajewski J. (2006) Intelligent fire evacuation escape indicating system and method, E.P. Patent EP 1 719 089 B1, issued May 14, 2006.
  13. QGIS [Electronic resource]. – Access mode: <http://qgis.org>, free (08.07.2015).
  14. Schadschneider A., Klingsch W., et al. (2008) Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications. Encyclopedia of Complexity and Systems Science, 3142 – 3176.
  15. Shikhalev D.V., Khabibulin R.Sh., Armel Ulrich Kemloh Wagoum (2014) Development of a safest routing algorithm for evacuation simulation in case of fire. Proceedings of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, 685-690.
  16. Wolfram K., Andreas W. (2004) Evacuation system, G.P. Patent DE 19644127 B4, issued March 25, 2004.
  17. Yang, Deng, Xie, Jiang (2014) Design and Implementation of Fire Safety Evacuation Simulation Software based on Cellular Automata Model. Procedia Engineering. 71: 364 – 371.

18. Yang, Fang, Huang, Deng (2002) Occupant Evacuation Model Based on Cellular Automata in Fire. Chinese Science Bulletin. 47(17).
19. Yang L., Zhu K., Liu S. (2011) Cellular Automata Evacuation Model Considering Information Transfer in Building with Obstacles. Pedestrian and Evacuation Dynamics, 317 – 326.

### ALGORITHMS AND MODELS OF EVACUATION IN CASE OF FIRE IN THE BUILDING

*Vladimir Michailovich Kolodkin, Boris Vladimirovich Chirkov*  
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@gmail.com

*The article deals with one aspect of the problems of management of evacuation of people from buildings in case of fire. Substantiates the basic requirements for the development and spread of the fire monitoring system, as well as the process of evacuating people from the building. It describes one of the options for a computer network using Atmel® company's AVR family of microprocessors. Presented Specialized model designed to manage the evacuation. Results comparing the results of the model with software products and Pathfinder FDS + Evac. For evacuation management system expediency of transition to a simplified software implementation model that is able to provide simulation of foot traffic in real time, although it somewhat reduced the accuracy of computer modeling. Presents the operating modes of the system and evacuation management algorithms.*

**Keywords:** evacuation management, computer modeling.

УДК 004.492

## БЕСПРОВОДНОЙ УКАЗАТЕЛЬ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ В ЗДАНИИ ПРИ ПОЖАРЕ <sup>1</sup>

*В.К. Вахтиев*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *vashtiev@ya.ru*

*В статье описаны проблемы и решения систем эвакуации людей из здания. Представлен прототип беспроводного элемента указания путей эвакуации. В предложенном решении обработка прием и передача данных происходит при помощи микроконтролла с RFA-модулем.*

**Ключевые слова:** СОУЭ, указатель выхода, путь эвакуации, управление эвакуацией, микроконтроллер.

В наше время проблема спасения людей из пожара стоит далеко не на последнем месте среди подобных задач. Во время пожара и других чрезвычайных ситуациях грамотная своевременная организация эвакуации может спасти не мало человеческих жизней.

Можно выделить следующие основные (базовые) элементы системы оповещения и управления эвакуации (СОУЭ):

- пожарный извещатель (сенсорный узел);
- узел обработки и передачи информации (сервер);
- элементы управления эвакуацией, пожаротушения и дымоудаления и т.п. (конечный узел).

В тех или иных случаях данный перечень может дополняться различными элементами, такими как блок автоматического оповещения о пожаре сотрудников противопожарной службы, пульт управления эвакуацией и т.д.

В работе [1] описана беспроводная система динамического управления эвакуацией людей из здания при пожаре. Основной упор при этом делается на способность управлять эвакуацией людей в режиме реального времени, путем моделирования процесса эвакуации, и использование передачи данных по радиоканалу. Использование микроконтроллера с RFA-модулем делает данную

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

систему модульной и надежной. Беспроводная сеть строится на базе протокола IEEE 802.15.4 (ZigBee), частота радиоканала – 2.4 ГГц.

Работа данной системы происходит следующим образом: от сенсоров в микроконтроллер поступает информация о состоянии среды помещения, далее по радиоканалу информация передается на сервер, где происходит генерация команд для элементов управления эвакуации. Происходит это с использованием модели эвакуации людей из здания при пожаре [2]. Тут встает вопрос об элементах управления эвакуации. Аналогов на рынке найти не удалось, следовательно появилась необходимость в изготовлении этих элементов. В работе [3] рассмотрена логика управления аудиовизуальными оповещателями, однако не описаны конструктивные особенности данных элементов.

Целью создания элементов указания путей эвакуации являлось их совместимость с рассмотренной выше СОУЭ и наличием следующих основных характеристик:

- способность динамического управления эвакуацией, т.е. возможность изменения состояния указателя в любой момент времени;
- прием информации от сервера по радиоканалу частотой 2.4 ГГц по протоколу IEEE 802.15.4 (ZigBee);
- максимальная восприимчивость людьми сигналов указателей эвакуации как в нормальных условиях, так и в условиях задымленности помещения;
- энергоэффективность.

За возможность динамически менять информацию отвечает микроконтроллер, со встроенным RFA-радиомодулем и сетевым программным стекком LwMesh. Соответственно контроллер в режиме повседневной деятельности будет находиться периодически в двух режимах:

- режим приемапередатчи (потребляемый ток 12.5 мА / 14.5 мА);
- режим глубокого ожидания (потребляемый ток < 250 нА).

Было принято решение использовать литий-полимерные (LiPo) аккумуляторы в виду большой плотности энергии на единицу объёма и массы (в сравнении с аналогами), низкого саморазряда (не более 5 % в год), длительного срока хранения (5-10 лет)

и стабильной работы в широком диапазоне температур (от  $-30$  до  $+65$   $^{\circ}\text{C}$ ). Для синхронизации и передачи данных (режим приемапередачи) по сети микроконтроллеру необходимо 200 – 300 мс. Если учитывать что микроконтроллер будет входить в режим приемапередачи каждые 7 – 10 с, то в режиме повседневной деятельности системы такой аккумулятор емкостью 4 А сохранит работоспособность в течении года без подзарядки.

Для большего привлечения внимания на указателе направления движения типа «стрелка» можно использовать «бегущий указатель», как сделано на прототипе указателя на рисунке 4.1. Данный образец удовлетворяет всем заданным показателям кроме одного: низкая светимость светодиодов. Для хорошей видимости светодиодов в условиях задымленности следует провести дополнительные испытания и выявить наиболее оптимальные характеристики светодиодов для указателя путей эвакуации.

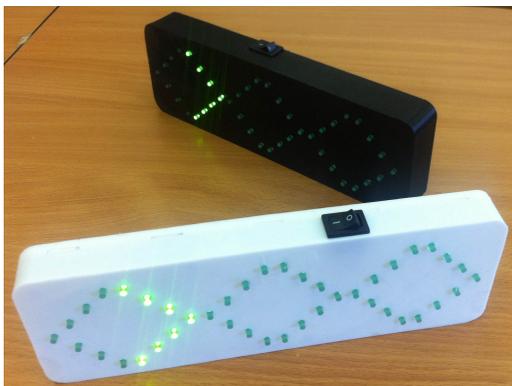


Рисунок 4.1 — Прототип указателя направления движения людей при эвакуации.

На рисунке 4.2 представлена упрощенная электрическая схема двухсекционного указателя.

Таким образом поставленная задача создания прототипа элемента указания путей эвакуации выполнена и применяется в экспериментальном сегменте беспроводной системы оповещения и динамического управления эвакуацией при пожаре.

### Список литературы

1. Колодкин В.М., Морозов О.А., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Ваштиев В.К., Галиуллин М.Э. Система управления

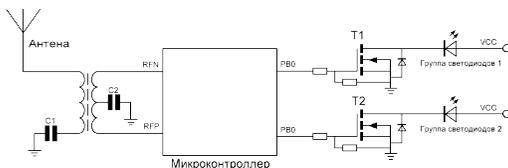


Рисунок 4.2 — Упрощенная электрическая схема двухсекционного указателя.

эвакуацией людей из здания при пожаре // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2015. № 9. С. 6 – 9.

2. В.М. Колодкин, Б.В. Чирков, В.К. Ваштиев, Д.В. Варламов, А.О. Степанов. Модель эвакуации, обеспечивающая минимальное время эвакуации // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2015. № 9. С. 52 – 55.
3. Ваштиев В.К. Управление аудиовизуальными оповещателями, учитывая оптимальные пути эвакуации // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2015. № 9. С. 34 – 40.

## DEVELOPING OF EVACUATION ROUTE WIRELESS POINTER IN BUILDING DURING FIRE EMERGENCY

*Vashtiev Vasilij Konstantinovich*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *vashtiev@ya.ru*

*The article describes the problems and solutions of systems of evacuation of people from the building. Presented a prototype wireless element indicate evacuation routes,. The proposed decision data is processed in the microcontroller, supporting transmission on a radio Mesh topology data.*

**Keywords:** evacuation control system, exit sign, escape route, evacuation management, microcontroller.

УДК 004.492

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУЦИЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ <sup>1</sup>

*Б.В. Чирков*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *b.v.chirkov@gmail.com*

*В.К. Вахтиев*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *vashatiev@ya.ru*

*Поднят вопрос о необходимости системы динамического управления эвакуацией. Показан испытательный стенд для исследования основных возможностей программного-аппартного комплекса управления эвакуацией из здания. Дано описание технической реализации. Описаны режимы работы.*

**Ключевые слова:** Испытательный стенд, динамическая эвакуация, исследование системы, управление эвакуацией

### Введение

Актуальность экстренной эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей возрастает с появлением сложных конструкций внутренней конфигурации зданий.

Поиск маршрутов движения до эвакуационных выходов в режиме реального времени с учетом развития опасных факторов пожара и доведение результатов поиска до людей, оказавшихся в горящем здании — один из аспектов проблемы экстренной эвакуации. Результатом является автоматическое определение областей здания, нахождение в которых сопряжено с опасностью для их жизни и здоровья людей. Маршруты прокладываются в обход найденных областей.

Проектирование маршрутов осуществляется с применением математической модели движения людских потоков при минимизации времени достижения людьми эвакуационных выходов.

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 — 2020 годы»

Маршруты доводятся до людей посредством аудио-визуальных информационных оповещателей. Обмен информацией между узлами программно-аппаратного комплекса осуществляется по радиоканалу. Электропитание элементов комплекса, в основном, автономное.

### Назначение

Для исследования основных возможностей и принципов работы программно-аппаратного комплекса динамического управления эвакуацией изготовлен испытательный стенд (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 — Испытательный стенд.

Стенд предназначен для:

1. Функционального тестирования разработанных решений;
2. Моделирование работы программного-аппаратного комплекса динамического управления эвакуацией;
3. Нагрузочного тестирования компонентов комплекса;
4. Моделирования различных видов ошибок и сбоев;
5. Проектирования и отладки типовых решений;
6. Практической демонстрации на семинарах и презентациях.

### Техническая реализация

Стенд схематично представляет специально разработанный план этажа здания. Помещения ограничены линиями и пронумерованы от 1 до 10 (детекторами дыма оборудованы 8 помещений). Проемы между помещениями обозначены разрывом границы поме-

щений. Три эвакуационных выхода обозначены крупными черными прямоугольниками.

Стенд содержит основные компоненты программно-аппаратного комплекса:

1. Устройства детектирования дыма;
2. Визуальные оповещатели направления движения;
3. Сервер моделирования движения людских потоков.

Устройства детектирования дыма и визуальные оповещатели направления движения подключены к печатной плате на базе микроконтроллера ATmega128RFA1. Связь с сервером осуществляется по радиоканалу. Каждый конечный узел контролирует пару помещений. Пути эвакуации на стенде указывают визуальные указатели направления движения.

### **Принцип работы**

В штатном режиме (при отсутствии блокирования элементов здания опасными факторами пожара) визуальные указатели направления движения находятся в выключенном состоянии, устройства ожидают сигнал от детекторов дыма.

В качестве примера работы программного-аппаратного комплекса в режиме чрезвычайной ситуации рассмотрим сценарий блокировки помещений, при котором происходит перестроение путей эвакуации. Принимаем, что люди в здании распределены равномерно. Блокируя помещение 9 посредством активации детектора дыма (рисунок 5.2), указатели направления движения выстраивают маршруты по направлению к эвакуационным выходам от заблокированного помещения.

Далее, таким же образом блокируем помещение 7 (рисунок 5.3), которое блокирует маршрут движения к одному эвакуационному выходу. Через 3 секунды, после изменения информации о проходимости помещений указатели направления получают сигнал о смене режима и указывают направление в сторону функционирующего эвакуационного выхода.

### **Вывод**

Таким образом, разработанный и изготовленный испытательный стенд позволил исследовать возможности модели движения людских потоков реагировать на изменения проходимости зон этажа здания. Проведены исследования возможностей радиоканала.

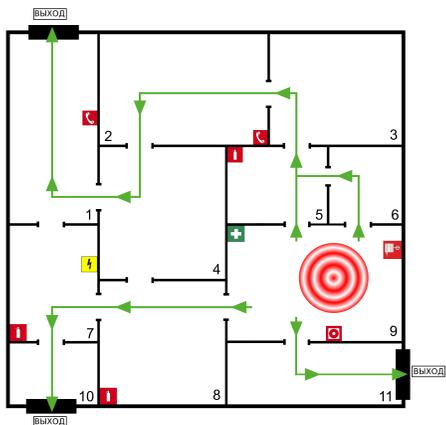


Рисунок 5.2 — Показания указателей направления движения при блокировании помещения 9.

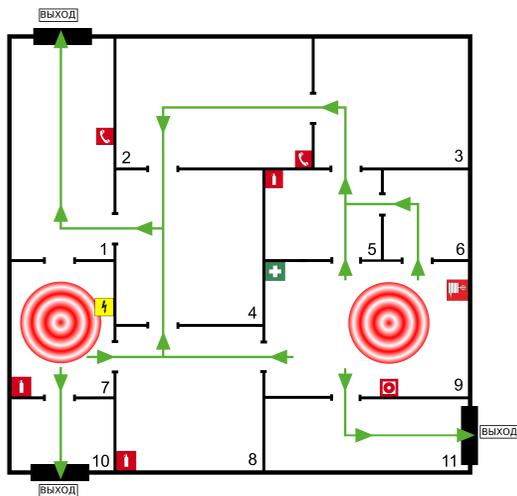


Рисунок 5.3 — Показания указателей направления движения при блокировании помещений 9 и 7.

## TEST BENCH OF BASE COMPONENTS OF SYSTEM DYNAMIC CONTROL EVACUATION

*Chirkov Boris Vladimirovich*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *b.v.chirkov@gmail.com*

*Raised about the of the need for system dynamic control evacuation. Described test bench for the study of basic features the software-hardware a system dynamic control evacuation. A description of the technical implementation. Described it modes of operation.*

**Keywords: Test bench, dynamic an evacuation, research a system, evacuation management**

УДК 351.86(063)

## БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ДИРЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ ВУЗА В УСЛОВИЯХ ЧС <sup>1</sup>

*Д.Е. Ушаков, Д.В. Варламов*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: *sleepinthewater@gmail.com, big.black.fox@gmail.com*

*В статье рассматривается директивное управление эвакуацией людей из здания в условиях ЧС в рамках автоматической системы моделирования и расчета путей эвакуации из здания. Описывается формирование директив для участников эвакуации. Приведено сравнение нескольких моделей систем с директивным управлением и отмечены принципиальные особенности текущего концепта. Отмечены важность и необходимость применения директивного подхода управлением при эвакуации.*

**Ключевые слова:** управление эвакуацией, математическая модель людских потоков, теория графов, пространственно-информационная модель здания, микроконтроллеры, беспроводные электронные системы

### Введение

Экстренная эвакуация людей из общественных зданий и сооружений – это наиболее эффективный способ сохранения жизни и здоровья людей при авариях, катастрофах и террористических проявлениях. Вместе с тем, людские потери в России, например, при пожарах, на порядок превышают потери в странах Западной Европы и Америки при соизмеримых частотах возникновения пожаров. Актуальность изучения и разработки системы директивного указания путей эвакуации в системах автоматического расчета путей обусловлена тем ущербом, который несет общество при возникновении чрезвычайных ситуаций, а так же опасностью вызванной с возможностью террористических атак.

Проблема уменьшения или исключения ущерба при возникновении чрезвычайной ситуации требует всестороннего обозрения. В рамках данной работы рассматриваются вопросы построения и использования программно-аппаратного комплекса директивного указания путей эвакуации из зданий ВУЗов в режиме реального

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки № RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий»

времени. Программно-аппаратный комплекс должен быть надежным в эксплуатации, доступным по стоимости и монтироваться в зданиях без нарушения целостности строительных конструкций.

Такая значимая проблема как управление эвакуацией людей из зданий в условиях террористической опасности, в условиях чрезвычайных ситуаций не могла и не может оставаться без внимания ученых и специалистов. Возможность директивного управления эвакуацией в той или иной степени существовала и существует всегда. Исследования в области моделирования движения людских потоков в здании, создание пространственно-информационной модели (образа здания), создание микроконтроллеров, стимулировали разработку нового поколения систем указания путей эвакуации, формирование директив исходя из состояния обстановки внутри здания. Рассмотренная системы базируется на:

- 1 Беспроводной связи между компонентами системы.
- 2 Комбинированных датчиках, входящих в состав сенсорных узлов.
- 3 Вычислительных и архитектурных возможностях современных микроконтроллеров.
- 4 Алгоритмическом, программном и аппаратном обеспечении процесса управления эвакуацией.

Развитие и актуальность систем нового поколения обусловило наличие ряда факторов:

- 1 Развитие беспроводных технологий: создание сети, построенной на базе протокола IEEE 802.15.4 частотой 2.4ГГц (LwMesh).
- 2 Развитие тонкоплёночных технологий применительно к разработке комбинированных пожарных извещателей.
- 3 Новых подходов создания пространственно-информационных моделей (ПИМ) здания.

Проблемы экстренной эвакуации людей из здания изучаются многими специалистами в мире. Авторы Tatiana Tabirca, Kenneth N. Brown и Cormac J. Sreenan [1] рассматривали динамическую систему управления эвакуацией, используя ПИМ здания, представленную в виде графа. Сенсоры, расположены в ключевых местах топографического плана здания (узлах графа). Узлы связаны ребрами, имеющими вес. Вес рассчитывается динамически в режиме

реального времени. Особенностью системы является применение двух графов определяющих независимые значения весов:

- граф «направления движения» рассчитывается по геометрии здания при создании ПИМ и является основой для оценки путей эвакуации в зависимости от топологии здания;

- граф «риска» динамически рассчитывается системой в условиях реального времени. Вес каждого ребра в таком графе рассчитывается в зависимости от показания сенсорных узлов.

Отличительное видение динамической системы представлено Pradheep Ramuhalli и Subir Biswas [2]. Авторы описывают сеть датчиков, основными задачами которых является обработка событий, входящих в список чрезвычайных ситуаций для данного здания, и дальнейшее управление эвакуацией людей в случае наступления таких событий: пожар, землетрясение, химическое и биологическое заражение. Сеть распределенных датчиков проводит анализ параметров среды: задымленность, температура, влажность, вибрации и т.д. На основе результатов обработки параметров среды для конкретного здания и данных о распределении людей, производится управление эвакуацией посредством аудио-визуальных индикаторов, включенных в систему указания путей эвакуации.

Практическую реализацию идея динамического управления эвакуацией получила в рамках проекта MIPS [3]. Система включает набор сенсорных датчиков, распределенных по объекту, и набор светодиодных направляющих лент. Особенностью системы является возможность работать в двух режимах: статическом - все маршруты заранее рассчитаны; и динамическом – ленты загораются с приоритетным направлением, полученным из управляющего центра. Сложностью применения является необходимость настройки системы под каждый объект и конкретизация условий выбора маршрута эвакуации для данного объекта.

Основная идея управления процессом эвакуации заключается предоставлении участникам эвакуации своевременной информации внесенной в систему из вне или полученной при расчете моделей эвакуации из данных отслеживания динамики развития состояния среды в здании, выделения участков здания, пребывание в которых людей по тем или иным причинам нежелательно.

Мониторинг состояния здания осуществляется через распределенную сеть беспроводных сенсоров с обратной связью (данные передаются как от сенсоров на сервера, так и от серверов на сенсоры, а также между сенсорами), снимающих показания по задымленности, температуре, содержанию газов и других характеристик, влияющих на процесс эвакуации.

Выделение помещений, где нахождение людей нежелательно из-за проявления террористической активности, производится в режиме директивного управления с мобильного устройства по радиоканалу.

По результатам мониторинга и командам директивного управления в автоматическом режиме идентифицируется состояние возникновения чрезвычайной ситуации или проявления террористической активности. Система указания путей эвакуации работает в режиме реального времени, то есть как только сенсорный узел идентифицировал или получил сигнал начала эвакуации, или сработала команда директивного управления на основе математической модели эвакуации проектируются пути из всех помещений здания. Эти пути указываются людям с помощью светодиодных информационных указателей, звуковых оповещателей и т.д. По мере срабатывания сенсорных узлов или новых команд директивного управления (выявления непроходимых для человека участков путей внутри здания) происходит новый расчет путей эвакуации и их новое представление людям, находящимся в здании. То есть каждое изменение в состоянии здания преломляется в новых указателях направлений движения людских потоков по всему зданию. Директивное управление процессом эвакуации – указание нежелательных для нахождения людей помещений, производится с внешнего мобильного устройства. Вычислительный процесс организован на сервере.

### **Программно-аппаратная реализация системы директивно-го управления эвакуацией в условиях ЧС**

Беспроводная система директивного управления эвакуацией позволяет производить воздействия на систему оповещения двумя путями:

- автоматический режим при расчете динамических путей самой системой в автономном режиме или при директивном воздействии на ПИМ.
- воспроизведение директив с внешнего устройства управления сразу на оповещателях: световые табло, звуковые оповещения по зданию или в комнате, управление запирающими механизмами при их наличии.

Исходя из этого был определен основной состав аппаратной системы:

- 1 Совокупность конечных сенсорных узлов. Автономные устройства содержащие: управляющий блок на базе микроконтроллера, адресный радио-модуль, набор сенсоров.
- 2 Совокупность маршрутизаторов. Маршрутизатор является повторяющим узлом и служит для поддержания целостности сети, ретранслирую информацию от узлов к узлам.
- 3 Вычислительные модули. Расчетные модули, позволяющие давать оценку состоянию среды в здании в каждый момент времени.
- 4 Совокупность оповещателей. Аудио, визуальные элементы подключенные к конечным узлам, информирующие о текущих путях эвакуации или необходимых действиях, директива на которые приходят с центрального узла.
- 5 Пульт управления системой или мобильное устройство. Этот элемент позволяет вводить ограничения на ПИМ, создавая дополнительные условия на конкретные участки здания, уменьшая проходимость для динамических алгоритмов расчета путей эвакуации. Так же позволяет выводить директивы напрямую в необходимые зоны.

Программой частью для каждого узла является программа написанная на языке C/C++. Определяющая характер работы каждого элемента, связь с другими элементами и порядок обработки команд на каждом этапе работы системы.

Исходя из данных критериев был проведен сравнительный анализ существующих моделей и реализованных систем динамического расчета путей эвакуации, результаты которого отображены в таблице 6.1.

### **Директивное управление эвакуацией в условиях ЧС**

Важным аспектом для систем динамического расчета путей эвакуации является наличие внешнего управления на ПИМ или узлы оповещения. Для реализации введено управление с внешнего устройства, в частности мобильного устройства. Существует несколько сценариев воздействия на расчет путей эвакуации:

- 1 Мобильное устройство при выборе сенсорного узла может влиять на его состояние, заменяя данные на необходимые на определенный промежуток времени. При этом приоритет такого воздействия считается высоким и не может быть

Таблица 6.1 — Сравнение систем управления эвакуацией.

	Текущая	Tatiana Tabirca, Kenneth N. Brown,	Pradeep Ramuhalli, Subir Biswas	MILS
Анализ состояния среды	+	+	+	+
Динамический расчет путей эвакуации	+	+	+	-
Расчет путей в реальном времени	+	+	-	-
Внешнее управление	С пульта/ мобильного устройства	-	-	Включение/ выключение системы

изменен самим сенсорным узлом в течение некоторого времени, определяемым характером воздействия.

- 2 Мобильное устройство может изменить состояние оповещателя, переключив направление стрелки, или воспроизведя необходимый набор голосовых команд на аудиоузле.

В первом случае происходит влияние на алгоритмы расчета в самой системе, что моментально приводит к изменению путей эвакуации. Это позволяет изменять в расчетном алгоритме коэффициент проницаемости для конкретной зоны. Коэффициент проницаемости изменяется от 0 до 1, где 0 – полностью непроходимая зона, 1 – свободно проходимая зона.

Для определения значения коэффициента проницаемости все ограничения делать на несколько типов:

**Мобильные** – развивающиеся во времени, или изменяющие положение внутри здания (пожар, газ, люди и т.д.).

**Стационарные** – не меняющие положения (взрывные устройства, оборванные кабели, обрушения конструкции и т.д.).

Во втором случае происходит лишь оповещение участников в конкретной области здания, такой вариант необходим при террористической угрозе, когда информация должна быть донесена только до необходимых людей, и общее поведение системы не должно показывать внешних воздействий.

Таким образом топология системы динамического расчета незначительно расширяется, но значительно увеличивает функцио-

нал всей системы в целом, добавляя функции внешнего управления эвакуацией. Топология отображена на рисунке 6.1 .

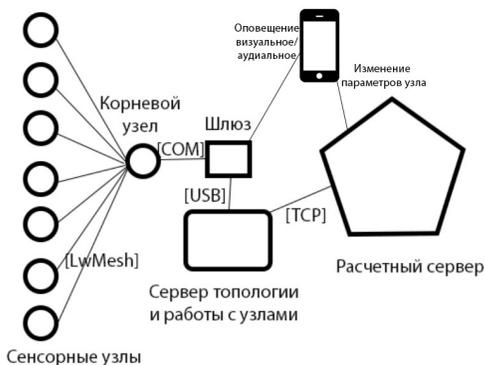


Рисунок 6.1 — Топология системы с возможностью директивного управления

Необходимо ответить, что данная архитектура позволяет изменять состав системы:

- изменять количество сенсорных узлов;
- менять вычислительные мощности серверов, в зависимости от сложности и объема сети;
- производить дополнительные подключения конечных устройств для контроля за ситуацией на объектах;
- предоставлять актуальную и своевременную информацию для служб спасения, участников эвакуации и ведомственных служб.

Одной из главных особенностей такой архитектуры является возможность директивного управления эвакуацией. С любого носимого устройства, имеющего защищенное приложение, можно производить контроль и вносить изменения в состояния сенсорных узлов. Это позволяет производить перерасчет путей эвакуации и оперативно передавать указания о новых путях по всему зданию. Причем, воздействовать на канал передачи информации не представляется возможным. В приложение реализован следующий функционал:

- подключение с топологическим сервером контроля сенсорных узлов по TCP;
- отображение состояния всех узлов;
- изменение состояния выбранного узла в соответствии с выбранным ограничением;

– оповещение эвакуирующихся людей в необходимой области здания, без изменения поведения системы, в условиях строжайшей секретности при террористической атаке.

### **Безопасность и отказоустойчивость системы**

Одним из важных аспектов динамических систем указания путей и директивного управления эвакуацией, является безопасность соединения всех элементов и их отказоустойчивость. Для этого были произведены исследования технологий используемых для взаимодействия в системе.

Как было указано, в микроконтроллер встроен радио-модуль и программный сетевой протокол LwMesh, которые обеспечивают:

- построение общей сети передачи данных;
- передачу цифровых данных на высокой скорости;
- шифрование данных алгоритмом AES с длиной ключа до 256 бит;
- надежность сети и защиту от выхода из строя отдельных узлов.
- масштабируемость сети (до 65535 узлов);
- замену узлов без потери работоспособности.

Взаимосвязь корневого узла со шлюзом сервером топологии и управления происходит по протоколам, которые возможно нарушить физическим воздействием: оторвать провода, для решения этой проблемы этот участок системы реализуется в одном блочном модуле, что позволяет избежать случайных нарушений целостности сети.

Обеспечением безопасности TCP подключения занимаются многие фирмы и исследовательские организации [4]. Для удаленных подключений можно использовать SSL (Secure Socket Layer) криптографический протокол, который подразумевает более высокую безопасность связи. Он использует асимметричную криптографию для аутентификации ключей обмена, симметричное шифрование для сохранения конфиденциальности, коды аутентификации сообщений для целостности сообщений. Протокол широко использовался для обмена мгновенными сообщениями и передачи голоса через IP (англ. Voice over IP – VoIP) в таких приложениях, как электронная почта, Интернет-факс и др. В настоящее время известно, что протокол не является безопасным. SSL должен быть исключен из работы в пользу TLS (см. CVE-2014-3566).

TLS (англ. Transport Layer Security – безопасность транспортного уровня), как и его предшественник SSL (англ. Secure Sockets Layer – уровень защищённых сокетов) – криптографические про-

токолы, обеспечивающие защищённую передачу данных между узлами в сети Интернет.

Однако одним из важных вопросов при разработке беспроводных систем остается отказ системы при разряде батареи. Для решения данной проблемы в коде «прошивки» микроконтроллера для сенсорных узлов предусмотрены прерывания, что позволяет останавливать работу узла и возобновлять для передачи данных. Современные микроконтроллеры имеют встроенные механизмы прерывания, что ускоряет и упрощает разработку логики работы. Это позволяет экономить заряд батареи и увеличивать срок работы сенсорного узла. Также реализованы алгоритмы контроля заряда батареи и передачи информации о них на сервер, для дальнейшего предупреждения, оповещения и замены.

## **Заключение**

Разработанный программно-аппаратный комплекс указаний путей эвакуации из здания в условиях чрезвычайной ситуации позволяет в режиме реального времени проектировать пути движения людских потоков и представлять траектории движения людям, находящимся в здании. Спроектированные пути отвечают требованию минимальности времени освобождения людьми здания в условиях ЧС, и отвечают требованию безопасности, то есть траектории эвакуации автоматически прокладываются по безопасным для человека зонам.

Система реализована на экспериментальном стенде. Проведен ряд экспериментов и тестов, которые показывают работоспособность разработанной модели и алгоритмов динамического расчета путей эвакуации из здания. Так же проведенные макетные испытания демонстрируют возможность директивного управления эвакуацией с носимых устройств.

По результатам макетных экспериментов можно сделать вывод, что система имеет высокую эффективность, безопасность, отказоустойчивость и невысокую стоимость. Всё это позволяет говорить об эффективности установки такой системы в зданиях ВУЗов, школ, торговых центров и других зданий с массовым скоплением людей.

## **Список литературы**

1. T. Tabirca, K. N. Brown, and C. J. Sreenan, «A dynamic model for fire emergency evacuation based on wireless sensor networks», 2009 Eighth International Symposium on Parallel and Distributed Computing. Ieee, pp. 29–36, 2009.

2. P. Ramuhalli, and S. Biswas, «Managed traffic evacuation using distributed sensor processing», *Nondestructive Evaluation for Health Monitoring and Diagnostics*. International Society for Optics and Photonics, pp. 48–58, 2005.
3. MILS® Intelligent Guiding and Emergency Lighting Systems. <http://www.marimils.com/> Accessed: 19-Aug-2015.
4. Network Security - PRIVATE Communication in a PUBLIC World C. Kaufman, R. Pearlman, M. Speciner Pearson Education, 2002. (chapter 19)

## **WIRELESS DIRECTIVE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE EMERGENCY UNIVERSITY BUILDING EVACUATION**

*Danil Evgenyevich Ushakov, Varlamov Dmitriy Viktorovich*  
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *sleepinthewater@gmail.com, big.black.fox@gmail.com*

*The article covers directive management for emergency evacuation of a building from the point of view of automatic modelling and evacuation routes calculation system. Directive planning for the evacuation participants is described. A range of directive management system models is compared, and the peculiarities of the current concept are highlighted. The importance and urgency of applying directives for evacuation management are pointed out.*

**Keywords:** evacuation management, mathematical model of human flows, graph theory, space-building information model, microcontrollers, wireless electronic systems.

УДК 351.86(063)

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭВАКУАЦИЕЙ<sup>1</sup>

А.О. Степанов

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: *heimusharper@gmail.com*

*В статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при разработке системы голосового оповещения в плане воспроизведения звуков, а так же возможные варианты их решения. Предполагается использование микропроцессоров семейства AVR фирмы Atmel® для организации сети. Представлен примерный вариант взаимодействия элементов.*

**Ключевые слова:** управление эвакуацией, голосовое оповещение.

### Введение

Ни одна система эвакуации не может быть использована, если в ней отсутствует система голосового оповещения. Требования к таким системам, частично описаны в ГОСТ Р 55149-2012 [1]. Наиболее интересны следующие пункты:

1 Уровень звукового давления должен обеспечивать четкое и однозначное восприятие человеком звуковых сигналов, но не более 110 дБ;

2 Частота звуковых сигналов от 200 до 5000 Гц. В обоснованных случаях допускается расширение до 10000 Гц;

3 Речевая и звуковая информация может быть как записана на энергонезависимую память либо поступать от устройства управления;

4 Диапазон частот не уже чем от 500 до 3500 Гц;

5 Время работы в автономном режиме не менее 1 ч;

6 Обеспечивается работа при изменении напряжения питания в диапазоне не менее  $(0.75-1.15) U_{ном}$ ;

7 Время наработки на отказ не менее 60000 ч, круглосуточная работа;

8 Должны отсутствовать внешние регуляторы;

9 Конструкция не должна представлять пожарную опасность.

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Минобрнауки № RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий»

## Цифровое представление звука

Исходя из теоремы Котельникова, которая гласит, что «любую функцию  $F(t)$ , состоящую из частот от 0 до  $f_1$ , можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через  $1/(2f_1)$  секунд» [2]. Так, для получения частоты спектра до 20 кГц необходимо, чтобы звуковой сигнал был дискретизирован частотой не менее 40 кГц.

Для соответствия значениям, указанных в ГОСТ, должна выдаваться частота более 7 кГц. Так, через ATmega128RFA1 возможно вывести большую частоту, особенно при использовании кварцевого генератора на 16 МГц на макетной плате [3].

## Цифрово-аналоговый преобразователь (ЦАП)

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) — устройство для перевода цифровых данных в аналоговый сигнал. Характеристики ЦАП:

- 1 Разрядность ( $N$ ) – количество бит во входном коде;
- 2 Частота дискретизации (частота Найквиста) – максимальная частота, на которой ЦАП может работать, выдавая на выходе корректный результат;
- 3 Полная шкала (ПШ) – диапазон значений выходного сигнала;
- 4 Передаточная характеристика (ПХ) – зависимость выходного сигнала ЦАП от входных данных;
- 5 Монотонность – участок на ПХ, где наклон постоянен. На этом участке ЦАП линеен;
- 6 Время установления – интервал времени от момента изменения входного кода до окончательного вхождения выходного сигнала в заданный диапазон отклонения;
- 7 Выходной выброс – это переходный процесс, возникающий во время смены входных данных. Величина выброса зависит от количества переключаемых разрядов;
- 8 Погрешность смещения нуля – разность между фактическим и идеальным выходным сигналом, когда на входе ноль;
- 9 Погрешность ПШ – разница между фактическим выходным напряжением и напряжением ПШ;
- 10 Погрешность усиления – отклонение наклона ПХ от идеального;
- 11 Дифференциальная нелинейность – разность приращений выходных сигналов, соответствующих смежным соседним кодам;
- 12 Интегральная нелинейность – максимальное отклонение реальной ПХ от прямой линии.

На тему преобразования сигналов достаточна для выполнения данной работы книга, написанная инженерами Analog Devices «The Data Conversion Handbook» [6].

Каждый квант времени представим в бинарном виде как  $k = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_N), a_i = 0.1$ . Так каждому такому «биту» можно привести в соответствие веса  $H_k^N = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_N), h_i \in \{V_{min}; V_{max}\}, v$ . Такие веса можно использовать в простейшем ЦАП – взвешивающем. Веса можно задавать следующим соотношением:

$$h_i = a_i 2^{-(N-i)}, \forall i = 1 \dots N$$

$$H_k = a_N 2^0 + a_{N-1} 2^{-1} + \dots + a_1 2^{-(N-1)};$$

Для вывода аналогового звука необходимо каждый квант времени подавать на динамики напряжение, необходимое для вывода данного звука в данное время, тогда, нормализуя данные значения до необходимого выходного напряжения, каждому выходному значению цифрового аудио потока можно привести в соответствие аналоговый импульс.

В итоге на выходе формируется ступенчатый сигнал соответствующий заданной частоте дискретизации.

Рассмотрим возникновение немонотонности, которое может иметь место на данном временном интервале. Значимость немонотонности возрастает при уменьшении разрядности. Промежуток немонотонности возникает когда  $\exists i : H_{k_{i-1}} > H_{k_i} < H_{k_{i+1}}$ , тогда  $H_{k_i}$  является таким промежутком. Такие промежутки могут неверно сгладиться фильтром.

### Опорное напряжение и фильтр низких частот

Для достижения максимальной точности на конкретной конфигурации важно, чтобы для работы ЦАП использовалось два источника напряжения опорное и питание, так как выходное значение сильно зависит от обоих:

$$V_{out} = (V_{in} * 2^n) / V_{ref}$$

где  $V_{ref}$  – опорное напряжение,  $n$  – частота дискретизации,  $V_{in}$  – питание.

Источником опорного напряжения может быть отдельный чип, один из описанных в работах [4, 5]. В книге [6] описано несколько типовых схем таких источников.

Сильно на качество ЦАП могут влиять температурные режимы работы элементов, их взаимное расположение. Из-за необходимости

удешевления производства придется использовать не дорогую элементную базу, точность и недостатки которой возможно частично компенсировать грамотным расположением элементов и их выбором.

Задача фильтра низких частот сделать минимальными цифровые артефакты.

Часто используется простой  $RC$ -фильтр, собранный из последовательно соединенных резистора и конденсатора. Номиналы можно вычислить по формуле:

$$Q = 1/(2 * \pi * R * C);$$

Частоту среза достаточно взять к примеру 16 кГц.

Для достижения лучшего эффекта возможно использование фильтра Баттерворта или Чебышева, они подробно описаны в работе [7].

### Сжатие данных

Можно примерно рассчитать размер аудио файла, для воспроизведения. Для этого рассчитывают *битрейт = количество каналов \* разрядность (бит) \* частота дискретизации (Гц)*. Например, с учетом ГОСТа:  $1 * 10 * 3500 = 35$  кбит/с = 4.27 кбайт. Минута такого аудио в несжатом виде будет весить 256 кбайт. Сеть может быть достаточно сильно загружена и для передачи большого объема аудиофайлов множеству узлов может потребоваться их сжатие. Когда речь идет о микроконтроллерах необходимо отметить их невысокую производительность. В таком случае возникает несколько вариантов решения проблемы:

1 Использование простых методов сжатия с потерями с реализацией на ATmega128RFA1;

2 Использование дополнительного микроконтроллера реализующего более качественный формат сжатия, возможно, более сильный;

3 Использование специальных чипов — декодеров различных форматов.

Первый вариант возможен при кодировании в формате ADPCM-подобном кодеке. Такой кодек хранит разницу между выборками и вносит искажения, если градиент этих выборок очень большой. Также, не найдены реализации под данный микроконтроллер, и его необходимо реализовывать отдельно. Возможно использование кодеков G.723 или G.726, реализация которых доступна для 8-битных STM8S [8]. Этот вариант не требует

больших финансовых вложений, но и не обеспечивает качество звука.

Второй вариант предусматривает использование для работы со звуком более совершенные микроконтроллеры вроде STM32M серии. Некоторые модели могут декодировать формат mp3 [9], но в нашем случае более интересны речевые кодеки, например такой кодек как Speex, демонстрация работы которого представлена в [10]. В том же документе описана возможная схема подключения преобразователей. Стоимость такого решения резко возрастает, оптовая покупка таких микроконтроллеров может обойтись в 4-6 долларов за штуку, исходя из цен *mouser.com*.

Третий вариант как альтернатива второму, когда нет необходимости в написании программы для микроконтроллера, а сам микроконтроллер сконструирован таким образом, чтобы декодировать данные в определенном формате. Цены на такие контроллеры начинаются от 7 долларов за штуку.

## Заключение

Таким образом, принято решение реализовать сжатие звука, для уменьшения нагрузки на сеть, программным декодировщиком на базе микроконтроллера STM32F102. В качестве усилителя предполагается использование TDA2030, а источник опорного напряжения AD1580ARTZ, в качестве ЦАП будет использован ЦАП взвешивающего типа.

## Список литературы

1. ГОСТ Р 55149-2012. Техника пожарная. Оповещатели пожарные индивидуальные. Общие технические требования и методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2014. С. 10.
2. Биккенин Р. Р., Чесноков М. Н. (2010) Теория электрической связи.-Москва: Издательский центр «Академия», С. 329.
3. ATmega128RFA1 Datasheet[Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266-MCU\\_Wireless-ATmega128RFA1\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8266-MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf) свободный.
4. В. Авербух. Прецизионные источники опорного напряжения. Параметры и особенности применения.
5. М. Пушкарев. Интегральные источники опорного напряжения.
6. The data conversion handbook [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data\\_conversion\\_handbook.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/data_conversion_handbook.html) свободный.

7. Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. (1983) Справочник по активным фильтрам.-Москва: Энергоатомиздат. С. 128.
8. AN3143. Audio software codec for the STM8S. Режим доступа: [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application\\_note/CD00262888.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00262888.pdf) свободный.
9. STM32-MP3NL/DEC. STM32 audioengine – MP3 decoder library. Режим доступа: <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM147/CL1794/SC961/S1533/PF250969> свободны.
10. AN2812. Vocoder demonstration using a Speex audio codec on STM32F101xx and STM32F103xx microcontrollers. Режим доступа: [http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application\\_note/CD00204907.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00204907.pdf)

## DEVELOPMENT OF VOICE MESSAGING IN THE MANAGEMENT OF EVACUATION

*Andrey Olegovich Stepanov*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [heimusharper@gmail](mailto:heimusharper@gmail)

*The article reviews the main problems encountered in the development of voice alarm systems in terms of playback sounds, as well as possible solutions. It is supposed to use microprocessors Atmel® company's AVR family of organizations network. It presents an exemplary interaction of elements.*

**Keywords:** evacuation management, voice notification.

УДК 614.842

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРУПНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

*Р.Ш. Хабибуллин, С.В. Гудин*

Академия Государственной противопожарной службы МЧС  
России

e-mail: *kh-r@yandex.ru, sergey.gudin@firerisks.ru*

*Определены основные подходы к управлению пожарной безопасностью крупных производственных объектов нефтегазовой и нефтехимической отрасли. Показаны результаты разработки компьютерной информационной системы поддержки управления пожарной безопасностью данных объектов защиты, направления дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** поддержка принятия решений, пожарная безопасность, производственный объект.

В рамках разрабатываемой системы поддержки управления пожарной безопасностью крупных производственных объектов, в первую очередь объектов нефтегазовой и нефтехимической отрасли, создается интернет-портал управления пожарными рисками «FireRisks».

«FireRisks» (*www.firerisks.ru/science*) – разрабатываемая комплексная web-ориентированная информационная система, предназначенная для проведения исследований в области пожарной безопасности производственных объектов, в частности изучения алгоритмов управления пожарными рисками на территории производственных объектов различных отраслей промышленности [1, 3]

Основная структурно-функциональная схема информационной системы представлена на Рисунке 8.1.

В состав информационной системы «FireRisks» входит несколько функциональных модулей:

«FireRisks.Calculation» – расчет величин пожарных рисков. Основной функцией модуля в настоящее время является определение расчетных величин пожарных рисков, а так же моделирования зон рисков с использованием интернет-картографических модулей (GoogleMaps и др.).

«FireRisks.Decision Support» – управление пожарными рисками с использованием различных методов оптимизации, а также

накопления экспертных данных. В рамках данного модуля разрабатывается база данных возможных мероприятий, направленных на снижение пожарных рисков. Задачей этого модуля является выбор наиболее эффективного набора мероприятий для каждого конкретного случая превышения величин пожарных рисков.

В рамках объектно-ориентированного подхода разработана обобщенная диаграмма основных классов информационной системы, определены их связи, атрибуты и методы. Определены функции каждого класса, позволяющие учесть не только весь функционал расчета пожарных рисков, их хранения, графической визуализации, но и их управления.

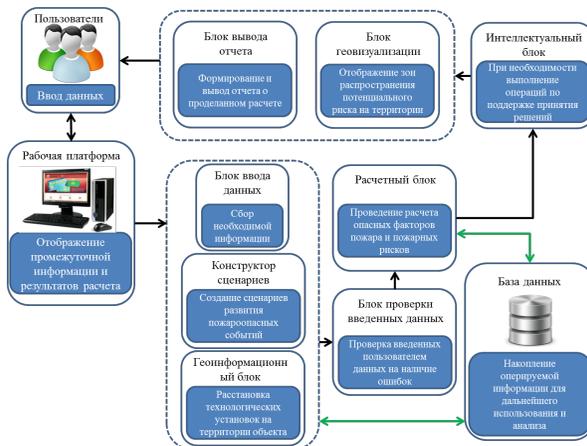


Рисунок 8.1 — Функциональная схема работы информационной системы управления пожарными рисками «FireRisks»

В настоящий момент активно развивается модуль «FireRisks. Decision Support», в рамках которого разработана диаграмма классов модуля поддержки принятия управленческих решений с использованием генетического алгоритма для оптимизации выбора мероприятий по снижению пожарных рисков, в том числе, определение оптимального, с точки зрения безопасности, расположения новой наружной технологической установки на территории производственного объекта [4]. Пользователь с использованием геоинформационного блока, в свою очередь может просмотреть результаты применения противопожарных мероприятий.

Следующим этапом развития информационной системы является разработка модуля «FireRisks.MAS».

Принимая во внимание наличие множества факторов, объектов с различной целевой направленностью, многокритериальность решаемых задач по управлению пожарными рисками, разработку информационной системы поддержки управления предлагается реализовывать с использованием мультиагентного подхода. Данный подход осуществляет реализацию механизмов управления, направленных на обеспечение системной согласованности всех агентов (субъектов системы обеспечения пожарной безопасности, внешней среды) и является логичным продолжением развития разрабатываемой объектно-ориентированной модели управления [5].

Преимуществом разрабатываемого модуля является повышение эффективности принятия решений по управлению пожарными рисками за счет гибкости, открытости, возможности масштабирования и интеграции в рамках развития единого информационного пространства управления пожарной безопасностью объектов нефтегазовой отрасли [6, 7]. В дальнейшем планируется развитие модуля за счет внедрения интеллектуальных агентов-программ для управления знаниями в области предупреждения пожаров на рассматриваемых объектах защиты. Агенты в своем составе формируют базы знаний и функционал экспертных систем поддержки принятия решений по выявлению и предупреждению пожаров на объектах нефтегазовой и нефтехимической отрасли [8].

### Список литературы

1. С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин. Объектно-ориентированный подход при определении пожарных рисков на территории производственных объектов // Материалы двадцать третьей международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2014». М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. С. 20–22.
2. Хабибулин Р.Ш. Разработка объектно-ориентированных информационных систем в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Инновации в образовательном процессе: сб. трудов науч.-практ. конф. Вып. 13. Чебоксары: ЧПИ, 2015. С. 64–66.
3. Гудин, С.В. Структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе исследовательской платформы FireRisks [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // Материалы школы-семинара молодых ученых «Фундаментальные проблемы системной безопасности». Елец, 2014. С. 206–208.

4. Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш. Оптимизация расположения технологической установки на территории производственного объекта на основе генетического алгоритма // Материалы 8-ой Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2015) в 3-т. — Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. С. 54–56.
5. Хабибулин Р.Ш. Обоснование мультиагентного подхода в разработке информационной системы поддержки управления пожарной безопасностью на производственных объектах нефтегазовой отрасли. Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVI международной научно-методической конференции, Воронеж, 11–12 февраля 2016 г. Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2016. – С.242–246.
6. Хабибулин Р.Ш. Интеграция информационного пространства управления пожарной безопасностью на объектах промышленности // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Материалы VI Международной научно-практической конференции. 23-24 октября 2015 г. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – С. 215-217.
7. Хабибулин Р.Ш. Интеллектуализация управления пожарной безопасностью на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Сб. статей по материалам VI Всерос. Науч.-практ. конф. С междунар. Уч. 23-24 сентября 2015 г.: в 2-х ч. Ч.1 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. Воронеж, 2015. С. 22–25.
8. Хабибулин Р.Ш., Зуев Н.Ю., Картавец К.А. Подсистема управления знаниями в системе пожарной безопасности объектов нефтепереработки // Материалы двадцать четвертой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015». М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 461–462.

**SUPPORT SYSTEMS OF FIRE SAFETY OF LARGE OIL  
AND GAS PRODUCTION FACILITIES AND  
PETROCHEMICAL INDUSTRY**

*Renat Shamilyevich Khabibulin, Sergey Vitalyevich Gudin*  
The State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 129366 Russia,  
Moscow, B. Galushkina str. 4

e-mail: *kh-r@yandex.ru*, *sergey.gudin@firerisks.ru*

*The analysis and the main approaches to fire safety management of large-scale production of oil and gas and petrochemical industries are presented. The results of the development of computer decision support systems of fire safety protection of such objects, the directions of future research are presented.*

**Keywords:** decision support, fire safety, production facility.

УДК 614.842

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ВО ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ

*Д.В. Шихалев*

Академия Государственной противопожарной службы МЧС  
России

e-mail: *evacsystem@gmail.com*

*Проведен анализ подходов к определению маршрутов движения людей во время эвакуации при пожаре. Выявлены основные подходы к определению маршрута движения. Определены их преимущества и недостатки. Предложен новый подход к определению маршрутов движения людей во время эвакуации при пожаре.*

**Ключевые слова:** маршрут движения, управление, эвакуация, пожар

Анализ систем управления эвакуацией при пожаре [1] показал, что только лишь в каждой третьей системе управления эвакуацией для определения маршрута движения при пожаре применен математический аппарат. Вычисление маршрута движения при пожаре проводилось в рамках трех основных подходов.

- *Подход №1.* Вычисление оптимальных маршрутов движения [2] и формирование оптимального плана эвакуации [3, 4];
- *Подход №2.* Вычисление маршрутов движения для реализации стратегии «поэтапной эвакуации» [5];
- *Подход №3.* Вычисление кратчайшего маршрута движения при пожаре [6, 7].

Рассмотрение данных подходов позволило выявить как их преимущества, так и недостатки.

Общим недостатком для *подходов №1* и *№2* является тот факт, что расчет оптимальных маршрутов движения проводится на подготовительном этапе, а не при эвакуации. Это ведет к тому, что полученные результаты актуальны только в момент начала процесса эвакуации, при условии, что реализованы начальные установки, которые принимались при расчетах. Поэтому говорить об актуальности и достоверности результатов расчета непосредственно в процессе эвакуации затруднительно. Однако наряду с этими недостатками, следует отметить преимущество

*подхода №2*, так как при его реализации основной акцент сделан на недопущение образования скоплений людей высокой плотности, что позволяет, так или иначе, приниматься во внимание безопасность людей при пожаре.

Наибольший интерес представляет рассмотрение *подхода №3*, при котором определение маршрутов движения производится в течение всего процесса эвакуации. Работы [6, 7], в которых предложен данный подход, схожи в своей основе. Различие заключено в способе представления участков маршрутов движения. На рисунке 9.1 показан принцип рассмотрения участков, применяемый в работе [6].

Основными элементами в данной работе являются узлы и участки между ними. Узлы размещаются в геометрическом центре места соединения двух участков. Это может быть соединение типа: коридор–коридор (P1–P7), дверь–коридор (P2). Этаж здания разбивается на элементарные прямые участки, которые не имеют геометрических изгибов. В случае если имеет место такой изгиб (соответствует повороту на участке маршрута движения), происходит разделение данного участка на два новых (P10, P11). После завершения сети участков производится вычисление кратчайшего маршрута движения при пожаре с применением теории графов.

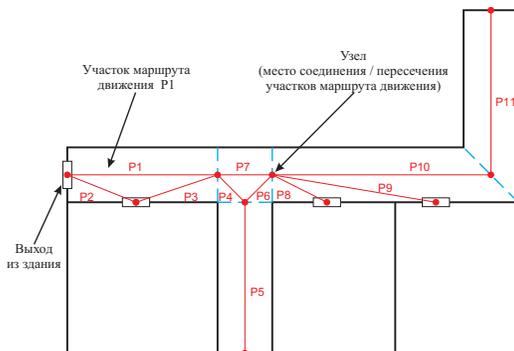


Рисунок 9.1 — Принципы разбиения этажа здания на участки маршрута движения в соответствии с [6]. P1–P11 – участки маршрута движения

Перейдем к рассмотрению способа разбиения на участки маршрута движения в соответствии с работой [7]. Данный принцип показан на рисунке 9.2. Представление узлов и участков в данной

работе отличается, однако не принципиально. Узлы размещаются на определенном расстоянии друг от друга, а также в местах наличия дверей. После формирования сети участков, как и в предыдущем подходе, применяется теория графов для вычисления кратчайшего маршрута движения при пожаре. Данная работа представляет определенный интерес, поскольку в ней используется способ контроля участков с помощью сенсора, который при наличии ОФП исключает данный участок из дальнейших расчетов.

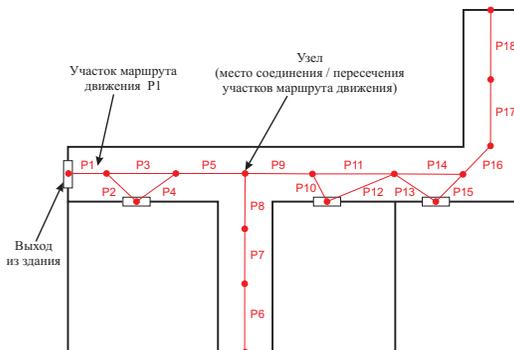


Рисунок 9.2 — Принципы разбиения этажа здания на участки маршрута движения в соответствии с [6]. P1–P18 – участки маршрута движения

Анализ подходов позволяет утверждать, что наиболее перспективным направлением является принцип, приведенный в *подходе №3*, разбиение зданий на участки маршрутов движения. В настоящее время в Российской Федерации классическим подходом для определения расчетного эвакуационного пути считается расчетная схема эвакуации (рисунок 9.3).

Приведенная схема составляется перед проведением расчетов эвакуации людей. После составления схемы, полученные участки путей эвакуации используются для определения маршрута движения и, соответствуют *подходу №3*, т.е. движение людей осуществляется по кратчайшему маршруту.

В ходе анализа было установлено, что для вычисления маршрута движения здание разбивается на небольшие участки (рисунки 9.1, 9.2). Однако применительно к задаче управления эвакуацией людей весьма затруднительно оказывать управляющее воздействие на эвакуируемых при столь малой длине участков.

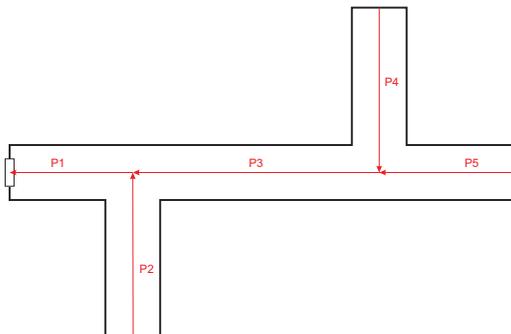


Рисунок 9.3 — Пример расчетной схемы путей эвакуации.  
P1–P5 – участки маршрута движения

Наиболее целесообразным (с точки зрения управления эвакуацией) представляется принцип разбиения здания на участки, показанный на рисунке 9.4.

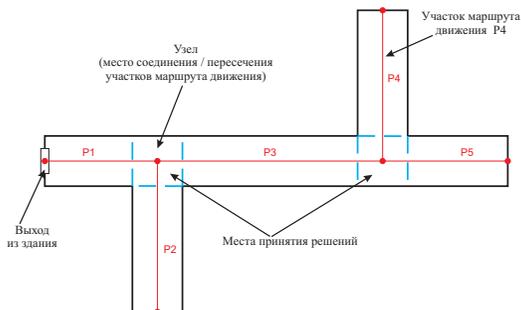


Рисунок 9.4 — Принцип разбиения этажа здания на участки маршрута движения в соответствии с предлагаемым подходом. P1–P5 – участки маршрута движения

Данный принцип заключается в следующем: сначала необходимо определить все места пересечения двух и более маршрутов движения, а также места эвакуационных выходов. Затем в местах пересечения разместить узлы и соединить их между собой. Таким образом, участок маршрута движения будет ограничен двумя соседними пересечениями маршрутов движения.

В работах [8,9] показано, что переформирование эвакуационных потоков происходит или в местах соединения двух и более эвакуационных путей или при изменении геометрических параметров путей эвакуации. Данная структура представляется наиболее оптимальной, так как не требует больших вычислительных затрат, которые неизбежны при увеличении количества участков.

Вернемся к рассмотрению другой стороны *подходов №1–3* – оптимизационного показателя. Как было рассмотрено ранее, в *подходе №3* в качестве критерия оптимизации выбрано расстояние до эвакуационного выхода. В *подходе №2* при расчете основной акцент сделан на недопущение образования скоплений высокой плотности. В *подходе №1* при расчете оптимального плана эвакуации в качестве критерия оптимизации принято время эвакуации, при этом не принимается во внимание безопасность людей при пожаре, являющаяся, по сути, основной целью создания любых систем противопожарной защиты. С первого взгляда может показаться, что это и есть основная цель процесса эвакуации – эвакуировать людей как можно быстрее. Однако достижение минимального времени эвакуации при необеспечении безопасности людей может привести к негативным последствиям.

Для разъяснения данного вывода рассмотрим время эвакуации как оптимизационный показатель. В своей основе, время эвакуации является показателем того, как протекал процесс эвакуации: при наличии определенных условий (изменение ширины эвакуационных участков, нахождение эвакуируемых в скоплениях и т.п.) время будет увеличиваться, а при отсутствии таковых – уменьшаться. Однако уменьшаться время эвакуации не может бесконечно, а только лишь до какого-то определенного уровня, достижение которого позволит говорить, что процесс эвакуации протекал равномерно, без каких либо осложнений и критических моментов. Таким образом, сокращения времени эвакуации можно добиться, в том числе и устранением (избеганием) причин и условий, которые приводят к увеличению этого времени.

Данные выводы позволяют говорить о необходимости существенного изменения подхода к организации эвакуации, с учетом выявленных недостатков и преимуществ. Эти изменения должны быть связаны с созданием динамического подхода к определению оптимальных маршрутов движения в каждый момент времени, а также с определением причин и условий, способствующих увеличению/сокращению времени эвакуации. Следовательно, при определении маршрутов движения людей при пожаре, должны быть

рассмотрены условия, характеризующие безопасность процесса эвакуации.

### Список литературы

1. Шихалев, Д.В. Системы управления эвакуацией в зданиях торгово-развлекательных центров / Д.В. Шихалев, Р.Ш. Хабибуллин // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 6. – С. 61–65.
2. Теплова, В.В. Моделирование и разработка структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений при управлении эвакуацией людей из образовательного учреждения: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Теплова Виктория Валерьевна. – К., 2012. – 125 с.
3. Егоров, А.А. Математические модели и алгоритма эвакуации людей в аварийных ситуациях в учебных заведениях: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18 / Егоров Алексей Александрович. – С., 2008. – 124 с.
4. Родичев, А.Ю. Модели и методы совершенствования системы управления эвакуацией людей из высотных зданий: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Родичев Алексей Юрьевич. – СПб, 2011. – 111 с.
5. Efficient and validated simulation of crowds for an evacuation assistant / U. Kemloh [et al.] // Computer Animation and Virtual Worlds. 2012. – Vol. 23, №1. – P. 3–15.
6. Autonomous Navigation Systems for Emergency Management in Buildings / A. Filippoupolitis [et al.] // GLOBECOM Workshops IEEE. – 2011. – pp. 1056–1061.
7. Холщевников, В. В. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.
8. Холщевников, В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: дис. ... канд. техн. наук: / Холщевников Валерий Васильевич. – М., 1969. – 251 с.
9. Холщевников, В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: дис. ... канд. техн. наук: / Холщевников Валерий Васильевич. – М., 1969. – 251 с.

### ANALYSIS OF APPROACHES FOR ROUTES DETERMINATION DURING FIRE EVACUATION

*Denis Vladimirovich Shikhalev*

The State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 129366 Russia,  
Moscow, B. Galushkina str. 4  
e-mail: *evacsystem@gmail.com*

*An analysis of approaches for routes determination during fire evacuation is conducted. Main approaches for routes determination during fire evacuation are identified. Advantages and disadvantages of it are specified. A new approach for routes determination during fire evacuation is proposed.*

**Keywords:** routes, management, evacuation, fire.

# Раздел II

## Техносферная безопасность

УДК 351.86(063)

## MATHEMATICAL SIMULATION OF EMISSION AERODYNAMICS DURING CAST IRON OVERFLOWS WITH REGARD TO NITROGEN JET

*V.V. Bodryaga, F.V. Nedopekin, V.V. Belousov, V.A. Kravets,  
J.I. Shalapko*

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture  
(Kramatorsk), Khmelnytsky National University  
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com*

*In article discusses the process liquid cast iron overflow from tank to tank.  
Also considered the study of the red fume generation process and the development  
of technological methods to reduce its emissions*

**Keywords:** liquid cast, generation of red fumes, metallurgical  
production

### Introduction

Liquid cast iron overflows from tank to tank are an indispensable link in the metallurgical production process. In particular, in the converter process cast iron overflow (10.1) from the mixer to the ladle is characterized by intensive generation of red fumes [1, 2].

In this regard, the study of the red fume generation process and the development of technological methods to reduce its emissions are of practical interest.

### Physical and chemical processes of red fume generation

Observations over the process of red fume emission during cast iron overflows indicate that dust formation occurs most intensively at the initial period of the tank filling. When the metal jet hits the lining, the amount of the formed spatter is maximum. Later, a layer of metal, which softens the blow, is formed at the bottom of the tank, the amount of spatter is reduced and, simultaneously emissions of red fume are reduced by 1.3-2.5 times. When overflow is carried out from a low altitude, when the metal jet is not dispersed, cast iron practically makes no fume at all. Obviously, dust formation is closely linked with the formation of cast iron spatter, which is integrated with the red fume generation [1, 2]. Interaction of metal spatter with oxygen of the gas phase causes red fume generation. Let us consider the process of metal droplet interaction with the oxidizing atmosphere (10.2).

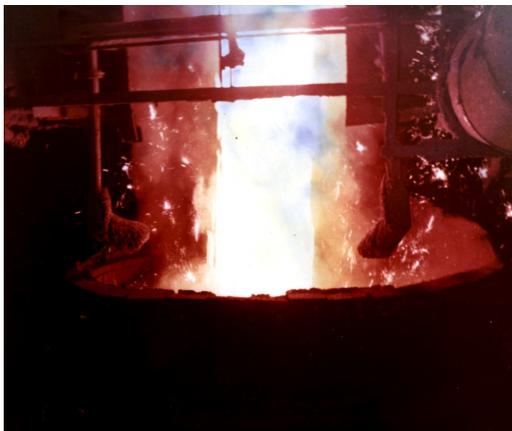


Рисунок 10.1 — Cast iron overflow from the mixer to the ladle in the mixer section of Azovstal Iron & Steel Works

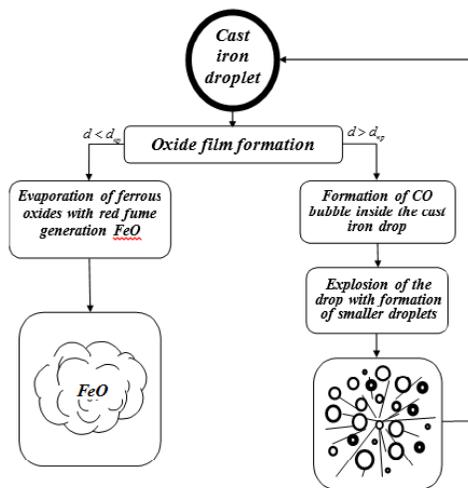


Рисунок 10.2 — Red fume generation scheme

On the surface of the drop simultaneously with burnout of the surface carbon iron oxidation reaction  $[Fe] + \frac{1}{2}O_2 = (FeO)$  will take

place, which results in the oxide layer formation on the drop surface. This conclusion is supported by the experimental data [3].

Thus, oxide film formation on the surface of cast iron drop is the first stage of the droplet interaction with the gas phase oxygen. Thickness of this film makes on average about 2mcm, moreover it is formed within a very short time (about 0.01 seconds). In this case, due to the heat of the exothermic reaction of iron oxidation, drop heating up to a temperature of about 2500°C leads to destruction of the oxide layer and complete combustion of the droplet with red fume generation.

If the droplets are heated to lower temperatures, the formed film is not destroyed and hampers the access of oxygen to the liquid metal surface. That is why, after the oxide layer formation larger droplets begin to cool and then explode as a result of carbon monoxide bubble formation inside the droplet in the course of the reaction  $(FeO) + [C] = [Fe] + CO \uparrow$ .

Critical concentration of oxygen in the gas phase, providing the oxide film formation processes and the explosion of large droplets, is substantially lower than that observed in actual conditions of metal overflow. Therefore, reducing the oxygen concentration to the value below the critical one would require considerable effort, it is technically impractical. Consequently, it is impossible to effectively influence the processes of oxidation and explosion of large droplets. However, reducing the oxygen concentration within the region of spattering, for example, by blowing neutral gas, can affect the process of oxidation of fine droplets and reduce the red fume amount [1, 2, 4].

### **Formulating the emission aerodynamics problem with regard to nitrogen jet**

A promising method for emission control is to substitute atmospheric air in the ladle with any inert gas carried out by feeding jets of this gas into the ladle cavity [5]. The efficiency of this method depends on the nature and characteristics of the aerodynamic processes developing under the influence of nitrogen jet and cast iron. The problem is solved by means of mathematical simulation. The object of the simulation is the aerodynamic flows in the ladle (100 tons), arising from the influence of the falling charging cast iron streams and nitrogen injection through the nozzles, located on the upper edge of the (10.3).

The simulation area is a cavity bounded by a contour  $A_1A_2A_3A_4$ , the system of coordinates is a cylindrical one, azimuthal components of all variables are neglected. In view of the small values of the Mach number corresponding to the specific conditions of the process, the gas compressibility is also neglected. Influence of temperature

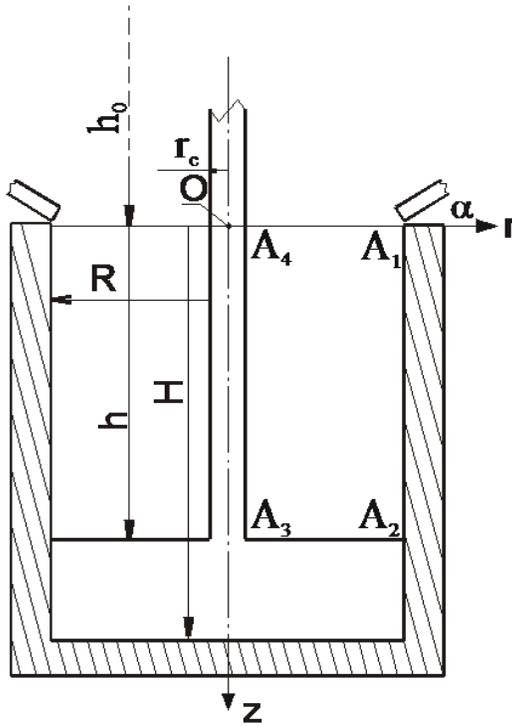


Рисунок 10.3 – Scheme of the simulated domain

inhomogeneity of the gas in the ladle cavity is not considered. The gas motion is described in the variables “vorticity” and “stream function”:

$$\omega = \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial r}, \quad (10.1)$$

$$V_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}; V_z = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r}. \quad (10.2)$$

The system of equations takes the form:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\omega}{r} \right) + V_r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\omega}{r} \right) + V_z \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\omega}{r} \right) = \frac{1}{r^3} v \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\omega}{r} \right) \right] + v \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left( \frac{\omega}{r} \right); \quad (10.3)$$

2

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -\frac{\omega}{r} \quad (10.4)$$

Vorticity transport equation (10.3) is of a conservative form regarding the variable  $\omega/r$ , which greatly increases the stability of the respective difference scheme.

The specific nature of the process is determined by a set of initial and boundary conditions for  $\omega$  and  $\psi$ , the vorticity and conditions are set in step finite-difference approximation.

The specific nature of the process is determined by a set of initial and boundary conditions, conditions for vorticity being set in the finite-difference approximation step.

We think that the process starts from the state of rest when  $\omega = \psi = 0$ .

Setting the boundary conditions along the perimeter of the cavity determines the developmental character of the aerodynamic flows generated by the charging stream.

At the sections of boundaries  $A_1A_2, A_2A_3$  и  $A_3A_4$ :

$$\psi = 0. \quad (10.5)$$

At the section  $A_1A_4$ :

$$\int_{r_c}^r 2\pi r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} dr = 0. \quad (10.6)$$

Expression (10.6) is the law of conservation of volumetric flow rate through the section  $A_1A_4$ . The implementation of this particular condition is a crucial step in the formulation of the boundary value problem, since the velocity profile rigidly predetermined on this boundary “will adjust” to itself the velocity field throughout the entire simulation domain, which would contradict the internal logic of the process development.

The condition of the free overflow of gas through the exposed surface is in agreement with the condition (10.6):

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = 0; \quad (10.7)$$

For the remaining parts of the boundary (finite-difference form) it is written as:

- on the wall of the ladle

$$\frac{\omega}{r} \Big|_{A_1 A_2} = -\frac{2}{R^2 h^2_N} \Psi_{N-1}, \quad (10.8)$$

- on the wall of the ladle

$$\frac{\omega}{r} \Big|_{A_3 A_2} = -\frac{2}{r^2 h^2_{M-1}} \Psi_{M-1}, \quad (10.9)$$

- on the surface of the charging stream

$$\frac{\omega}{r} \Big|_{A_3 A_4} = -\frac{2}{r^2_c h^2_2} \Psi_2 + V_g \frac{1}{r_c} \left( \frac{1}{r_c} + \frac{2}{h_2} \right), \quad (10.10)$$

where  $N, M$  is a number of columns and lines on the computational grid;  $h_N, h_{M-1}, h_2$  – grid steps, immediately adjacent to the ladle wall, the surface of the charged cast iron and the surface of the charging stream, respectively;  $V_g = \sqrt{2g(h_0 + z) + v_0^2}$  – cast iron stream velocity.

To take into account injection of jets it is offered to imitate their cumulative effect on the aerodynamics in the ladle as a net flow of gas across the ring surfaces that are coaxial with the charging stream, perpendicular to each other (10.4). The vertical surface forms a coaxial ring around the cast iron stream, the horizontal one is adjacent to and perpendicular to the axis OZ. The total pulse of gas at the nozzle outlet equals to the pulse of flow intersecting the vertical and horizontal rings [6, 7].

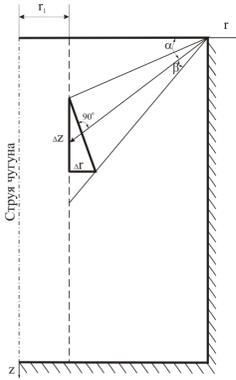


Рисунок 10.4 —  
Computational  
scheme for rings to  
imitate nitrogen feed

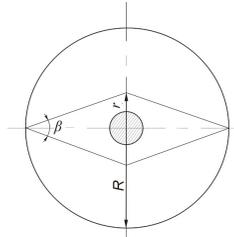


Рисунок 10.5 —  
Computational  
scheme for efficient  
mixing radius

The areas of the equivalent vertical and horizontal rings, respectively, are [6]:

$$S_1 = 2\pi r_{ef} \Delta z, \quad (10.11)$$

$$S_2 = \pi \Delta r (2r_{\text{эф}} + \Delta r), \quad (10.12)$$

where  $r_{\text{эф}}$  – efficient mixing radius of the injected counter jets, depending on the jet flow spread angle  $\alpha_1$ .

Dimensions of rings  $\Delta z$  and  $\Delta r$  are determined as:

$$\Delta z = R_0 \frac{2 \sin \alpha_1}{\sin(\alpha + \alpha_1)} \sin \alpha; \quad (10.13)$$

$$\Delta r = R_0 \frac{2 \sin \alpha_1}{\sin(\alpha + \alpha_1)} \cos \alpha. \quad (10.14)$$

Flow velocities across  $S_1$  and  $S_2$  are:

$$V = \frac{Q}{S_1 + S_2}. \quad (10.15)$$

These flows are introduced into the computational algorithm at each iteration when solving the Poisson equation by assignment of numerical values of  $\psi$  in the relevant sections  $\Delta z$  and  $\Delta r$  of the computational grid, which values in accordance with (2) yield the determined above

equivalent velocity of the jet streams. This ensures the consistency of the stream function fields.

Velocity components, as well as  $V_r$  and  $V_z$  at this formulation of the problem should now be interpreted as the average ones along the contours  $2\pi r$  for any  $z$ . The methods of alternating directions, of perturbed coefficients and sweep method were used in the numerical implementation of the model. The grid is uneven along  $r$  and  $z$ , and clustering of the grid steps was performed nearby the cast iron stream exponentially, the dimension of the grid is  $50 \times 50$ , the number of iterations being  $4 \div 15$ .

The results of the computational experiment. The computational experiment was carried out for a set of design and operation parameters corresponding to 350-ton ladle: ladle height –  $H = 6m$ ; диаметр –  $2R = 5m$ ; distance from the mixer to the ladle edge –  $h_0 = 4m$ ; average diameter of metal stream –  $2r_c = 0,5m$ ; total nitrogen flow rate –  $Q = 9000m^3/h$ . Variation interval for nitrogen jet feed angle –  $(300 \div 800)$ , jet flow spread angle –  $\alpha_1 = 12^\circ$ .

Since the near-bottom zones of the ladle are a place of the most intense red fume generation, all the computations were carried out for the initial stage of charging ( $h = H$ ). 10.3 shows the distributions of the stream function in the ladle plane with nitrogen fed depending on the nozzle angle of inclination.

Computation was made for four values of the nitrogen jet feed angle:  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ . All of the considered options are characterized by a sharp (as compared to the pure ejection process) increase in the intensity of the aerodynamic flows. The point with the maximum value of the stream function is for all options in the zone of effective interaction of counterjets, i.e. with increasing feed angle it is shifted to the ladle edge (10.6).

In general, simulations have shown that there is a critical value of nitrogen jet feed angle, which lies within the range  $(45^\circ < \alpha < 60^\circ)$  and determines the flow regime. The character of flows in two regimes has significant differences.

At  $\alpha \leq 45^\circ$  the flow structure has a simple organization – downward and return flows. Nitrogen jet penetrates deeply, but at the same time the downward flow zone expands drastically, which increases the amount of air sucked from the ladle edge. At  $\alpha > 45^\circ$  the stream segregates into two virtually autonomous processes, for  $\alpha = 60^\circ$  a toroidal vortex steadily exists in the upper half of the zone, the direction of the vortex rotation is supported by the second part of the segregated jet flow. The latter forms a vortex, flows of which are directed to the ladle edge and added to the upward ejection flow. It should be noted

that the ejection zone in this option has dimensions of the same order as in the absence of nitrogen feed.

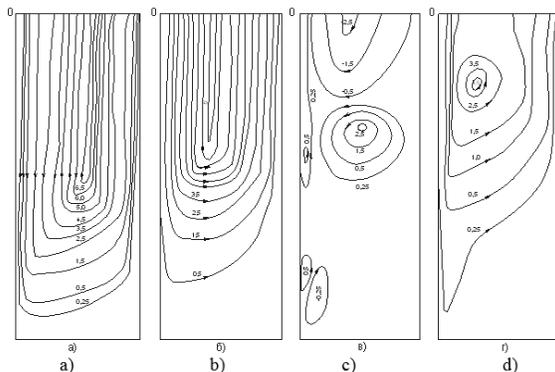


Рисунок 10.6 — Distribution of stream function in the ladle plane with nitrogen fed depending on the nozzle angle of inclination: a) 30°; b) 45°; c) 60°; d) 80°

At  $\alpha = 80^\circ$  the point of the jet flow stratification falls beyond the ladle cavity. Part of the flow, which coincides with the direction of the charging stream, once again expands the ejection zone in the upper third of the ladle cavity.

## Conclusions

1 Red fume generation is a complex multi-stage process consisting of the following stages:

- dispersion of the cast iron stream with a great amount of large spatter formed;
- interaction of the spatter with the gas phase oxygen, the formation of the oxide layer droplets on the surface;
- formation of a carbon monoxide bubble inside them on the surface of the graphite plates, and the explosion of droplets with a fine spray formed;
- interaction of this fine spray with the gas phase oxygen, their heating up to melt boiling temperature, and then intensive evaporation of iron and its oxides from the droplet surface.

- 2 A mathematical model of air ejection process during cast iron charging from the mixer to the ladle has been developed with regard to the impact of symmetrically located injected jets of neutral gas.
- 3 Impact of injected jets has been considered by setting the initial pulse inside the ladle, where the interaction of counter jets occurs.
- 4 The most suitable regime for supplying nitrogen from the nozzles at an angle  $\alpha = 60^\circ$  has been obtained, which results in formation of vortex preventing removal of emissions.
- 5 The resulting model for calculation of the gas flow distribution in the ladle cavity allows considering the design parameters such as the angle of nozzles; outflow velocity and the neutral gas flowrate.

#### **Список литературы**

1. Nedopekin F.V., Kravets V.A., Bodrjaga V.V. Heat transfer processes in cast iron spatter resulting in red fume generation. Bulletin of Donetsk State University, Series A. Natural Sciences, No.1, Iss. 2. 2002, pp.270-275.
2. Nedopekin F.V., Kravets V.A., Bodrjaga V.V. Transfer processes in the period of red fume generation during cast iron overflows. Theory and Practice of Metallurgy, No. 2(34), 2003, pp.26-31.
3. Kazakov A.A. Development of process control methods for carbon oxidation increasing efficiency of steel-making production. PhD Thesis in Engineering: 05.16.02. Donetsk: DonNIIchermet, 1986, 265 p.
4. Bilousov V. The decision of environmental problems at transfuse of metal from mixer in a ladle /V. Bilousov, V. Bodrjaga, V. Kravets, F. Nedopekin // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph / edited by Shalapko J. and Zoltowski B.; Polish Mechanical Engineers and Technicians Association. Department in Bydgoszcz – 2013. –646 p. - ISBN 978-617-70-94-07-3 – P. 107-117
5. Nedopekin F.V., Bilousov V.V., Kravets V.A., Bodrjaga V.V. Air ejection by metal jet during cast iron overflows. Metallurgical and Coal Mining Industry, 2006, №1. – c.112-113.
6. Nedopekin F.V., Bilousov V.V., Kravets V.A., Bodrjaga V.V. Consideration of nitrogen jet during simulation of emission plume during cast iron overflows. Proceedings of IV International Conference Applied Problems of Aerohydromechanics and Heat Mass Transfer: Dnepropetrovsk: DSU Press; 2012, pp. 225-227.

7. Kravets V.A., Bilousov V.V., Peterenko S.S. Impact of neutral gas feed on emission aerodynamics during ladle filling with cast iron. News of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy. 2001; No. 1: pp.59-62.

УДК 351.86(063)

## ВЕБ-СЕРВИС «БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ»

*А.М. Сивков, А.В. Радикова*

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

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

*Представлен новый сервис для прогнозирования последствий техногенных аварий. Особенность его в том, что он централизованный и удаленный от пользователя*

**Ключевые слова:** прогнозирование последствий, техногенные аварии, веб-сервис

### Введение

Развитие современного общества неизбежно сопровождается техногенным прогрессом. Наиболее важными аспектами техногенного прогресса являются модернизация и автоматизация процессов производства, усовершенствование, а вместе с тем, усложнение технологий и применение новых методов. Вследствие всего вышеперечисленного можно говорить и о росте опасностей, связанных с технологическими процессами, что приводит к существенному росту показателей рисков, а значит увеличению числа аварий и жертв от них. Таким образом, возникает проблема контроля рисков возникновения аварий, как мер опасностей. В контексте настоящей работы следует говорить о пожарном риске [1], наиболее опасном на пожаро- и взрывоопасных объектах:

Индивидуальный пожарный риск — пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара;

Социальный пожарный риск — степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

Надзорную деятельность над опасными объектами осуществляют Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) и Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). В целях осуществления контроля деятельности опасных объектов предполагается составление технической документации,

обязательность разработки которой регламентирована нормативно-правовой документацией Российской Федерации. Разработка технической документации предполагает всестороннюю оценку анализа риска аварии и связанной с нею угрозы. Расчет значений индивидуального и социального пожарных рисков в зданиях и на территории объекта, а также в селитебной зоне вблизи объекта проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения соответствующего потенциального пожарного риска [2]:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J (Q_{dj}(a) * Q_j), \quad (11.1)$$

где  $J$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (а) в результате реализации  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

$Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций,  $\text{год}^{-1}$ .

Таким образом, величина риска напрямую зависит от частоты аварии и вероятности поражения человека в случае возникновения аварийной ситуации. Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций используется статистическая информация и расчетные данные по надежности технологического оборудования. Вероятность поражения человека — это расчетная величина, зависящая от вида и степени поражения человека опасными факторами пожара или взрыва. Определение вероятности поражения человека сводится к расчету величины пробит-функции в зависимости от величины опасного фактора, воздействующего на человека [2].

В связи с этим, необходим мониторинг техногенных опасностей, а именно, прогнозирование последствий аварий, позволяющее заблаговременно оценить масштабы возможной катастрофы, и оценка рисков возникновения аварий, позволяющая оценить меры опасностей. Расчёт последствий аварий на опасных технических объектах в настоящее время выполняется на основе утверждённых нормативных документов, содержащих соответствующие формулы и описывающих условия и последовательность их применения.

Вследствие сложности расчётных методик, в большинстве случаев требуются существенные затраты труда и серьёзная концентрация внимания человека, выполняющего такой расчёт вручную. С технической точки зрения, прогнозирование последствий аварий

— это просто специфическая обработка входной информации для получения набора выходных параметров.

Современные информационные технологии позволяют централизовать и автоматизировать этот процесс, минимизировав участие в нём человека, сводя это участие лишь к небольшой работе по подготовке и отправке исходных данных через интернет в обрабатывающий центр. Уменьшение участия человека в информационном процессе, уменьшает и вероятность допустить в расчётах ошибку.

Вашему вниманию представляется такой централизованный сервис по автоматизированному прогнозированию последствий техногенных аварий. Создание такого ресурса позволит достаточно точно в краткие сроки провести расчёты, включающие в себя определение масштабов возможных аварий, а также анализ рисков возникновения этих аварий. Получаемые результаты применимы при составлении технической документации для опасных объектов (например, паспортов безопасности для потенциально опасных объектов [3], деклараций безопасности для опасных производственных объектов [4]). Потенциальные пользователи Web-сервиса прогнозирования последствий аварий – инженеры по охране труда и промышленной безопасности опасных объектов, страховщики, заинтересованные в объективной оценке мер опасностей, исходящих от опасного объекта, организации, занимающиеся ликвидацией аварий, а также компании и специалисты, разрабатывающие техническую документацию для опасных объектов.

### Назначение сервиса

Сервис представляет собой динамический сайт, расположенный по адресу <http://amsiv.bget.ru>, предназначенный для централизованного решения задач по прогнозированию последствий техногенных аварий (в основном, связанных с возгоранием и взрывом опасных веществ). Чтобы воспользоваться сервисом, пользователь должен иметь компьютер, подключённый к интернет. При этом, кроме стандартного браузера, играющего роль тонкого клиента, установка каких-либо программ на стороне пользователя не требуется. Всё необходимое программное обеспечение, необходимое для решения задач по прогнозированию, установлено на сервере. Это удобно для пользователя, так как любое обновление программного обеспечения сервиса и исправление замеченных в нём ошибок проходят без каких-либо усилий со стороны пользователя, бесплатно и незаметно для него.

## Состав сервиса

Сервис имеет модульную структуру. Его исходный код написан на языке PHP. Та часть используемой в сервисе информации, которая должна время от времени обновляться, хранится в базе данных под управлением СУБД MySQL.

Основу сервиса составляют модули решения прикладных задач для расчёта последствий техногенных аварий. На текущий момент в сервис включены модули решения следующих прикладных задач:

- взрыв топливно-воздушных смесей;
- взрыв топливно-воздушных смесей в здании;
- взрыв конденсированных взрывчатых веществ;
- взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости («Огненный шар»);
- пожар пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

В каждом модуле прикладной задачи имеется блок генерирования веб-формы для ввода исходных данных, расчётный блок и блок генерирования веб-страницы с результатами расчётов.

Помимо этих основных модулей сервис также содержит вспомогательные модули, управляющие работой пользователя на сайте:

- модуль регистрации пользователя;
- авторизации пользователя при входе на сайт;
- модуль оплаты подписки на использование сервиса;
- модуль проверки текущего состояния подписки.

## Пример решения прикладной задачи

Определим величину поражающего фактора и вероятности поражения человека в случае реализации огненного шара (явление «BLEVE»).

Огненный шар – крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара [5]. Решение задачи сводится к расчету интенсивности теплового излучения и вычислению пробит-функции в зависимости от величины поражающего фактора, согласно методике [2]:

$$P_r = -12.8 + 2.56 * \ln(t_e * q^{\frac{4}{3}}) \quad (11.2)$$

где  $t_e$  – эффективное время экспозиции, с;  
 $q$  – интенсивность теплового излучения, кВт/м<sup>2</sup>.

Используя таблицу зависимости вероятности поражения человека от пробит-функции, определяем условную вероятность поражения [2].

Входные данные: Масса  $m = 10$ , кг.

Полученные результаты: Эффективное время экспозиции  $t_e = 1.8483653876$ , сек.

Таблица 11.1 — Полученные результаты

Расстояние от источника опасности до человека, м	Интенсивность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>	Пробит-функция	Вероятность поражения человека
0,5	86.9651117687	4.01106569556	0.16000263134
1,0	86.6175571349	3.99740045088	0.15009326795
1,5	86.0444101588	3.97474508783	0.15003677079
2,0	85.2545856043	3.94327637333	0.14005877872
2,5	84.2600801106	3.90323536532	0.13008478409
3,0	83.0755295744	3.85492141058	0.12009023620
3,5	81.7176939946	3.79868497653	0.11007509156
4,0	80.2049019756	3.73491966093	0.10003957469
4,5	78.5564867074	3.66405373645	0.09001089714
5,0	76.7922422075	3.58654157449	0.07018535257
5,5	74.931923607	3.50285525939	0.06015015698
6,0	72.994809101	3.41347665582	0.05015500479
6,5	70.999334663	3.31889013455	0.04020503016
7,0	68.9628064394	3.21957610156	0.03030638800
7,5	66.901190391	3.11600541714	0.02053206864
8,0	64.8289745297	3.00863473918	0.02018793185
8,5	62.7590961179	2.89790278095	0.01077255179
9,0	60.7029243996	2.78422743905	0.01038721165
9,5	58.670288673	2.66800372233	0.0

## Заключение

В настоящее время сервис проходит процедуру технологического тестирования и отладки. В период тестирования доступ к сервису бесплатный. В ближайшем будущем планируется расширить функционал сервиса за счёт добавления новых модулей решения прикладных задач (задач прогнозирования).

## Список литературы

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин».

- пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17.08.2009 N 14541).
3. Приказ МЧС РФ от 04.11.2004 N 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22.12.2004 N 6218).
  4. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
  5. «ГОСТ Р 12.3.047-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» (утв. и введены в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 1971-ст)

### WEB SERVICE «Safety in Technosphere»

*Anatoly Michailovich Sivkov, Anna Vladimirovna Radikova*  
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [amsiv@mail.ru](mailto:amsiv@mail.ru)

*A new service for predicting the effects of man-made accidents. Its feature is that it is centralized and remote from the user.*

**Keywords:** predict consequences, technological accidents, web service

УДК 351.86(063)

## ОНЛАЙН - ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА АВАРИИ

*В.О. Анашин*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: *anashin2111@gmail.com*

*В статье рассматривается возможность создания картографического сервиса с графической информацией об техногенном риске. Рассмотрены наиболее важные составные части.*

**Ключевые слова:** Ключевые слова: картографический сервис, онлайн, расчет рисков, техногенный риск.

В настоящее время происходит плотная застройка городов, открывается множество предприятий, использующих опасные вещества. Для мониторинга таких предприятий разрабатываются паспорта безопасности, ПЛАРНЫ, декларации пожарной безопасности и другие документы. Но данные документы рассматривают уровни риска на территории опасного объекта и прилегающих территориях. Для дальнейшего развития, и создания новых производств на территории района, города необходимо выбрать расположение объекта, с учетом возможных аварий и их последствий (гибель людей и ценные реакции аварий). Поэтому необходимо разработать систему для ранжирования территорий по уровню техногенного риска.

Подобные карты имеются у уполномоченных лиц, но их нет в свободном доступе. Имеются карты различного рода рисков в масштабах федерации, округов, республик. Которые не дают полной информации о возможности поражения, нанесения вреда здоровью или гибели человека и других последствий. Имеются платформенные базы данных прикрепленные к ГИС системам, но их цена оставляет желать лучшего (ArcGIS, MapInfo и др.).

Для создания Online-ресурса с информацией о техногенном риске на территории города, района, села можно использовать Яндекс-карты, Google map, Openstreetmap так как у этих систем уже имеются инструменты для разработчиков карт и API систем находятся в открытом доступе.

Выбор картографического сервиса пал на Яндекс-карты [1]. По данному картографическому сервису имеется большое количество информации, примеров их работы, удобный интерфейс. Следующим шагом необходимо выбрать и создать базу данных опасных

объектов, рассматриваемой территории. В базе должна храниться информация об объекте: название объекта, координаты объекта, тип опасного вещества, количество опасного вещества, сценарий аварии (обычно самый опасный сценарий) для расчетов.

Необходимо создать систему для выполнения расчета техногенного риска и его графического отображения на картографический сервис. Система работает на виртуальной сетке, с размерами взятых из анализа базы данных о расположении объектов. Далее система на созданной сетке по информации об объекте (координаты, вещество и его количество, сценарий аварии), взятой из базы данных, производит расчеты вероятности возникновения аварии в определенной области сетки. Вероятности всех аварий суммируются в точках расчета и система производит отбор значений вероятностей соответствующих определенному уровню риска. По выбранным значениям происходит построение областей с заданным уровнем риска.

Каждый разработчик создаст такую систему на удобном ему языке программирования, но Яндекс API использует JavaScript, html, XML. Программу необходимо приспособлять под эти языки.

Такой сервис будет полезен во многих сферах:

- Прогнозирование обстановки;
- Оценка страховых рисков;
- Выбор жилья, сада, школы и тд;
- Интерес жителей об опасности своего района.

Нанесение уровней риска на карту будет происходить автоматически для этого необходимо ввести данные об объекте в базу данных и программа выводит графическую информацию самостоятельно.

Коротко о расчетах, производимых системой. Первым шагом будет заполнение базы данных о потенциально опасных объектах (объектов). По информации об расположении объектов задается поле для расчетов, условно – сетка. Следующим шагом программа выбирает объект, авария на котором будет приведет к наиболее опасным последствиям, т.е. с наибольшим радиусов поражения. Для каждого объекта производится расчет радиуса поражения [3], по заданному сценарию, в области полученного наибольшего радиуса поражения (для экономии времени и памяти). Получившиеся значения для каждой ячейки суммируются и сравнивая их с эталонным значением гибели людей или вероятностью их поражения [2], формируется полигон координат. Конечным этапом

является отображение мест расположения объектов, полигонов на картографической системе.

### Список литературы

1. API карт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tech.yandex.ru/maps>, свободный (дата обращения: 25.03.2016).
2. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. С. 368.
3. Приказ Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методик определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

### ONLINE - INFORMATION SYSTEM ESTIMATION OF TECHNOGENIC RISK OF ACCIDENTS.

*Anashin Vyacheslav Olegovich*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *anashin2111@gmail.com*

*The article discusses the possibility of creating a map service with graphic information on technological risks. The most significant components.*

**Keywords:** mapping service, online payment risks, technological risks.

УДК 614.84

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА В АДМИНИСТРАТИВНО-ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

*Д.М. Варламова*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: *dina@rintd.ru*

*В статье обсуждается проблема снижения частоты возникновения пожаров в административно-общественных зданиях. Рассмотрен один из методов системного анализа – декомпозиция для решения данной проблемы, представлено «дерево целей», выделены основные факторы, влияющие на частоту возникновения пожара.*

**Ключевые слова:** частота возникновения пожара, декомпозиция, причины возникновения пожара, «дерево целей» по снижению частоты возникновения пожара

Снижение частоты возникающих пожаров является главной задачей для любого объекта. Рассмотрим количество возникающих пожаров на примере административно-общественных зданий. Согласно статистике за январь-сентябрь 2015 года в административно-общественных зданиях произошло 2055 пожаров, материальный ущерб составил 567934 тыс. рублей [1]. Сравнив значения с количеством пожаров и материальным ущербом за такой же период в 2013-2014 годах, есть снижение и по количеству возникновения пожаров, и по материальному ущербу [2, 3]. Но проблема остается актуальной.

Рассмотрим один из способов системного анализа – декомпозицию – для структуризации и решения данной проблемы. Декомпозиция – операция разложения целого на части, то есть цель должна быть представлена в виде последовательности подцелей, задач, функций, операций, выполнение которых ведет к достижению глобальной цели системного исследования [4].

Основную цель — снижение частоты возникновения пожара можно разделить на подцели — снижение источников возникновения пожара и увеличение расходов на противопожарные мероприятия. К источникам пожара в административно-общественных зданиях относятся неисправное электрооборудование, поджоги, несоблюдение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ. К противопожарным мероприятиям относятся установка противопожарной сигнализации, системы опове-

щения, системы автоматического пожаротушения. Таким образом, подцели 1 уровня делятся на подцели второго уровня [рисунок 13.1].

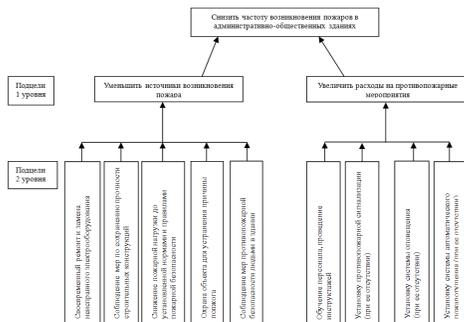


Рисунок 13.1 — «Дерево целей» по снижению частоты возникновения пожаров в административно-общественных зданиях.

Основная цель рассмотрена в виде двухуровневой системы подцелей решения данной проблемы. Исходя из представленного «дерева целей», можно выделить факторы, влияющие на частоту возникновения пожара. Факторы определяются на основе подцелей 2-го уровня, относящиеся к снижению источников пожара: износ здания (электропроводка, отопительное оборудование), огнестойкость строительных конструкций здания (под огнестойкостью строительных конструкций понимается способность конструктивных элементов зданий сохранять прочность в условиях пожара), человеческий фактор, также следует отнести климатический фактор. Влияние климатического фактора на обстановку с пожарами рассмотрено в статье [5].

Таким образом, «дерево целей» позволяет выделить основные подцели и определить факторы, влияющие на частоту возникновения пожара.

### Список литературы

1. Статистика пожаров в 2015 году [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2015\\_god](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2015_god), свободный (21.03.2016).
2. Статистика пожаров в 2014 году [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

- [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2014\\_god](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2014_god), свободный (21.03.2016).
3. Статистика пожаров в 2013 году [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2013\\_god](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2013_god), свободный (21.03.2016).
  4. Антонов А.В. Системный анализ. Учеб. для вузов / А.В. Антонов. М.: Высш. шк. 2004. 454 С.: ил.
  5. Алешков М.В., Двоенко О.В. Влияние климатических факторов на оперативную обстановку с крупными пожарами // Материалы 21-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2012». М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. С. 161-163. <http://ipb.mos.ru/sb/2012/section-2>.

### DECOMPOSITION RATE OF FIRE IN THE ADMINISTRATIVE AND PUBLIC BUILDINGS

*Dina Michailovna Varlamova*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [dina@rintd.ru](mailto:dina@rintd.ru)

*The article discusses the problem of reducing the incidence of fires in the administrative and public buildings. Considered one of the methods of system analysis - decomposition to solve the problem, represented by «tree of objectives», identified the main factors that affect the rate of fire.*

**Keywords:** rate of fire, decomposition, the cause of the fire, «tree of objectives» to reduce the incidence of fire

УДК 504.062.2

## АНАЛИЗ РИСКОВ АДАПТАЦИИ НА ДОНБАССЕ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

*В.Ф. Недопекин, Н.С. Шестакин*

Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

e-mail: *f.nedopekin@gmail.com, n.shestavin@mail.ru*

*В работе анализируются экологические риски утечек  $CO_2$  в процессах адаптации технологий улавливания, транспортировки и геологического хранения диоксида углерода на предприятиях энергетического и промышленного секторов экономики восточных областей Украины. Созданы географические информационные системы этих областей со слоями источников эмиссии  $CO_2$ , газотранспортной системы и геологических структур, пригодных для хранения сверхкритического  $CO_2$ . Выполнено ранжирование кластеров источников эмиссии  $CO_2$  и перспективных участков для геологического хранения  $CO_2$ . Оценено влияние утечек  $CO_2$  из геологических хранилищ на окружающую природную среду.*

**Ключевые слова:** экологические риски, географические информационные системы, улавливание  $CO_2$ , транспортировка  $CO_2$ , хранение  $CO_2$ , утечка  $CO_2$ .

### Введение

Глобальное изменение климата сейчас уже стало неоспоримой угрозой для мирового развития, а главным виновником этих изменений признаны выбросы парниковых газов в атмосферу и, в первую очередь, эмиссия диоксида углерода ( $CO_2$ ) из стационарных источников. Внедрение технологий улавливания и хранения углерода (УХУ) в энергетике и в других отраслях промышленности позволит временно смягчить последствия изменения климата до разработки благоприятных для климата источников энергии [1]

Но при использовании технологий УХУ возникают риски утечки  $CO_2$ , которые могут оказывать неблагоприятное влияние на человека и окружающую природную среду.

Оценка и ранжирование этих экологических рисков утечки  $CO_2$  при внедрении Технологий УХУ в восточных областях Украины является целью этого исследования, которое состоит в выполнении следующих задач:

– создание географической информационной системы (ГИС) объектов с риском утечки  $CO_2$ : источников  $CO_2$ , возможных путей транспортировки и перспективных участков геологического хранения  $CO_2$ , а также субъектов с риском воздействия утечек  $CO_2$ : водных ресурсов, различных типов почвы и видов растительности;

– разработка методов анализа экологических рисков утечки  $CO_2$  при адаптации технологий УХУ с учетом географических, демографических и экологических факторов;

– выполнение, на основе созданной ГИС, ранжирования объектов и субъектов рисков утечки  $CO_2$  при различных вариантах реализации процессов адаптации технологий УХУ в восточных областях Украины.

Необходимые для проведения этого исследования ГИС созданы на базе Интернет-сервиса Google Earth Pro, где построены слои как объектов, так и субъектов риска утечки  $CO_2$ . Итоговый рейтинг экологической безопасности перспективных участков геологического хранения  $CO_2$  был определен посредством метода Мультикритериального анализа (Multi-Criteria Analysis – MCA) на основании данных созданной многослойной ГИС.

Созданная ГИС (рисунок 14.1) содержит слой источников эмиссии  $CO_2$ , которые расположены на территории Днепропетровской, Донецкой, Запорожской, Луганской и Харьковской областей и представлены 12 угольными тепловыми электростанциями (1), 13 металлургическими заводами (2), 14 коксохимическими заводами (3), 1 газовой теплоэлектроцентралью (4), 3 химическими заводами (5), 8 цементными заводами (6) и 39 действующими угольными шахтами (7), а также слой с элементами существующей на территории этих областей газотранспортной системы, которые могут быть использованы для транспортировки  $CO_2$  и содержат магистральные газопроводы (8), распределительные газопроводы (9), компрессорные станции (10) и подземные газовые хранилища (11). Анализ геологических структур [2] этих территорий с учетом демографических факторов позволил дополнить ГИС слоем из 8 перспективных участков (12-19) геологического хранения сверхкритического  $CO_2$ . Все вместе эти слои ГИС являются объектами риска для территорий Донбасса в соответствии с международной методикой управления рисками [3].

Возможные утечки  $CO_2$  в процессах улавливания и транспортировки будут носить характер аварийной ситуации, поэтому должны быстро идентифицироваться и устраняться. А вот утечки из подземных хранилищ сверхкритического  $CO_2$  являются непред-

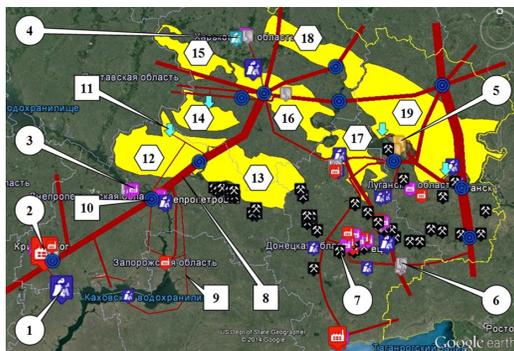


Рисунок 14.1 — географическая информационная система (ГИС) объектов с риском утечки  $CO_2$

сказуемыми и сложными в обнаружении. В связи с этим участки, на которых будут располагаться подземные хранилища  $CO_2$ , имеют риски негативного воздействия на человека и окружающую природную среду. Определив площади этих хранилищ, дистанции между различными объектами и принимая во внимание географические и демографические характеристики территорий с помощью метода МСА было произведено ранжирование рисков утечки  $CO_2$  в процессах улавливания на предприятиях кластеров источников эмиссии  $CO_2$ , а также в процессах геологического хранения  $CO_2$  на перспективных участках, с учетом протяженности используемых для транспортировки  $CO_2$  трубопроводов как существующих в газотранспортной системе, так и новых, которые необходимо построить.

В результате анализа был определен следующий рейтинг кластеров источников эмиссии  $CO_2$ : 1 место занял Славянский кластер с объемом эмиссии  $CO_2 = 5.722$  Мт в год; 2 – Криворожский = 23.576; 3 – Северодонецкий = 4.030; 4 – Луганский = 5.321; 5 – Донецкий = 17.930; 6 – Мариупольский = 14.927; 7 – Запорожский = 5.673; 8 – Харьковский = 10.782; 9 – Углегорский = 2.694; 10 – Днепропетровский = 5.508. При этом учитывались: объем эмиссии  $CO_2$  в год; количество предприятий с улавливанием  $CO_2$ ; длина дополнительных трубопроводов для  $CO_2$ ; расстояние от кластера до ближайшего участка хранения  $CO_2$ .

Также был определен рейтинг перспективных участков геологического хранения  $CO_2$ : 1 место занял участок под номером 19 на рисунке 14.1 с полезной площадью = 10522 км<sup>2</sup>; 2 – участок 14 =

2336; 3 – участок 13 = 4749; 4 – участок 12 = 4490; 5 – участок 15 = 1808; 6 – участок 17 = 3661; 7 – участок 18 = 2626; 8 – участок 16 = 3693. Основными параметрами для анализа были: площадь участка; количество человек, проживающих на участке; средняя плотность населения на участке; численность населения крупных населенных пунктов, расположенных вблизи участка.

Влияние возможных утечек  $CO_2$  на окружающую природную среду было проанализировано на основе созданных дополнительных слоев ГИС, которые включали в себя информацию о следующих субъектах риска воздействия утечек  $CO_2$  из хранилищ:

- поверхностные воды (рисунок 14.2), где 34,1 % площади бассейна реки Северский Донец (1), а также 17,8 % – бассейна реки Днепр (2), занимают участки геологического хранения  $CO_2$  и могут быть подвергнуты воздействию утечек  $CO_2$ ;



Рисунок 14.2 – Поверхностные воды

- подземные воды (рисунок 14.3), где 42,7 % площади Днепровско-Донецкого артезианского бассейна (1) совпадают с участками хранения  $CO_2$ , 18,1 % – Донецкой провинции (2) и 5,1 % – провинции Украинского щита (3) могут оказаться под влиянием утечек  $CO_2$ ;
- поверхностный слой почвы (рисунок 14.4), где 73,6 % площади дерново-песчаных почв (1), 69,5 % – темно-серых оподзоленных почв (2), 55,0 % – луговых почв (3), 47,4 % – дерново-подзолистых почв (4), 22,8 % – черноземов типичных (5) и 20,4 % – черноземов обычных (6) находятся в зоне возможных утечек  $CO_2$ ;

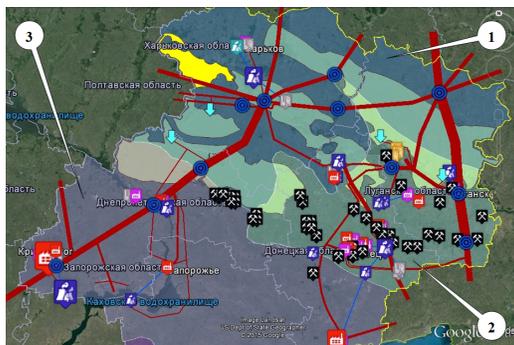


Рисунок 14.3 — подземные воды

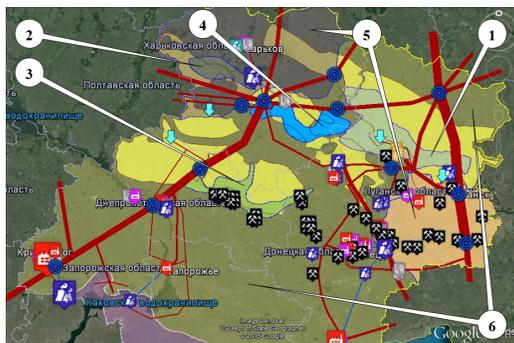


Рисунок 14.4 — поверхностный слой почвы

- растительность (рисунок 14.5), где 56,3 % площади северо-степных низменно-равнинных (1), 48,7 % – северо-степных равнинно-возвышенных (2), 28,8 % – лесостепных возвышенных и склоновых расчлененных (3), 24,8 % – лесо- и лугостепных возвышенных расчлененных (4), 11,4 % – северо-степных возвышенных (5) и 1,0 % – северо-степных возвышенно-равнинные ландшафтов, на которой находятся участки возможных утечек  $CO_2$ , приводящих к изменению концентрации  $CO_2$  в приземной атмосфере и почве;
- растительность заповей (рисунок 14.6), где 47,0 % площади заповей бассейна реки Северский Донец (1) и 18,8 % – бассейна реки Днепр (2) приходится на участки хранения  $CO_2$ .

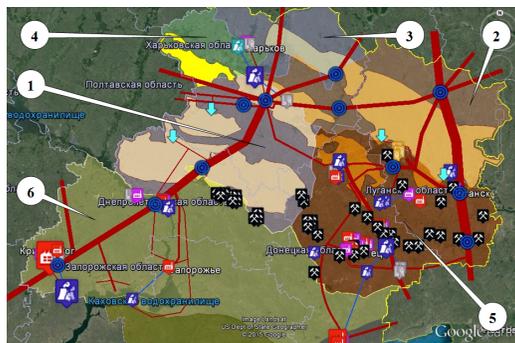


Рисунок 14.5 — растительность

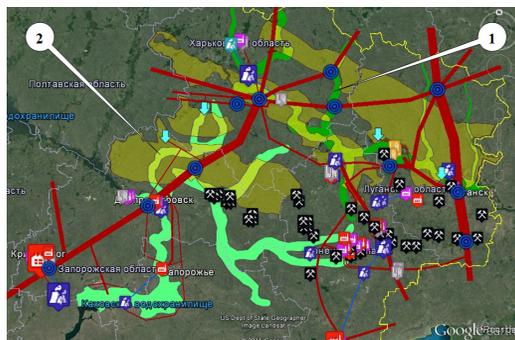


Рисунок 14.6 — растительность заповей

## Вывод

Выполненное исследование обосновало возможность использования технологий УХУ на предприятиях и территориях Донбасса с условием соблюдения необходимых мер безопасности для обеспечения смягчения последствий глобальных изменений климата.

## Список литературы

1. Специальный доклад МГЭИК: Улавливание и хранение двуокиси углерода – Резюме для лиц, определяющих политику и Техническое резюме / Ред.: Берг Метц и др. – МГЭИК, 2005, 66 с.

2. Низко-углеродные возможности для промышленных регионов Украины: монография / Н.С. Шестакин, Ф.В. Недопекин, В.В. Осетров, В.В. Юрченко. – Дружковка: Юго-Восток, 2015, 239 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011: Менеджмент риска – Методы оценки риска (ISO/IEC 31010:2009 – Risk management – Risk assessment techniques). – Москва: Стандартинформ, 2012, 74 с.

### **RISK ANALYSIS ADAPTATION OF THE DONBASS TECHNOLOGY CARBON DIOXIDE CAPTURE AND STORAGE**

*Fedon Viktorovich Nedopekin, Nikolay Stepanovich Shestavin*  
Donetsk National University, 83000 Donetsk, Ukraine, Universitetska Str., 24  
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com, n.shestavin@mail.ru*

*The paper analyzes the environmental risks of CO<sub>2</sub> leakage in the process of adaptation technologies of carbon dioxide capture, transport and geological storage at power plants and industrial sectors of the eastern regions of Ukraine's economy. Created geographic information systems of these areas with layers of CO<sub>2</sub> emission sources, gas transmission systems and geological structures suitable for CO<sub>2</sub> storage. Achieved ranking clusters sources of CO<sub>2</sub> emissions and promising sites for the geological storage of CO<sub>2</sub>. The effect of CO<sub>2</sub> leakage from geological storage on the environment.*

**Keywords:** environmental risks; geographic information systems; CO<sub>2</sub> capture; CO<sub>2</sub> transport; CO<sub>2</sub> storage; CO<sub>2</sub> leakage.

УДК 614.84, 532.542.4

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ  
КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОЖАРОВ И  
ЗАТОПЛЕНИЙ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ПУТЁМ  
ПРИМЕНЕНИЯ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ  
КОМПОЗИЦИЙ**

*А.П. Симошенко, В.В. Белоусов, Н.А. Дмитренко,  
Ф.В. Недопёкин*

Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина  
e-mail: [zap.nikita@gmail.com](mailto:zap.nikita@gmail.com)

*В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности работы в чрезвычайных ситуациях централизованных и мобильных установок водяного пожаротушения и аварийного откачивания воды путём снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения (ГСТТ) жидкостей в напорных трубопроводах добавками гидродинамически-активных водорастворимых полимерных композиций (ВПК) на основе высокомолекулярных полимеров (ВП) – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА).*

**Ключевые слова:** полимерные композиции, снижение гидравлических потерь, напорные трубопроводы, водяное пожаротушение, аварийное водоотведение

### **Состояние проблемы**

Анализ результатов работы оперативных подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям, полученных при ликвидации последствий природных стихийных бедствий и крупномасштабных техногенных аварий, показал, что используемые для этих целей технические средства и применяемые технологии имеют ряд недостатков. Прежде всего, это относится к тушению крупномасштабных пожаров централизованными и мобильными установками водяного пожаротушения, а также к оборудованию по предупреждению и ликвидации последствий затопления территорий жилых массивов и промышленных предприятий сточными водами. Основной причиной низкой эффективности использования таких систем пожаротушения и аварийного водоотведения являются большие гидравлические потери в напорных трубопроводах подачи к очагу пожара огнетушащих жидкостей и отвода сточных вод из мест затопления.

Важным резервом увеличения пропускной способности протяжённых трубопроводов является использование явления снижения ГСТТ перекачиваемых жидкостей микродобавками ВП с линейной структурой макромолекул, например, ПЭО и ПАА.

Расход (подача) огнегасящих жидкостей и сточных вод по напорному трубопроводу, согласно формуле Дарси–Вейсбаха [1], определяется потерями напора на трение

$\Delta H = \lambda(L/d)(V^2/2g)$  и мощностью насосно-силовых установок, которая затрачивается на преодоление сопротивления турбулентного трения и транспортировку жидкости  $N = \lambda Q^3 d^5 L$ .

Здесь  $\lambda$  – коэффициент гидродинамического сопротивления трения,  $g$  – ускорение свободного падения,  $L$  и  $d$ – длина и внутренний диаметр трубопровода,  $V$  и  $Q = V\pi d^2/4$  – средняя скорость движения и объёмный расход подаваемой по трубопроводу жидкости.

Величина эффекта снижения ГСТТ ( $\Delta\lambda/\lambda, \%$ ) обычно определяется как отношение разницы коэффициентов гидродинамического сопротивления турбулентного трения для растворителя  $\lambda_0$  и полимерного раствора  $\lambda_p$  к коэффициенту  $\lambda_0$ , умноженному на 100%, при равных числах Рейнольдса.

Наибольшей эффективностью снижать ГСТТ, при малых концентрациях в водных растворах, обладают высокомолекулярные синтетические полимеры – ПЭО и ПАА. Так, например, слабokonцентрированные водные растворы ПЭО и ПАА (при содержании в растворе 5·10<sup>-5</sup>... 5·10<sup>-2</sup>) обладают снижением ГСТТ в напорных трубопроводах промышленных диаметров на 50...80% (по сравнению с чистой водой). Это открывает, при такой величине эффекта снижения, перспективы повышения эффективности работы различных гидравлических систем по одному из показателей: либо увеличить длину прямолинейных участков трубопроводов в 2,0...5,0 раз, либо уменьшить внутренний диаметр труб на 13,0...28,0%, либо увеличить расход жидкостей в 1,41...2,24 раза, либо уменьшить затрачиваемую насосами полезную мощность на 50,0...80,0%.

Многочисленные попытки отечественных и зарубежных исследователей, которые были предприняты с целью использования для снижения ГСТТ заранее приготовленных растворов ПЭО и ПАА желаемого результата не дали. Прежде всего это связано с длительностью приготовления из порошкообразных полимеров растворов требуемых концентраций. Длительность (около суток) процесса приготовления таких растворов по классической схеме обусловлена низкой скоростью набухания твёрдых частиц ПЭО и

ПАА, образованием труднорастворимого геля и необходимостью его последующего дорастворения при перемешивании, что требует специального оборудования. Кроме этого следует отметить, что процесс приготовления полимерных растворов по такой схеме сопровождается механической и окислительной деструкцией макромолекул полимера, которые уменьшают их гидродинамическую эффективность.

В связи с вышеизложенным в последние годы интенсивно проводятся исследования по созданию различных водорастворимых полимерных композиций (ВПК) и генераторов приготовления из них растворов. При этом особое внимание уделяется увеличению скорости растворения полимеров и сохранению ими исходной (первоначальной) молекулярной массы.

### **Цель работы**

Цель настоящей работы – показать возможность повышения эффективности защиты от крупномасштабных пожаров и затоплений сточными водами путём применения гидродинамически-активных полимерных композиций, растворы которых характеризуются сниженным ГСТТ в напорных трубопроводах.

### **Результаты проведённых исследований**

К одним из первых публикаций, посвящённых применению ВПК на основе ПЭО и ПАА для решения проблем техногенной безопасности и энергосбережения, относятся монографии [2], [3], а также ряд научных статей, опубликованных сотрудниками Донецкого национального университета (ДонНУ), основной перечень которых приведён в [4]. Проведённые авторами этих публикаций комплексные физико-химические и гидродинамические исследования, а также технологические разработки позволили создать на основе высокомолекулярных ПЭО и ПАА ряд высокоэффективных ВПК для использования в гидравлических системах различного назначения.

В таблице (15.1) приведены наименования, условные обозначения, оптимальное содержание гидродинамически-активных полимеров, а также рекомендуемые объекты и гидравлические системы (ГС) для применения известных и разработанных в ДонНУ ВПК, водные растворы которых характеризуются сниженным ГСТТ.

Многочисленные комплексные исследования авторов показали неоспоримое преимущество применения ВПК для снижения ГСТТ

Таблица 15.1 — Композиции на основе ПЭО и ПАА для снижения ГСТТ в напорных трубопроводах.

№ п/п	Наименование композиции	Условное обозначение	Содержание полимера, вес. %	Рекомендуемые ГС для применения
<b>Жидкие водорастворимые полимерные композиции (ЖВПК)</b>				
1	Равноплотные тонкодисперсные, полимерные суспензии и пасты	РТПС ТПП	до 15,0 до 34,0	Стационарные объекты, Централизованные системы,
2.	Жидкие композиции с повышенным, полимеро содержанием	ЖКПП	35,0–60,0	Автономные объекты. Централизованные системы
<b>Флоковые покрытия (ФП)</b>				
3	Флоковые покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями (ВПН)	ФП (ВПН)	25,0–30,0	Мобильные установки
<b>Твёрдые водорастворимые полимерные покрытия (ТВПП)</b>				
4	Ультра-слабые полимерные покрытия, полученные нанесением лакокрасочных материалов (ЛКМ) и нагреванием полимерных суспензий (НПС)	УПП(ЛКМ) УПП(НПС)	30,0–65,0 30,0–60,0	Автономные объекты, Мобильные установки
<b>Полимерные водорастворимые брикеты (ПВБ)</b>				
5	Твёрдые водорастворимые полимерные брикеты, приготовленные путём холодного прессования тонкодисперсного полимерного порошка и наполнителя	ТВПБ	90,0–95,0	Автономные объекты, Централизованные системы

в различных ГС при условии выполнения требований по их приготовлению, хранению и оптимальному использованию [3].

Так, например, ЖВПК могут эффективно использоваться для экспресс-приготовления маточных однородных растворов ПЭО и ПАА в низкооборотных мешалках (исключение механической деструкции) с обязательным введением в растворяющую полимер воду специальных химических веществ – антиоксидантов, которые замедляют окислительную деструкцию полимерных макромолекул. Эффективность ПЭО и ПАА будет значительно выше, если процесс приготовления растворов будет проводиться без доступа кислорода из воздуха за счёт вытеснения последнего из мешалок инертным газом. Такие однородные растворы, а также ЖВПК (суспензии и пасты) с применением генераторов приготовления растворов были успешно испытаны на участке трубопровода шахтной противопожарной системы.

Флоковые покрытия с водорастворимыми гидродинамически-активными наполнителями и ультра-слабые полимерные покрытия, которые предварительно наносятся на армирующие вставки проточных кассет, предназначены для применения в мобильных установках пожаротушения и аварийного откачивания сточных вод.

Полимерные брикеты, которые приготавливают путём холодного прессования тонкодисперсных полимерных порошков и специальных наполнителей, а также ЖВПК с повышенным полимеросодержанием целесообразно применять на автономных объектах пожаротушения (пожарные катера, самолёты, вертолёты и т.п.). При этом необходимо предварительно определить какое из преимуществ следует использовать в каждом конкретном случае. Так, например, при тушении лесных пожаров целесообразно за счёт добавок улучшать огнетушащие свойства воды, а при тушении крупномасштабных пожаров в труднодоступных местах — увеличить подачу огнетушащих жидкостей в очаг пожара и дальнобойность струй.

## **Заключение**

Применение гидродинамически-активных полимерных композиций на основе ПЭО и ПАА, водные растворы которых характеризуются сниженным ГСТТ в напорных трубопроводах, является важным резервом повышения эффективности защиты от крупномасштабных пожаров и затоплений жилых массивов и промышленных предприятий сточными водами.

**Список литературы**

1. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. М.–Л.: изд-во "Машиностроение" – 1964. – 508 с.
2. Ступин А.Б. Гидродинамически-активные полимерные композиции в энергосбережении и экологии. Монография. /А.Б. Ступин, А.П. Симоненко, П.В. Асланов // Донецк: ДонНУ, – 1999. – 230 с.
3. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности. Монография / Под общ. ред. А.Б. Ступина, Донецк: ДонНУ, – 2010. – 530 с.
4. Симоненко А.П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения: автореф. дис. д-ра техн.наук. Донецк. 2013. – 44 с.

**INCREASING THE EFFECTIVENESS OF PROTECTION  
FROM LARGE-SCALE FIRES AND FLOODING  
WASTEWATER BY APPLYING  
HYDRODYNAMICALLY-ACTIVE COMPOSITIONS**

*Senior Scientist DSc. Simonenko Alexander Petrovitch, Prof. DSc. Belousov Vyacheslav Vladimiro-vich, researcher Dmitrenko Nikita Alexandrovich, Prof. DSc. Nedopekin Fedor Viktorovich*  
Donetsk National University, Department of physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology, 283001, Donetsk, Universitetskaya, 24  
e-mail: [zan.nikita@gmail.com](mailto:zan.nikita@gmail.com)

*The article deals with improving the efficiency of emergency centralized and mobile installations fire extinguishing and emergency pumping of water by reducing the flow resistance of turbulent friction of liquids in full pipes additives hydrodynamically-active water-soluble polymer compositions on the basis of high molecular weight polymers – polyethylene oxide and polyacrylamide.*

**Keywords:** polymer composition; reduction of hydraulic losses; pressure pipelines; fire extinguishing; Emergency drainage.

УДК 351.86(063)

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦ

*С.Г. Светушенко*

«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» г. Владимир, Россия

e-mail: [svetushenko@yandex.ru](mailto:svetushenko@yandex.ru)

*И.Е. Зотов*

«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» г. Владимир, Россия

e-mail: [iliya\\_zot@mail.ru](mailto:iliya_zot@mail.ru)

*Предлагается универсальный способ расчета пожарного риска, основанный на построении матриц, из которых получают поля рисков, накладываемые на планировку территорий объектов.*

**Ключевые слова:** расчет пожарного риска, поля рисков, построение матриц

В настоящее время существующие способы и методы расчетов пожарного риска затруднены и осложнены многочисленными расчетами величин опасных факторов пожара. Для упрощения способов расчета пожарного риска производственных объектов предлагается универсальный способ расчета, основанный на матричном способе представления территории объекта (площади). Матрицы представляет собой математический объект, записываемый в виде прямоугольной таблицы элементов поля, которая представляет собой совокупность строк и столбцов, на пересечении которых находятся её элементы. Количество строк и столбцов матрицы задает размер матрицы. Программа Mathcad и аналогичные программы математического расчета позволяют визуально представить матрицы и построить, таким образом, поля риска на территории объекта. При этом вероятности присутствия работников (людей) на территории объекта учитываются в каждой клетке матрицы. Клетка матрицы принимается как ограниченный участок территории объекта, условно разбитый на размерность 1 м или иную площадь (пункт 6 приложения 5 [1], через площадь горизонтальной проекции человека м.кв/чел).

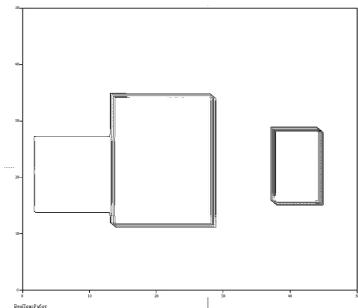


Рисунок 16.1 — Поле присутствия работника на АЗС (вероятность присутствия на определенной территории)

Программа Mathcad позволяет построить отдельные матрицы для потенциальных рисков на территории объекта, выгрузить их в виде файлов на диск и затем просуммировать их в отдельном алгоритме. При этом потенциальный риск, полученный от различных сценариев аварий (огненный шар, пожар пролива, взрыв, факельное горение струи жидкости и/или газа, газопаровоздушное облако) в итоге легко суммируется и перемножается на вероятность присутствия работника в  $i$ -ой области территории объекта [2]. Сумма всех клеток матрицы даст искомое значение индивидуального риска человека. При этом в тех областях от  $i = 1 \dots l$  (п. 37 [2]), которые в нашем случае представлены клетками матрицы с координатами в виде столбцов и строк  $(i, j)$ , где вероятность присутствия работника исключается (фундаменты зданий, сплошные конструкции), значение принимает равное 0.

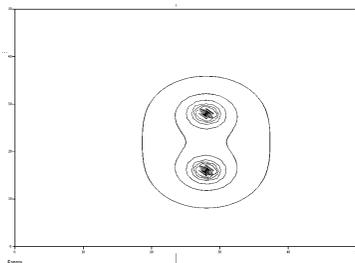


Рисунок 16.2 — Поле потенциального риска от двух колонок АГЗС.

Построение величин потенциального риска ведется из центров расположения источников опасности (участок газопровода, колонка АЗС, площадка слива АЦ и т.п.), координаты расположения источников опасности задаются исходными данными, построение векторных величин производится по величине гипотенузы, где катеты задаются для отсчета клеток матрицы (размерность).

$$\text{РискВзрываТРК1}_{i,j} := \begin{cases} P_p(1)if\sqrt{(i-x_0)^2+(j-y_0)^2}=0 \\ P_p[\sqrt{(i-x_0)^2+(j-y_0)^2}]otherwise \end{cases} \quad (16.1)$$

где  $x_0 := \text{ТРК1x}$ ,  $y_0 := \text{ТРК1y}$

Матричный способ задания величин потенциальных рисков от различных опасных факторов позволяет универсально накладывать на любой объект поля рисков, полученные из матриц (с координатами  $i, j$ ). При этом, меняется только координата расположения начальной точки расположения какой-либо опасности. Матрицы легко суммировать друг с другом и легко редактировать, включая вероятности присутствия работников. Территориально карты размещения оборудования и работников на территории объектов как правило, всегда доступны и легко накладываются на поле риска, полученное из матриц.

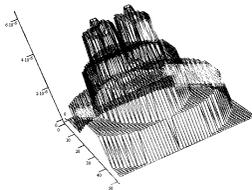


Рисунок 16.3 — Итоговое значение Индивидуального риска работника на территории объекта.

### Список литературы

1. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

2. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. N 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (С изменениями и дополнениями от 14 декабря 2010 г.).

## UNIVERSAL METHOD OF CALCULATION FIRE RISK USING MATRICES

*Stanislav Gennadievich Svetushenko, Ilya Evgenievich Zotov*  
Vladimir State University, Vladimir, Russia, Gorky Str., 87  
e-mail: [svetushenko@yandex.ru](mailto:svetushenko@yandex.ru), [iliya\\_zot@mail.ru](mailto:iliya_zot@mail.ru)

*Universal method of calculation of fire risk is based on constructing matrices, which are field risks imposed on the planning object.*

**Keywords:** fire risk calculation, the field of risk, the construction of matrices

УДК 351.86(063)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

*О.И. Харина*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.  
e-mail: 10092@mail.ru

*В статье ставится задача рассмотреть принцип работы биполярного шагового двигателя. Рассмотрен алгоритм управления двигателем на программном уровне. В результате анализа автор приходит к результату - в какой момент времени достигается максимум амплитуды вынужденных колебаний. Указывается зависимость скорости вращения вала от значений тока и частоты.*

**Ключевые слова:** биполярный шаговый двигатель, микроконтроллер ATmega8A, драйвер DRV8825, частота вращения ротора.

### Введение

Для позиционирования различных устройств: считывающих головок дисководов, печатающих головок принтеров и плоттеров используется шаговые двигатели. Они получили широкое применение в конструкции самодельных роботов, станков с ЧПУ, сварочных автоматов, приводов подачи и конвейеров.

Основная тенденция использования шаговых двигателей направлена на решение следующих проблем: слияние с рабочими органами машины и вытеснение механических звеньев и кинематических связей электрическими. Это упрощает конструкции машин, улучшает качество технологического процесса, увеличивает скорость работы, создает удобства обслуживания и сокращает расходы на эксплуатацию.

Существует два типа шаговых двигателей: биполярные и униполярные. Если их сравнивать между собой, то по принципу действия они похожи и многие контроллеры могут работать с обоими типами.

Можно выделить ряд особенностей, характерные биполярному шаговому двигателю:

- высокая удельная мощность;
- большой момент, который пропорционален величине магнитного поля, создаваемого обмотками статора;

– вращение вала на низких скоростях (из диапазона рабочих скоростей).

Одно из главных свойств шагового двигателя, возможность повернуть вал на определенный угол.

### Исследование двигателя

В рамках исследования проведен ряд экспериментов. Использовались следующее оборудование и материалы: биполярный шаговый двигатель, драйвер на базе микросхемы DRV8825, плата с микроконтроллером ATmega8A, лабораторный блок питания, провода, один переключатель, макетная плата, мини-кабель с десятью портами, программатор. Подключение компонентов осуществляется по схеме 1 (рисунок 17.1).

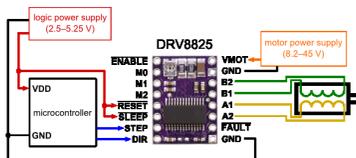


Рисунок 17.1 — Схема управления биполярным шаговым двигателем

Управление шаговым двигателем осуществляет микроконтроллер ATmega8A. Структура программы управления (листинг 1) состоит из цикла, который регулирует скорость вращения вала.

Листинг 1 1 — Программа управления

```
#define F_CPU 10000000;
#include <mega8.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

int main (void)
{
    PORTD=0x00000001;
    DDRD=0x00000000;

    while (1)
        {
            delay_ms (250);
            PORTD=0b00000001;
        }
}
```

```

        delay_ms(100);
        PORTD=0b00000000;
    }
}

```

После запуска программы, осуществляется вращение вала. Обратите внимание, с какой скоростью вращается двигатель при введенных значениях. Далее будем задавать частоту вращения, меняя значение задержки в миллисекундах.

$$\sigma = 1000 \div t, \quad (17.1)$$

где  $\sigma$  - частота вращения ротора, ГГц,  
 $t$  — время, за которое двигатель меняет шаг на  $1/16$ , в микросекундах.

В таблице 1 видно, что при частоте 2500 Гц наступает резонанс, то есть достигается максимум амплитуды вынужденных колебаний. Это связано с приближением частоты внешнего воздействия к резонансным частотам, определяемым свойствами системы.

Таблица 17.1 — таблица 1

$\sigma$ , Гц	1100	1200	1400	2000	2400	2500
I, А	0.42	0.36	0.27	0.169	0.165	0.151 Резонанс

Зависимость тока от частоты можно увидеть на графике 1 (рисунок 17.2).

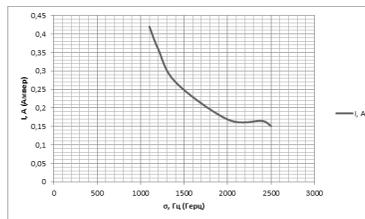


Рисунок 17.2 — Зависимость тока от частоты.

Исследование работы биполярного шагового двигателя показало, что при уменьшении напряжения вал вращается с определенной скоростью, но после остановки и возврата, с последовательным увеличением, двигатель начинается крутиться только при  $U > 20$  В.

Это доказывает, что при номинальном токе, вращение вала возможно.

### Список литературы

1. Биполярные и униполярные шаговые двигатели [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://electroprivod.ru/bipolar.htm>, свободный (дата обращения 25.03.2016).
2. Управление биполярным шаговым двигателем. Часть 1. Теория [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://radioham.ru/control/bipolar\\_step\\_motor.htm](http://radioham.ru/control/bipolar_step_motor.htm), свободный (дата обращения 26.03.2016).
3. Шаговый двигатель. Теория [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://home.roboticlab.eu/ru/examples/motor/stepper>, свободный (дата обращения 26.03.2016).

### RESEARCH WORK BIPOLAR STEPPER MOTOR

*Oksana Iosifovna Kharina*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [10092@mail.ru](mailto:10092@mail.ru)

*This article seeks to task the principle of a bipolar stepper motor. Considered the motor control algorithm in software. As a result of the analysis the author comes to the result - at what point in time is achieved the maximum amplitude of the forced oscillations. Indicates the dependence of the speed of shaft rotation frequency and current values.*

**Keywords:** bipolar stepper motor, ATmega8A microcontroller driver DRV8825, rotor speed.

УДК 685.72(045)

## МОБИЛЬНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ С ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАМЕННЫХ СТЕН В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

*Н. А. Перминов*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: *na\_perminov@mail.ru*

*В статье описывается конструкция мобильного аппарата, предназначенного для аварийного спуска людей, не имеющих других путей спасения с высоких уровней каменных строений или природных образований.*

**Ключевые слова:** спасение, спуск, высокий уровень, камень, аппарат.

При проведении работ на большой высоте каменных сооружений или скальных образований весьма велика вероятность чрезвычайной ситуации, когда необходим срочный спуск людей, внезапно потерявших возможность самостоятельно и безопасно спуститься вниз на уровень земли. Проведение спасательных работ часто бывает затруднено ввиду многих причин, например, неподвижности человека и, как следствие этого, невозможности транспортирования его на руках или в верёвочной петле без вреда для его здоровья и жизни. Вертолётная помощь так же не во всех случаях может быть осуществлена из-за размаха лопастей винта возле вертикальной каменной стены.

Конструкция предлагаемого аппарата для скалолазания использует принцип движения паука: шесть шарнирных рычагов-лап попеременно по три с каждой стороны капсулообразного корпуса, из которых три (две расположены: одна — в начале, а другая в конце корпуса аппарата, а третья — на другой стороне аппарата посередине корпуса) держатся за стену, а три других, расположенные симметрично первым трём, в это время цепляются за неё по очереди или все одновременно.

Внутри корпус аппарата, выполненный с возможностью изоляции от внешней среды, представляет собой подобие автомобиля, включающего две дверцы, два передних кресла: водительское и пассажирское с расположенными впереди пультом управления аппаратом и лобовым, а также боковыми и задним стёклами, установленными в раме из прочного лёгкого сплава дуралюмина. Крыша аппарата также может быть выполнена со стёклами и дверцей.

Качательные движения рычагов-лап, производимые для перемещения аппарата вперёд-назад и вверх-вниз, осуществляются встроенными в них гидроцилиндрами и управляются оператором-водителем путём переключения рукояткой типа «джойстик» золотников гидросистемы, в которую гидронасос закачивает машинное масло под давлением. Электроэнергия подаётся через кабель с земли от генератора постоянного тока, вращаемого двигателем внутреннего сгорания.

Конструкция узла, закрепляющего рычаг-лапу на камне стены, содержит два закреплённых на конце лапы расположенных вокруг единой оси поворота диаметрально друг другу и перпендикулярно стене инструмента, один из которых — бур с твёрдосплавными режущими пластинами, а другой — раздвижной стержень. Процесс закрепления каждой лапы на стене может осуществляться как оператором-водителем аппарата, так и в автоматическом режиме компьютером. Место закрепления каждой лапы определяет оператор-водитель. В основе процесса закрепления лежит принцип перфоратора, просверливающего твёрдосплавным буром в камне глухое отверстие достаточных глубины и диаметра, размеры которых рассчитываются из условия прочности закрепления лапы на камне или грунте. Чем мягче грунт под лапой, тем глубже отверстие для закрепления. После сверления бур извлекается, с ним меняется местом, повернувшись вокруг единой для них оси поворота, и вставляется в отверстие раздвижной стержень, который для надёжности после введения в отверстие увеличивает свой диаметр, прижимаясь к камню изнутри. Прочно закрепившись на трёх лапах таким образом, аппарат раскрепляет три других лапы, на которых он висел на стене, сжимая расположенные на них раздвижные стержни, вынимает их из отверстий в камне, меняет стержни на буры, поворачивая инструменты вокруг единой для них оси поворота, перемещает одну из лап вверх по стене и повторяет такой процесс закрепления для каждой последующей лапы одну за другой для продвижения вперёд. Оператор-водитель приводит в действие гидроцилиндры перемещения, расположенные в лапах и движет тем самым капсулообразный корпус аппарата вверх.

Таким образом, цикл действий аппарата под управлением оператора-водителя, а какая-то их часть и в автоматическом режиме: «бурение отверстия»-«закрепление лапы на стене»-«открепление лапы от стены»-«продвижение лапы вверх или вниз»-«продвижение капсулы на лапах вверх или вниз» — повторяется снова и снова, давая возможность перемещаться аппарату по вертикальной каменной стене для выполнения задачи спасения человека,

находящегося где-то вверху и нуждающегося в помощи извне. Прибыв на место нахождения человека, оператор может оказать ему первую помощь, так как в гидронасосе, движущем аппарат, предусмотрен запас мощности для транспортирования багажа и, соответственно, есть багажник. Для размещения спасаемого оператора открывает дверцу, находящуюся со стороны пассажирского сиденья, и усаживает на него спасаемого, пристёгивая ремнём безопасности. На крыше снаружи также должна быть предусмотрена возможность размещения человека, пристёгнутого ремнями, для транспортирования вниз, если спасаемых — двое.

Кабель, питающий электроэнергией двигателя постоянного тока: один, наиболее мощный, приводящий в действие гидронасос и шесть менее мощных, вращающих буры, тянется снизу за аппаратом на допускаемую высоту, которая ограничивается общей мощностью электродвигателей, поднимающих за аппаратом всё увеличивающийся вес кабеля. В этом случае положительную роль в увеличении высоты подъёма играет применение современных лёгких и прочных токопроводящих и изоляционных материалов. С целью предотвращения застревания кабеля, имеющего небольшой диаметр, в трещинах камней, его помещают внутрь эластичной оболочки несколько большего диаметра из пневмоизолирующей ткани, облегающей кабель на весь участок высоты подъёма, а в оболочку снизу накачивают воздух под давлением.

Спуск происходит в обратном порядке выполнения оператором-водителем цикла действия механизмов аппарата. Однако, при спуске предусмотрен вариант движения не бурить отверстия в камне вновь, так как механизмы лап аппарата снабжены функцией обозначения краской меток на каждом отверстии при движении вверх, который тем самым обеспечивает простое нахождение последних оператором-водителем и закрепление лап на стене в уже готовых отверстиях.

Спасательный аппарат типа «человек-паук» облегчает труд спасателей-скалолазов и верхолазов и гарантирует аккуратную транспортировку спасаемых, имеющих ушибы и переломы, находящихся в критическом состоянии для жизни и здоровья.

## **MOBILE TOOL FOR THE EVACUATION OF PEOPLE WITH HIGH LEVELS VERTICAL STONE WALLS IN EMERGENCY SITUATIONS**

*Nikolay Alekseevich Perminov*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1

e-mail: *na\_perminov@mail.ru*

*The article describes the design of mobile device intended for emergency descent people who do not have other ways to save with high levels of stone buildings or natural formations.*

**Keywords:** rescue, lowering, high stone, vehicle.

УДК 004.528.8

## РОЛЬ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В АНАЛИЗЕ РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕРРИТОРИЙ

*И.М. Ячников, И.А. Латыпова*

Ижевский государственный технический университет имени М.Т.  
Калашникова, г. Ижевск, Россия

e-mail: *ityannikov@mail.ru*

*В статье приведен результат анализа роли ГИС-технологий в информационной поддержке процесса анализа риска ЧС при разработке стратегия управления территорией в чрезвычайных ситуациях. Выделены актуальные задачи прогнозирования и ликвидации ЧС с использованием ГИС-технологий.*

**Ключевые слова:** анализ риска, прогнозирование ЧС, чрезвычайная ситуация, ГИС-технология

В настоящее время для моделирования ЧС широко используются информационные технологии и данные космического зондирования Земли. На этой основе разработаны геоинформационные системы (ГИС), предназначенные для оценки риска возникновения различных ЧС, анализа их развития и прогнозирования последствий. Кроме локальных ГИС для обслуживания отдельных регионов, созданы и мощные системы общего назначения (разработчик – ВНИИ ГОЧС МЧС России). Эти системы включают в себя:

- 1 Подсистему космического мониторинга;
- 2 Базы данных о потенциально опасных объектах, силах и средствах для ликвидации ЧС, транспортной инфраструктуре и др.;
- 3 Базы математических моделей развития ЧС природного и техногенного характера.

Основным достоинством ГИС является координатная и картографическая привязка производственных и жилых объектов и коммуникаций к местности, учет рельефа и метеоусловий, позволяющие улучшить качество прогнозирования ЧС и повысить эффективность управления силами и средствами ликвидации [1], [5]– [7].

Одним из важнейших ресурсов сосредоточения информации является паспорт безопасности территории. Геоинформационный модуль системы разработки паспорта безопасности территории предназначен для оперативного отображения обстановки, пространственного анализа данных, моделирования процессов управления, визуализации динамики ЧС.

Геоинформационный модуль представляет собой динамическую ГИС с функциями навигации, интерактивного просмотра информации по всем объектам. Картографический анализ, позволяет рассчитать оптимальные маршруты выдвигения сил и средств, сделать оценку времени их прибытия.

База геоданных содержит набор пространственных и атрибутивных данных. Все данные представлены в виде логически и геометрически связанных таблиц и файлов с реализацией функций правил проверки, геометрической сети и топологии, заданием классов отношений и цифровых классификаторов.

Для представления топографического слоя «дороги» в виде единого графа маршрутной сети была осуществлена доработка карты. В режиме ЧС возможно производить визуализацию порядка прикрытия и реагирования сил и средств подразделений МЧС России и других взаимодействующих структур на ЧС в территориальном образовании. Система осуществляет вывод на экран состава и местоположения подразделений первого эшелона группировки сил и средств, схемы проезда до места аварии и расчетного времени пути [2].

Для решения этих задач применяются ГИС-технологии, основанные на использовании программных продуктов ESRI и ERDAS. Моделирование осуществляется на основе расчетных методик, отвечающих требованиям существующих ГОСТов и руководящих документов для соответствующих сценариев развития чрезвычайных ситуаций. При построении моделей учитываются различные геопространственные факторы (рельеф, наличие водоёмов и др., выполняется расчет зон различных степеней поражения людей, зданий и сооружений [1].

Одним из свойств ГИС-технологий является их способность интегрировать (увязывать в единую систему) разнородную информацию. Это свойство базируется на том, что вся используемая в целях предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера разнородная информация (цифровая, графическая, картографическая и др.), относится к территории региона и, следовательно, может быть привязана к карте или объектам карты территории.

Построение моделей развития чрезвычайных ситуаций, в том числе экологических, выполняется по следующим сценариям:

- определение местоположения и характеристик потенциальных опасностей;
- оперативный поиск и выдача подробной информации о потенциально опасных объектах (ПОО);
- оценка возможных сценариев развития ЧС по каждому ПОО;
- отслеживание динамики развития ЧС и прогнозирование дальнейшего развития событий (разлива АХОВ, взрывов, пожаров, наводнений и паводков, разливов нефти и нефтепродуктов);
- разработка типовых рабочих карт обстановки;
- и др. [3, 7].

Прогнозирование возможных ЧС, оценка риска и последующее его снижение является необходимым условием устойчивого развития территории.

Для комплексного решения задач управления рисками ЧС также необходима совместимость разных информационно-аналитических уровней и возможность их взаимодействия.

Необходимо, чтобы специалисты по управлению ЧС на местах (местный муниципальный уровень) обладали всей полнотой информации об опасных объектах в пределах своей территории, а специалисты более высокого уровня управления (территориальный) имели возможность «включаться» в местный контекст с минимальными усилиями и в минимальные сроки. Это может быть достижимо только при использовании общей масштабируемой программной технологии работы с пространственными данными, а также на основе единых стандартов представления пространственной и описательной информации, т.е. при создании единого геоинформационного пространства в системе управления рисками, предупреждения и ликвидации ЧС.

Разработка и внедрение автоматизированных способов работы, связанной с анализом, прогнозированием и моделированием происшествий, аварий и чрезвычайных ситуаций является неременным условием информационно-аналитического обеспечения управления рисками чрезвычайных ситуаций.

Средства моделирования, интегрированные в ГИС-пакеты, позволяют оперативно прогнозировать развитие ситуации с учетом пространственных данных и обеспечивать управление риском возможных ЧС. Цифровая тематическая карта является удобным средством визуализации расчетных и статистических данных и служит неотъемлемой составляющей при принятии управленческих решений.

Основным преимуществом оценки риска с применением ГИС-технологий является автоматизация наиболее трудоемких этапов решения и наглядное представление зон уровней риска.

Несмотря на достигнутые успехи в использовании ГИС-технологий при анализе и риске ЧС на сегодняшний день существует целый пласт нерешенных задач. Если обозначить вектор развития вопросов прогнозирования и ликвидации ЧС с использованием ГИС-технологий, то наиболее актуальными задачами являются:

- обеспечение доступа к данным мониторинга с использованием стандартов в области информационных технологий;
- решение прямых и обратных задач при отсутствии информации об источнике ЧС;
- более тесная интеграция средств мониторинга и моделирования ЧС;
- использование мобильных устройств для анализа ЧС онлайн и офлайн.
- применение методов натурально-естественного интерфейса с использованием голосовых команд, жестов для относительно простых конфигурируемых приложений;
- реализация новых способов математического пространственно-временного моделирования для реализации ситуационного управления в условиях высокой неопределенности и резких динамических изменений.

При этом наиболее важной задачей считается создание и развитие блока моделей реагирования, направленных на поддержку принятия наиболее эффективных решений по ликвидации ЧС.

В перспективе ГИС должна быть не просто набором инструментов, работать с которыми могут только специально обученные пользователи, но и стать своего рода интеллектуальным помощником, который проделает всю рутинную работу и предложит набор альтернативных вариантов, на основе которых пользователь примет окончательное решение [4].

### Список литературы

1. Шаптала, В.Г. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. Пособие /под общ. ред. В. Г. Шапталы. – Белгород: Изд-во БГГУ, 2010. – 166 с.
2. Трофимова Н. В., Антамошкин О. А., Антамошкина О. А., Ничепорчук В. В. Система поддержки принятия решений по реагирования на чрезвычайные ситуации и происшествия на опасных производственных объектах //Технологии гражданской безопасности. 2011. №4.

3. Ипалаков Т. Т., Дранникова Ж. А. Современное применение ГИС-технологий для управления территорией (предупреждения и ликвидации последствий ЧС // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 3. С. 215-219.
4. Митакович С. А. Разработка систем прогнозирования чрезвычайных ситуаций на базе ГИС // Геоматика, №4, 2014 г. – С. 94-99 [http://geomatika.ru/pdf/2014\\_04/14\\_94-99.pdf](http://geomatika.ru/pdf/2014_04/14_94-99.pdf)
5. Телегина М.В. Методы и алгоритмы оценки воздействия потенциально опасных объектов на окружающую среду: монография / М.В. Телегина, И.М. Янников, Т.Г. Габричидзе – Самара: Изд-во Самарского НЦ РАН, 2011. – 152 с.: ил.
6. Янников, И.М. Основы геоинформационных систем и дешифрирования: учебно-методическое пособие /И.М. Янников, М.В. Телегина – Ижевск: Изд-во ГОУ ВПО «ИГЗ и ПБ УР», 2008. 110 с.
7. Геоинформационные системы и экологическое картографирование: учебно – методическое пособие для студентов направления «Техносферная безопасность» /М.В. Телегина, И.М. Янников – Ижевск. Изд-во ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени Калашникова». 2013. – 78с

## ROLE OF GIS TECHNOLOGY IN THE ANALYSIS OF THE RISK OF EMERGENCIES TERRITORIES

*Igor Mikhailovich Yannikov, Imarf Adilevna Latypova*

Izhevsk State Technical University named after MT Kalashnikov,  
426069, Izhevsk, Russia, st. Student, 7 e-mail: [imyannikov@mail.ru](mailto:imyannikov@mail.ru)

*The results of the analysis of the role of GIS in the information support of the risk analysis process in the development of disaster management strategy in the area of emergency. Highlighted the urgent tasks of forecasting and liquidation of emergency situations using GIS technology.*

**Keywords:** risk analysis, forecasting disaster, emergency, GIS technology.

УДК 004.9: 614.0.06

**К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ТРЕНАЖЕРА ПО  
ОРГАНИЗАЦИИ, МЕДИЦИНСКОЙ СОРТИРОВКЕ  
ПОСТРАДАВШИХ И ВЫБОРУ ВИДОВ  
МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В УСЛОВИЯХ  
МАССОВЫХ КАТАСТРОФ**

*М.В. Телегина, М.А. Михайлов, А.В. Якимов, Е.Ю. Шкатова*  
Ижевский государственный технический университет имени М.Т.  
Калашникова, Ижевская государственная медицинская академия,  
г. Ижевск, Россия  
e-mail: *mari\_tel@mail.ru, teniuse@gmail.com, doctorantoni@mail.ru,*  
*army@igta.udm.ru*

*В статье рассмотрена необходимость создания компьютерной системы-тренажера по организации, медицинской сортировке пострадавших и выбору видов медицинской помощи в условиях массовых катастроф. Определен состав системы и его структура. Показаны особенности задач на проверку знаний по действиям старшего врача.*

**Ключевые слова:** медицина катастроф, компьютерная система-тренажер, количество и профиль санитарных потерь, выбор приемно-сортировочной площадки

Размер и структура санитарных потерь среди населения при каждом виде катастроф отличаются разнообразием и непредсказуемостью по месту и времени их возникновения. Высокий удельный вес в их структуре тяжелых, особенно множественных и сочетанных поражений обуславливает частую летальность среди пораженных, особенно при несвоевременном оказании медицинской помощи. Примерно каждый третий-четвертый пораженный нуждается в неотложной медицинской помощи. По данным Всемирной Организации здравоохранения 20% среди погибших в результате несчастных случаев в мирное время могли быть спасены, если бы медицинская помощь была им оказана на месте происшествия [1].

В случаях массовых потерь среди населения и недостатке медицинских сил и средств, когда оказать своевременно помощь всем пораженным невозможно, необходимо установить очередность в оказании медицинской помощи пораженным и их эвакуации.

Для закрепления знаний медицинского персонала о порядке действий, медицинской сортировке и оказанию помощи предлагается использовать автоматизированную систему – тренажер.

Система-тренажер – это, по сути, обучающая система, содержащая теоретический материал, тесты и задачи, для которых оценивается как правильность, так и скорость решения [2]. Разрабатываемый тренажер по организации, медицинской сортировке пострадавших и выбору видов медицинской помощи в условия массовых катастроф состоит из четырех блоков:

1 Блок, содержащий тесты и задачи на проверку знаний по действиям старшего врача;

2 Блок, содержащий задачи и тесты для проверки знаний по сортировке пострадавших внутри пункта (приемно-сортировочной площадки);

3 Блок, содержащий задачи и тесты для проверки знаний по эвакуационной сортировке;

4 Блок проверки знаний по порядку и оказанию медицинской помощи пострадавшим.

В каждом блоке содержится соответствующий блоку теоретический материал. При выполнении всех тестов в случае неправильного выбора варианта ответа можно либо заново ответить на вопросы теста, либо к изучению теории. При этом теряется время на выполнение заданий, а, следовательно, снижается результирующая оценка.

Предлагается количество и профиль санитарных потерь определять в виде решения задачи (варианта чрезвычайной ситуации). Результатом решения задачи будет количество пострадавших четырех видов [1]. Обучаемый должен определить по варианту ситуации ориентировочное количество пострадавших. Для этих целей предусмотрен ввод данных в виде чисел и процентов от общего количества. Далее по ориентировочному количеству пострадавших обучаемый должен определить количество сил и средств, требуемых для ликвидации медицинских последствий.

Выбор приемно-сортировочной площадки (ПСП) для пострадавших должен быть согласован с руководителем первоочередных мероприятий ликвидации ЧС и осуществляться с выполнением условий:

- ПСП должна быть расположена вне опасной зоны, за границей очага ЧС, но вблизи от него;
- вблизи ПСП должен быть проезд для автотранспорта;
- наличие теплого помещения для размещения пострадавших (при необходимости).

Решение задачи выбора места расположения ПСП в соответствии с вышеприведенными условиями в системе-тренажере

выполняется с применением карты местности, где расположены объекты и возможные места расположения ПСП.

Для решения задач по медицинской и эвакуационной сортировке и проверки правильности их решения обучаемыми используются правила, разработанные на основе нормативной документации и знаний экспертов.

Проверка знаний по порядку и оказанию медицинской помощи пострадавшим группой авторов осуществляется с применением алгоритмов и решением ситуационных задач на основе экспертных правил [3].

Применение тренажера по организации, медицинской сортировке пострадавших и выбору видов медицинской помощи в условиях массовых катастроф позволит закрепить имеющиеся теоретические знания и навыки медицинского персонала, что в последствии положительно отразится на их действиях в реальных ситуациях.

#### Список литературы

1. Колб, Л.И. Медицина катастроф и чрезвычайных ситуаций /Л.И. Колб, С.И. Леонович, И.И. Леонович. – Минск: Высшейшая школа, 2008. – 447 с.
2. Телегина, М.В. Тренажер для действий персонала на складе хлора /Телегина М.В., Маринин Р.А. //Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сборник трудов региональной научно-технической конференции. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. С.106–110.
3. Телегина, М.В. Оказание первой медицинской помощи группе пострадавших. Обучение с решением ситуационных задач /Телегина М.В., Якимов А.В., Аминова А.Р. //Тезисы IV Республиканской научно-практической конференции по проблемам безопасности и защиты населения и территорий от ЧС. Уфа, 2009. С. 43–44.

#### THE ISSUE OF THE DEVELOPMENT OF THE ORGANIZATION IN THE SIMULATOR, MEDICAL TRIAGE AND THE CHOICE OF TYPES OF MEDICAL CARE IN MASS DISASTERS

*Marianna Viktorovna Telegina, Mikhail Alexandrovich Mikhailov, Anton Vladimirovich Yakimov, Elena Yurievna Shkatova*  
Izhevsk State Technical University named after MT Kalashnikov,  
426069, Izhevsk, Russia, st. Student, 7; Izhevsk State Medical  
Academy, 426034, Izhevsk, ul. Communards, 281

e-mail: *mari\_tel@mail.ru, teniuse@gmail.com, doctorantoni@mail.ru, army@igma.udm.ru*

*The article discusses the need to create a computer-system simulator for the organization, medical triage and selection of types of medical care in the face of massive disasters. The composition of the system and its structure. The features of tasks to test knowledge of the actions of senior doctor.*

**Keywords:** medicine of catastrophes, the computer system simulator, the number and profile of sanitary losses, the selection receiving and sorting area.

УДК 614.8

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСПЕКТОРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

С.В. Ширококов

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

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

*В статье обсуждается методика количественная оценка эффективности деятельности инспектора государственного пожарного надзора. Предлагается методика, основанная на логико-вероятностном анализе процесса возникновения и развития пожара. Деятельность инспектора в ней учитывается как снижение вероятности событий, вызывающих или способствующих распространению возгорания. В свою очередь, эффективность действий оценивается через отношение предотвращённого ущерба к заработной плате инспектора.*

**Ключевые слова:** вероятность возгорания, развитие сценария, предотвращённый ущерб, эффективность действий инспектора.

Государственный противопожарный надзор имеет давние традиции и представляет собой слаженно функционирующую систему. Она постоянно находилась в процессе совершенствования и модернизации [1–3]. На настоящий момент запущена процедура оптимизации ГПН. И здесь становится актуальным разработать методику, которая позволит оценить эффективность деятельности инспектора ГПН.

Предлагаемая методика основывается на логико-вероятностном анализе и заключается в следующем:

- рассчитывается вероятность возгорания на объекте защиты в течение года путём построения дерева отказов  $P_0$  [4];
- рассчитываются вероятность реализации сценариев развития ситуация посредством построения дерева событий  $p_i$  [5];
- рассчитывается ущерб при реализации каждого из сценариев  $U_i$ ;
- рассчитывается средний ущерб  $\langle U \rangle = \sum(p_i * U_i)$ ;
- рассчитывается прогнозируемый ущерб  $U = P_0 * \langle U \rangle$ ;

Далее определяется на вероятность каких событий и в какой степени влияют действия инспектора. Подставляются обновлённые значения вероятностей и производится перерасчёт прогнозируемого ущерба  $U'$ .

Эффективность действий инспектора будет определяться по формуле

$$\Theta = (U - U') / (12 * Z_p), \quad (21.1)$$

где  $U - U'$  – предотвращённый ущерб, руб;  $Z_p$  – величина месячной заработной платы инспектора, руб.

Тем самым, мы определяем «выигрыш» от каждого рубля, выплаченного инспектору.

Проведённый нами расчёт для образовательного учреждения дал результаты:  $P_0 = 8,2 * 10^{-2}, < U > = 184874$  руб. Соответственно,  $U = 15159.67$  руб/ год. Если инспектор добьётся того, чтобы на объекте защиты была проведена ревизия всех розеток и выключателей, то вероятность возгорания снизится практически в 2 раза и  $U'$  составит 8473.14 руб/год. Приняв заработную плату инспектора равной 25000 рублей и подставив полученные ранее значения в выражение (21.1) получим  $\Theta = 0.022$ .

Таким образом, для того, чтобы оправдать своё денежное довольствие инспектору необходимо на объекте реализовать примерно 50 мероприятий, сравнимых по эффекту с ревизией розеток и выключателей. Такое предложение может показаться неоправданным, но на деле инспектору приходится иметь дело с проверкой соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности почти по 1700 пунктам! И это в течение нескольких дней. Учитывая, что такой объём работы провести не реально просто физически, и по факту в среднем прорабатывается приблизительно 15% пунктов, мы приходим к ситуации выбора. А именно, применив предложенную методику, инспектор может выбрать те пункты, которые дают наибольший эффект. Проработать некую траекторию следования по пунктам требований пожарной безопасности, которой он будет придерживаться.

Для практического применения методики необходим информационно-программный комплекс, в котором содержатся деревья отказов и деревья событий для всех типовых объектов защиты, в удобном для пользователя виде организован доступ к требованиям пожарной безопасности. В свою очередь, данные требования привязаны к соответствующим вероятностям. Что позволяет реализовать «клик-технологии», когда инспектору достаточно выбрать пункты из базы нормативно-правовых документов, а программа автоматически посчитает эффективность планируемых действий.

### Список литературы

1. Указ Президента РФ от 09.11.2001 №1309 «О совершенствовании государственного управления в области пожарной безопасности». «Собрание законодательства Российской Федерации», 2001, 46, ст. 4348; 2005, 19, ст. 1787.
2. Кириллов Г. Н. Совершенствовать систему государственного пожарного надзора./ Журнал «Пожарное дело» № 2, 2005.
3. Кириллов Г. Н. Госпожнадзор: современное состояние и пути улучшения его работы./ Журнал «Пожарное дело» № 6, 2006.
4. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
5. ГОСТ Р 54142-2010. Менеджмент рисков. Методология построения универсального дерева событий.

### QUANTITATIVE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF ACTIVITY OF THE INSPECTOR OF STATE FIRE SUPERVISION

*Sergey Valentinovich Shirobokov*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [sergirt@mail.ru](mailto:sergirt@mail.ru)

*The article discusses the technique of a quantitative estimation of efficiency of activity of the inspector of state fire supervision. The technique, based on logical and probabilistic analysis of the process of occurrence and development of fire. The activities of the inspector it is accounted for as a reduction in the probability of events causing or contributing to the spread of fire. In turn, efficiency is estimated using the ratio of avoided damage to the salary of the inspector.*

**Keywords:** the risk of fire, scenario development, prevented damage, efficiency of actions of the inspector.

*Научное издание*

Научный редактор  
Колодкин Владимир Михайлович

# **БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ**

Сборник статей  
*Выпуск 10*

Компьютерный набор и верстка  
Чирков Борис Владимирович

*Авторская редакция*

Подписано в печать 14.04.2016. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,25.  
Тираж 100 экз. Заказ № 16-25.

Издатель: АНО «Ижевский институт компьютерных исследований»  
426034, г. Ижевск, ул. Кооперативная, д. 5.  
Тел./факс: +7 (3412) 50-02-95