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

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей

Выпуск 12

Ижевск
2018

УДК 614.84, 681.51, 004.031.4, 004.492
ББК 68.9 я 431
Б 40

Научный редактор:
доктор технических наук, профессор В. М. Колодкин

Председатель организационного комитета:
руководитель Российского научного общества анализа риска,
кандидат психологических наук М. И. Фалеев

Б 40 **Безопасность в техносфере**: сборник статей / науч. ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – 165 с.

ISBN 978-5-4344-0441-9

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на XII Международной конференции «Безопасность в техносфере». Главная тема Конференции — Цифровые системы обеспечения безопасности.

Рассмотрены вопросы интеграции цифровых подсистем, таких как подсистема автоматического контроля количества людей в помещениях здания, подсистема автоматического мониторинга среды в горящем здании и т.д., в интегрированную систему автоматического формирования указаний людям путей эвакуации из горящего здания в режиме реального времени.

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 978-5-4344-0441-9 УДК 614.84, 681.51, 004.031.4, 004.492
ББК 68.9 я 431

© УРО ООО «Российское научное общество анализа риска», 2018
© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

I Цифровые системы обеспечения безопасности 6
В.М. Колодкин, Б.В. Чирков, Д.Е. Ушаков
Повышение эффективности системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в здании . . . 7
Б.В. Чирков
Методы совершенствования и алгоритмы управления эвакуацией из здания 20
А.М. Сивков
Протокол последовательной передачи данных 46
Д.Е. Ушаков, Б.В. Чирков
Исследование ограничений расстановки беспроводных узлов на базе микроконтроллера ATmega128RFA1 49
А.М. Сивков, А.Н. Семакина
Об электрической схеме подключения сенсора инфракрасных лучей 54
А.М. Сивков, Д.А. Пухова
О влиянии солнечного света на инфракрасный сенсор . 57
С.В. Шархун, Н.Ф. Сирина
Результаты разработки, реализации и внедрения программного комплекса «СОУЭ-ПК» на инфраструктурных объектах ОАО «РЖД» 59
II Техносферная безопасность 68
М.Э. Галиуллин
Картографическая подсистема веб-сервиса оценки риска на техногенных объектах 69
А.В. Радикова, В.О. Анашин
Анализ и оценка аварийного риска с точки зрения системного анализа 84
В.О. Анашин, А.В. Радикова
Ранжирование территорий по уровню коллективного риска при авариях на техногенных объектах на примере автозаправочных станций 89
А.В. Романенко, Г.М. Чигвинцев, С.В. Широбоков, Д.В. Варламов, С.Ю. Загуменов
Проект противопожарного комплекса для повышения безопасности людей и эффективности применения средств индивидуальной защиты и средств пожаротушения 97

Д.М. Варламова
Обзор существующих методов по оценке экономической эффективности систем пожарной безопасности 109
И.М. Янников, В.С. Куклин, В.И. Молчанов, А.Е. Любаков
О некоторых аспектах применения спринклерных установок пожаротушения на производстве 116
А.С. Соловъева, М.В. Телегина
Поддержка принятия решений по обеспечению безопасности химически опасных объектов 122
Ф.В. Недопекин, Н.С. Шеставин, А.В. Несова
Анализ потенциала поглощения диоксида углерода на перспективных участках его хранения в Донбассе 127
И.М. Янников, М.В. Шабардин, М.В. Телегина
Экологическое картографирование реабилитируемых территорий 134
А.Ю. Лучина
Двухскоростная модель движения газожидкостной смеси в аэротенках с пневматической системой аэрации 139
И.М. Янников, И.Н. Вологжанин, Р.Г. Бадамшина
Проблематика автоматизации прогнозирования паводков и наводнений 144
Д.М. Костин
Автоматизированная система персонифицированного учета нарушений требований охраны труда 149
В.В. Бодряга, Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов
Экологическая проблема утилизации графитной спели при переливах чугуна 155

Раздел I
Цифровые системы обеспечения безопасности

УДК 614.842.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИИ

В.М. Колодкин, Б.В. Чирков, Д.Е. Ушаков
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@gmail.com, sleepinthewater@gmail.com*

В работе рассматриваются вопросы повышения эффективности системы оповещения и управления эвакуацией. Показано, что требования, предъявляемые к системе оповещения и управления эвакуацией, приводят к необходимости построения программно-аппаратного комплекса, представляющего вычислительную сеть, в каждом узле которой находится тот или иной элемент системы (датчики состояния среды в здании, приборы оповещения, маршрутизаторы, вычислительные элементы и их комбинации). Каждый узел включает микроконтроллер. В частном случае, узлы связаны по радиоканалу. Электропитание узлов, как правило, автономное. Объединение объектов реального мира (датчики, маршрутизаторы, и т.д.) и объектов виртуального мира (модели, алгоритмы, программы и т.д.) в рамках единого цифрового пространства позволяет создать эффективные системы пожарной безопасности.

Ключевые слова: Управление эвакуацией, эффективность управления, программно-аппаратный комплекс, микроконтроллеры, Интернет Вещей.

Введение

По данным МЧС России [1], трендом последних пятнадцати лет в России стало уменьшение количества техногенных пожаров. Количество несчастных случаев со смертельным исходом на пожарах за этот же период сократилось более чем в два раза. Вместе с тем, мировая статистика в соответствии с [2] отводит России 45 место из 172 государств в мире по количеству погибших на пожарах на 100 тысяч человек населения. На рисунке 1 представлены результаты сопоставления количества погибших при пожарах на 100 тысяч человек населения в России, США и Германии [3]. Из рисунка следует, что меры, которые принимаются в России по повышению пожарной безопасности приносят реальные результаты,

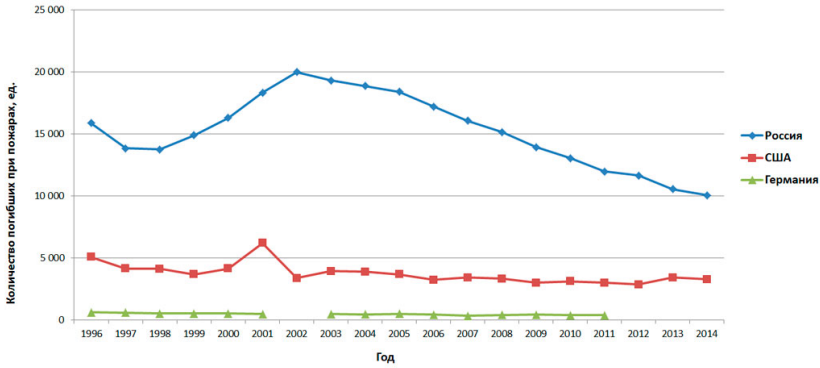


Рисунок 1 — Количество погибших при пожарах на 100 тысяч человек населения в России, США и Германии

что выражается в существенном уменьшении количества жертв при пожарах. Но, тем не менее, потери при пожарах, которые несет население России, - весьма существенны. Особенно в сравнении с потерями при пожарах населения США и Германии.

В этой связи, весьма значимо определиться с дальнейшими путями снижения потерь при пожарах. Количество погибших при пожарах – это интегральный показатель, на который оказывает влияние очень много факторов. В рамках данной работы, остановимся на технических аспектах одной из систем, предназначенных для снижения ущерба при пожарах – это система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) при пожаре. По определению [4], СОУЭ – комплекс организационных мероприятий и технических средств, предназначенный для своевременного сообщения людям информации о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации. СОУЭ разделяются на пять типов. Наиболее высокие требования к СОУЭ предъявляются для систем пятого типа. Но необходимо подчеркнуть, что эти требования, в основном, относятся к способу оповещения.

Требования к Системе оповещения и управления эвакуацией

Какими свойствами должна обладать СОУЭ чтобы система в максимальной степени способствовала спасению людей, ока-

завшихся в горящем здании? Необходимо обозначить следующие требования:

1 СОУЭ призвана обеспечить возможность представления людям в горящем здании пути эвакуации, которые отвечают минимальному временному интервалу достижения людьми безопасных зон в здании (или вне здания). Пути эвакуации должны отвечать требованиям минимального уровня опасности для человека при движении по указанным путям (в идеальном случае, пути эвакуации должны отвечать приемлемому для человека уровню опасности). В первом приближении, можно положить, что участок эвакуационных путей отвечает требованиям приемлемого для человека уровня опасности, если численные значения опасных факторов пожара на данном участке не достигают критических значений.

2 СОУЭ должна отвечать требованию адаптивности к изменяющимся условиям в здании. Фактически, данное требование означает, что пути эвакуации должны проектироваться с учетом изменяющихся условий в горящем здании, с учетом произвольного местоположения источника возгорания и т.д. По сути, речь идет о переходе от статических планов эвакуации к динамическим планам, когда пути эвакуации изменяются и, соответственно, доводятся до людей сообразно изменяющейся обстановки в горящем здании.

3 СОУЭ должна поддерживать режим реального времени. Данное требование усиливает требование адаптивности к изменяющимся условиям в здании. Для поддержания режима реального времени, формирование команд указания людям направлений движения, а, следовательно, и прогнозирование путей движения людей, должны успевать за изменением обстановки в здании.

4 СОУЭ должна функционировать в автоматическом режиме, если управление людьми в условиях чрезвычайной ситуации не берет на себя персона, уполномоченная действовать в условиях чрезвычайной ситуации (при условии, что персона входит в круг лиц, обладающих правами доступа к системе).

5 Ядро СОУЭ должно поддерживать возможность расширения функциональных возможностей системы. В первую очередь,

расширение функциональных возможностей распространяется на подсистему поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). В частности, поддержка принятия решений в ЧС предполагает поддержку режима «директивного управления» в условиях чрезвычайных ситуаций. Режим «директивного управления» предполагает приоритет команд, поданных уполномоченной персоной перед командами, сформированными системой в автоматическом режиме. Поддержка режима особенно важна в случае, когда должны быть учтены факторы, не предусмотренные автоматическим режимом функционирования системы. Например, при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с проявлением террористической активности, может возникнуть необходимость в направлении людей в определенную зону или помещение. В этом случае необходимо идентифицировать зону сбора людей и зоны, через которые проход закрыт и довести эту информацию до людей в здании.

6 СОУЭ должна быть эффективной и иметь приемлемую стоимость. Современное развитие техники и технологий позволяют создать СОУЭ, отвечающую практически любым разумным требованиям, за исключением стоимости. Поэтому компромисс между стоимостью и эффективностью одно из важнейших требований к системе.

Указанные требования к СОУЭ предопределяют ее создание в рамках концепции Интернет вещей.

Концепция Интернет вещей и ее приложение к Системе оповещения и управления эвакуацией

Термин Интернет вещей (Internet of Things, IoT) был введен Кевином Эштоном в 1999 году [5]. За прошедшие годы этому очень широкому понятию было дано множество толкований и определений. Например, Интернет вещей - это все возрастающая инфраструктура, которая обеспечивает возможность предоставления услуг, путем соединения вещей (предметов физического и виртуального мира), в рамках информационно-коммуникационной среды. Объединение вещей (в нашем случае, объединение устройств) в рамках единого цифрового пространства делает возможным, например, автоматизацию управления процессом эвакуации в условиях

чрезвычайных ситуаций [6]. По перспективам развития Интернет вещей превосходит все, что было достигнуто в сфере коммуникаций между всевозможными «умными» устройствами. Отметим, что первоначально развитие получила концепция Умного дома, которая появилась несколько ранее концепции Интернет вещей. Фактически, «умный дом» - объединение ряда «умных» систем (управления инженерными коммуникациями, управления бытовыми приборами, мониторинга охранно-пожарной сигнализации и т.д.) в доме. Умный дом предоставляет пользователю удобный интерфейс для управления устройствами в доме, связанных вычислительной сетью. В рамках концепции Умного дома еще в 1985 году в США была создана система Unity, которая управляла безопасностью дома. Сейчас ее аналогами оснащено большинство домов в США и странах Западной Европы [7]. Возможно, различия в количестве жертв при пожарах, представленные на рисунке 1, в определенной степени объясняются именно наличием систем управления безопасностью.

В системе оповещения и управления эвакуацией концепция Интернет вещей преломляется в программно-аппаратный комплекс (ПАК), который включает множество разнообразных устройств, программных подсистем, связанных единым цифровым пространством и объединенных функциональным назначением – спасение людей в условиях чрезвычайных ситуаций. Цифровое пространство поддерживается распределенной, ячеистой сетью (LwMesh). Беспроводная сеть строится на базе протокола IEEE 802.15.4 [8] (Zigbee). Частота 2.4 ГГц.

В цифровом пространстве функционирует несколько подсистем взаимодействие между которыми позволяет в автоматическом режиме (требование 4) формировать и доводить до людей в горящем здании пути эвакуации, отвечающие требованию 1.

Основные функциональные подсистемы:

- подсистема проектирования безопасных для человека путей эвакуации, отвечающих
- требованию минимального времени достижения людьми зон безопасности;
- подсистема мониторинга состояния среды в помещениях здания;
- подсистема мониторинга размещения людей по зданию;

- подсистема представления людям в здании направлений перемещений;
- подсистема директивного управления людскими потоками;
- подсистема непрерывного мониторинга работоспособности устройств.

В цифровом пространстве обрабатывается виртуальная модель здания [9]. Виртуальная модель здания включает характеристики помещений и имманентные свойства помещений (например, величины пожарной нагрузки в помещениях). Модель здания дополняется характеристиками среды в помещениях (значения опасных факторов пожара), характеристиками распределения людей по зданию. В режиме реального времени обрабатываются результаты мониторинга состояния среды [10] и результаты контроля количества людей, проходящих через выделенные сечения здания. Для контроля количества людей используются устройства на основе двухлучевого счетчика [11]. Команды управления движением людей формируются по результатам математического моделирования. Используется модель управляемого движения людей в здании [12]. Модель базируется на экспериментально подтвержденной зависимости скорости движения людей от плотности, физического и эмоционального состояния людей [13]. Причем функция распределения людей по помещениям здания на каждом элементарном временном интервале корректируется с учетом количества людей, проходящих через выделенные сечения здания.

Основой аппаратной части основных устройств ПАК является микроконтроллер ATmega128RFA1 [14], обеспечивающий сетевые возможности, отвечающий требованиям универсальности, надежности работы и доступной цены. Встроенный в микроконтроллер радио-модуль и программный сетевой протокол LwMesh обеспечивают: построение общей сети передачи данных и перестроение маршрутов передачи данных «на лету» в случае выхода из строя устройства передачи информации (маршрутизатора).

Прогнозируемая эффективность Системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре в здании

Для оценки эффективности ПАК воспользуемся результатами математического моделирования движения людских потоков в здании. Положим, что движение людей осуществляется в соответствии

с математической моделью управляемого движения. Динамика плотности людей в помещениях здания, соответствует результатам математического моделирования. Отметим, что сопоставление количества людей в помещениях здания с данными мониторинга людей по зданию – это отдельная тема, выходящая за рамки данной работы.

Для определенности, рассмотрим здание, схема которого представлена на рисунке 2. Здание имеет два эвакуационных выхода, один выход помечен символом «A», второй – «B». Положим, что в здании в начальный момент времени размещено N человек со средней плотностью d_0. В процессе моделирования контролировалась динамика количества людей, достигших безопасной зоны (в данном случае, вышедших из здания через каждый из выходов). Положим, что неравномерность начального распределения людей по зданию описывается коэффициентом K по формуле 1.

$$K = \frac{d_1}{d_2}, \tag{1}$$

где d_1 – плотность людей в помещениях, в сумме занимающих половину площади здания, а d_2 – плотность людей в помещениях второй половины площади здания.

Помещения с плотностями людей d_1 и d_2 размещались в здании в соответствии с монте-карловской процедурой.

При управляемом движении людей пути эвакуации выбираются так, чтобы функция времени достижения людьми безопасной зоны имела бы минимальное значение. При этом все пути эвакуации должны отвечать требованиям безопасности (значения опасных факторов пожара не достигают критических значений).

Динамика выхода людей из здания (достижения людьми зоны безопасности) представлена на рисунке 3. В данном случае: $d_1 = 0.1$ чел./м^2, $K = 2$. Кривые, помеченные символом «a» соответствуют случаю, когда людям доступны все пути эвакуации. Кривые «2a» и «3a» иллюстрируют зависимость количества людей, выходящих через выход «A» и выход «B», соответственно. Зависимость, помеченная символами «1a», иллюстрирует динамику освобождения людьми здания через оба выхода (фактически, кривая «1a» соответствует количеству людей в безопасной зоне). Учитывая случайный характер начального размещения людей по помещениям здания, для каждого набора входных данных анализировались результаты $M = 1000$ экспериментов. В

результате приходим к интервальным значениям количества людей, отраженным на рисунке 3.

Результаты вычислительных экспериментов с динамикой развития пожара в помещениях здания, выполненных с использованием программного комплекса FDS [15], показали, что время блокирования опасными факторами пожара помещения, помеченного на рисунке 2 цифрой 1, составляет около 72 секунд с момента возгорания. Отметим, что это самый неблагоприятный сценарий с точки зрения нанесения ущерба при пожаре. Для определенности положим, что в результате пожара помещение оказалось заблокированным на десятой секунде с начала процесса эвакуации. В результате количество людей, выходящих через выход «В» сократилось, что показано на рисунке 3 кривой «3б». Система управления, с учетом информации о блокировании выхода «В», в автоматическом режиме направляет людей к выходу из здания через выход «А» (кривая «2б»). Кривая «1б» иллюстрирует динамику достижения людьми безопасной зоны при блокировании опасными факторами пожара помещения № 1. Время эвакуации при этом увеличивается на 12 секунд за счет удлинения путей эвакуации, но все люди выводятся из здания по безопасным путям.

Если прогнозируемую эффективность СОУЭ оценить величиной максимального предотвращенного ущерба, то прогнозируемая эффективность может быть оценена как максимальная разность между количеством людей, вышедшим из здания в отсутствии пожара и в случае пожара. Для данного здания эта разность составляет около 9 человек (разность в значениях количества людей между кривыми «1а» и «1б» в момент времени $t = 28.2$ с). То есть, в отсутствии предложенной системы, в случае блокирования помещения № 1, система управления не адаптировалась бы к изменяющимся условиям в горящем здании и людской поток попрежнему был бы направлен к выходу «В», что могло привести к гибели 9 человек.

Очевидно, что предотвращенный ущерб (прогнозируемая эффективность СОУЭ) зависит от имманентных свойств здания, от характеристик распределения людей по зданию, от сценария пожара и т.д. В частности, на рисунке 4 представлена диаграмма зависимости предотвращенного ущерба от начальной плотности распределения людей d_0 по помещениям здания ($K = 2$). Из диаграммы следует, что если начальная плотность распределения людей по помещениям здания возрастает до 1 чел./м^2, то величина предотвращенного

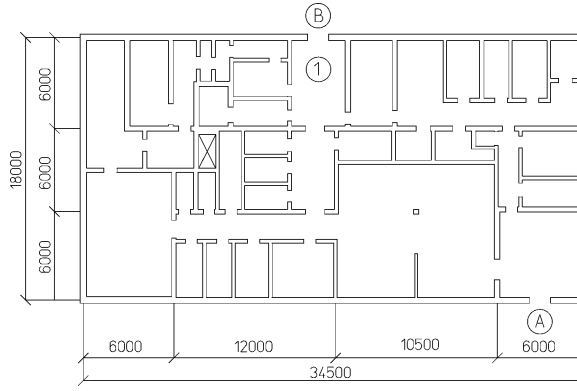


Рисунок 2 — Схема здания: A, B – эвакуационные выходы из здания; 1 – помещение, блокируемое опасными факторами пожара

ущерба для данного здания достигает величины 107 человек. То есть эффективность возрастает для зданий с массовым пребыванием людей.

Заключение

Таким образом, эффективность программно-аппаратного комплекса оповещения и управления эвакуацией зависит от многих факторов. Но, принципиально, эффективность имеет место, если ПАК отвечает концепции Интернет вещей. При этом ПАК поддерживает автоматический режим проектирования и представления людям путей эвакуации из горящего здания в режиме реального времени. Пути эвакуации отвечают требованиям минимальности времени достижения зон безопасности. Траектории эвакуации автоматически прокладываются по безопасным для человека участкам.

Возможно, в ближайшее время мы будем свидетелями взрывного роста функциональных возможностей систем обеспечения безопасности. Предпосылки к этому заложены в стремительном развитии микропроцессорных систем и технотронике.

В заключении отметим, что наибольший эффект от приложения концепции Интернет вещей к системам обеспечения безопасности следует ожидать применительно к зданиям с массовым пребыванием людей.

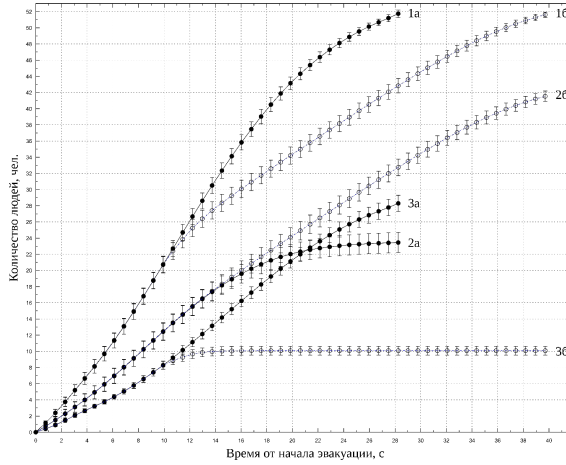


Рисунок 3 — Зависимости количества вышедших из здания людей от интервала времени с начала эвакуации: «а» – условия управляемого движения людей без блокирования помещений; «б» – при блокировании помещения № 1 опасными факторами пожара через 10 с. после начала эвакуации

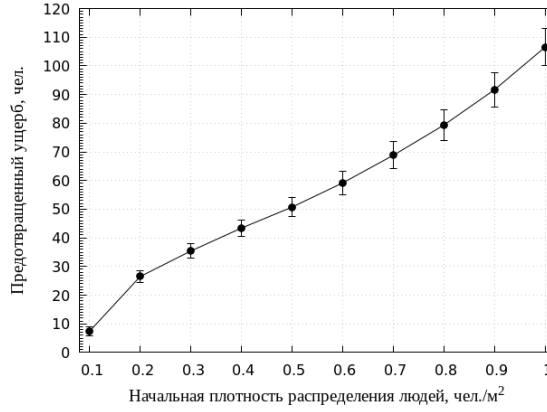


Рисунок 4 — Зависимость предотвращенного ущерба (прогнозируемая эффективность СОУЭ) от плотности начального распределения людей по помещениям здания

Список литературы

1. Статистика пожаров. Сайт министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, доступен: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari (Доступен на 21.03.2018).
2. World Life Expectancy, доступен: http://www.worldlife expectancy.com (Доступен на 21.03.2018).
3. Статистика гибели на пожарах. Сайт клуба пожарных и спасателей, доступен: https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax/ (Доступен на 21.03.2018).
4. СП 3.13130.2009 «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности».
5. Kevin Ashton. That «Internet of Things» Thing. In the real world, things matter more than ideas // RFID Journal, 22 June 2009.
6. В.К. Сарьян, Н.А. Сущенко, И.А. Дубнов, А.С. Лутохин Прошлое, настоящее и будущее стандартизации Интернета вещей / доступен: http://niir.ru/news/zhurnal-trudy-niir/articles/proshloe-nastoyashhee-i-budushhee-standartizacii-interneta-veshhej/ (Доступен на 21.03.2018).
7. Интернет вещей и умный дом – что это такое, доступен: https://www.iguides.ru/main/gadgets/other_vendors/internet_veshchey_i_umnyy_dom_chto_eto_i_kak_poyavilos/ (Доступен на 21.03.2018).
8. Vargauzin V. Radio network to collect data from sensors, monitoring and control based on the 802.15 standard IEEE. 802.15.4. Jelektronnye komponenty (Electronic components), 2005, vol. 2. pp. 17–21 (in Russian).
9. Галиуллин М.Э. Создание и использование Пространственно-Информационной модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Безопасность в техносфере. Ижевск 2015, № 9. С. 60 – 81.
10. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Романенко А.В., Чигвинцев Г.М. Пространственно-распределенный мониторинг опасных факторов пожара на основе микропроцессорных сенсорных узлов системы управления эвакуацией // Безопасность в техносфере. Ижевск 2016, № 10. С. 17 – 27.

11. Сивков А.М. Двухлучевой счетчик посетителей // Безопасность в техносфере. Ижевск 2016, № 10. С. 63 – 71.
12. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Ваштиев В.К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. - 2015. – Т. 25. – Вып. 3. – С. 430-438.
13. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983.
14. MicrocontrollerATmega128RFA доступен: http://www.atmel.com/devices/atmega128rfa1.aspx(Доступен на 21.03.2018).
15. Fire Dynamic Simulator – FDS. доступен: http://fire.nist.gov/fds/ (Доступен на03.2018).

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF THE ALERT SYSTEM OF ALERT AND EMERGENCY MANAGEMENT AT THE FIRE IN THE BUILDING

V.M. Kolodkin, B.V. Chirkov, D.E. Ushakov
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *kolodkin@rintd.ru, b.v.chirkov@gmail.com, sleepinthewater@gmail.com*

The paper considers issues of increasing the effectiveness of the warning system and evacuation management. It is shown that the requirements for the notification and evacuation management system lead to the need to build a hardware and software complex that represents the computer network, in each node of which there is one or another element of the system (environmental sensors in the building, warning devices, routers, computational elements and their combinations). Each node includes a microcontroller. In a particular case, the nodes are connected via radio. Power supply nodes, as a rule, stand-alone. Combining real-world objects (sensors, routers, etc.) and virtual world objects (models, algorithms, programs, etc.) within a single digital space allows creating effective fire safety systems.

Keywords: Evacuation control, management efficiency, software and hardware, microcontrollers, Internet of Things.

УДК 614.84, 681.51

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ

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

Работа посвящена повышению пожарной безопасности зданий с массовым пребыванием людей. Один из аспектов данной проблемы – совершенствование управления эвакуацией людей из горящего здания, что достигается созданием автоматической системы адаптивного управления эвакуацией в режиме реального времени. С помощью компьютерного моделирования проведена оценка эффективности работы усовершенствованной автоматической системы адаптивного управления эвакуацией. Показано, что при подчинении людей управляющим командам можно достичь повышения эффективности системы управления эвакуацией в сложных ситуациях, когда пути эвакуации не являются очевидными. представлены новые методы, алгоритмы и программы автоматической системы адаптивного управления эвакуацией в режиме реального времени.

Ключевые слова: эвакуация, управление эвакуацией, системы оповещения, проходимость помещения, проектирование путей.

Введение

По данным МЧС России [1], трендом последних пятнадцати лет в стране стало уменьшение количества техногенных пожаров. Количество несчастных случаев со смертельным исходом при пожарах за этот же период сократилось более чем в два раза. Количество погибших при пожарах – это интегральный показатель, на который влияют многие факторы.

Один из наиболее эффективных способов сохранения жизни и здоровья людей при пожаре в здании – эвакуация. В комплексе противопожарных мероприятий для зданий, особенно со сложными архитектурно-планировочными решениями, система оповещения и управления эвакуацией играет весьма значимую роль. Дело в том, что в зданиях со сложными архитектурно-планировочными решениями люди не всегда хорошо ориентируются. Особенно в условиях пожара. В горящем здании люди принимают решение о

направлении движения под влиянием множества факторов. С одной стороны, люди стремятся покинуть горящее здание. С другой – пожар в здании может создать преграды в виде областей, в которых пребывание людей сопряжено с риском для их жизни и здоровья.

Зачастую люди не обладают достаточной информацией о безопасных маршрутах движения до безопасных зон. По этим причинам повышаются требования, предъявляемые к системам оповещения и управления эвакуацией. Современные тенденции таковы, что количество зданий со сложными архитектурно-планировочными решениями для пребывания людей увеличивается. В связи с этим, все большее значение приобретают исследования в области управления эвакуацией людей в режиме реального времени.

Сложность управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени заключается в том, что для проектирования оптимальных путей эвакуации необходимы результаты мониторинга состояния окружающей среды внутри помещений, данные по образованию скоплений людей на путях эвакуации, состоянию эвакуационных выходов и т. д.

Одним из наиболее значимых критериев, определяющих снижение ущерба при пожаре, является успешная эвакуация. Эвакуация, в свою очередь, зависит от множества факторов. Вследствие этого значимо выявить существенные факторы и количественно оценить их влияние на процесс эвакуации. Поэтому в данной работе основное внимание уделено снижению ущерба при пожаре в здании путем указания людям маршрутов эвакуации, которые обеспечивают кратчайшее время достижения безопасных зон. Причем участки путей эвакуации должны отвечать требованиям безопасности.

Постановка задачи

Эвакуация является сложным процессом, на который влияет множество факторов, среди которых можно выделить: распределение и количество людей в здании, архитектурно-планировочные решения здания, сценарии пожара и динамика его развития (место возникновения возгорания, распределение пожарной нагрузки по зданию, продуктов горения и т. д.) и др.

Во время эвакуации многие пути, ведущие к эвакуационным выходам, зачастую оказываются непроходимыми, ввиду образования скопления людей или быстрого развития пожара и распространения продуктов его горения. Об альтернативных, еще проходимых,

путях эвакуации люди в здании могут не знать. Это означает, что существует проблема определения путей до эвакуационных выходов в обход непроходимых участков пути эвакуации.

Современное развитие науки о движении людских потоков и распространении продуктов горения в здании, развитие средств вычислительной техники и программного обеспечения позволяют исследовать сложный процесс эвакуации, выделить наиболее значимые факторы, влияющие на процесс эвакуации, и разработать методы совершенствования и алгоритмы управления эвакуацией.

Выделен количественный показатель, который характеризует эффективность эвакуации – *длительность эвакуации* (время выхода последнего человека из здания).

Здание допускается к эксплуатации без каких-либо ограничений, если отвечает всем требованиям технического регламента о требованиях пожарной безопасности и для наиболее неблагоприятного сценария с блокированием путей эвакуации расчетное значение вероятности гибели одного человека $\leq 10^{-6}$ год$^{-1}$ [6]. Из этого следует, что вероятность эвакуации людей должна удовлетворять условию (1):

$$P_{\text{Э}} \geq \frac{10^{-6}}{Q_{\text{П}} \cdot (1 - K_{\text{АП}}) \cdot P_{\text{ПР}} \cdot (1 - K_{\text{ПЗ}})} \tag{1}$$

где $P_{\text{Э}}$ – вероятность эвакуации людей, $Q_{\text{П}}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года (нормативное значение), год$^{-1}$, $K_{\text{АП}}$ – вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения, $P_{\text{ПР}}$ – вероятность присутствия людей в здании, $K_{\text{ПЗ}}$ – коэффициент соответствия системы противопожарной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

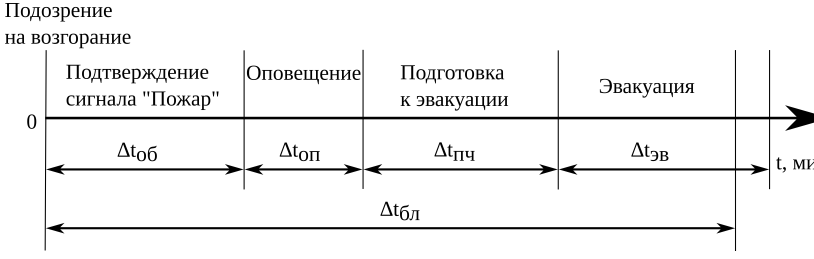


Рисунок 1 — Интервалы времени при пожаре и эвакуации.

Фактически условие (1) означает, что при любом сценарии, из любого помещения в здании, люди должны эвакуироваться ранее, чем пути эвакуации будут заблокирован опасными факторами пожара (ОФП) (пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму).

Условие вероятности эвакуации (1) будет выполнено, если будет выполнено условие (2):

$$\Delta t_{\text{об}} + \Delta t_{\text{оп}} + \Delta t_{\text{пч}} + \Delta t_{\text{эв}} \leq k \cdot \Delta t_{\text{бл}} \qquad (2)$$

где $\Delta t_{\text{об}}$ – временной интервал до обнаружения возгорания, $\Delta t_{\text{оп}}$ – временной интервал оповещения людей о пожаре, $\Delta t_{\text{пч}}$ – временной интервал задержки эвакуации, $\Delta t_{\text{эв}}$ – временной интервал эвакуации всех людей из здания по безопасным путям (длительность эвакуации), k – коэффициент надежности, $\Delta t_{\text{бл}}$ – временной интервал до начала блокирования путей эвакуации ОФП. Временные интервалы и отсчитываются с момента возникновения пожара (рисунок 1).

Интервал времени $\Delta t_{\text{об}}$ определяется характеристиками системы обнаружения пожара, $\Delta t_{\text{оп}}$ – техническими характеристиками системы оповещения (инерционностью системы оповещения). Численные значения $\Delta t_{\text{об}}$ и $\Delta t_{\text{оп}}$ варьируются в широком диапазоне, но могут быть доведены до величин, близких к минимальным. Поэтому численное значение левой части неравенства (1) определяется значениями и , которые в значительной степени зависят от возможностей СОУЭ.

Величина временного интервала до начала блокирования путей эвакуации $\Delta t_{\text{бл}}$ зависит от имманентных свойств здания, динамики распространения продуктов горения и др. И, следовательно, этой величиной в большинстве случаев управлять затруднительно.

Таким образом, необходимым условием для успешной эвакуации людей из здания при пожаре (выполнение условия (2) является построение таких систем управления эвакуацией, которые обеспечивают минимальное время эвакуации по безопасным путям, т. е. путям, на которых значения параметров продуктов горения не достигли критических для человека значений.

В качестве количественной характеристики для исследования и анализа процесса управления эвакуацией принята *длительность*

эвакуации – $\Delta t_{эв}$. Исследование влияния количества людей в здании на процесс эвакуации проводилось в двух режимах: при отсутствии и наличии блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.

Применительно к теме исследования компьютерное моделирование позволило детально исследовать ход эвакуации в зависимости от различных факторов, в том числе – сценариев развития пожара (место возникновения и мощность очага пожара, количество и распределение людей в здании и др.) и разработать и апробировать методы совершенствования и алгоритмы управления процессом эвакуации.

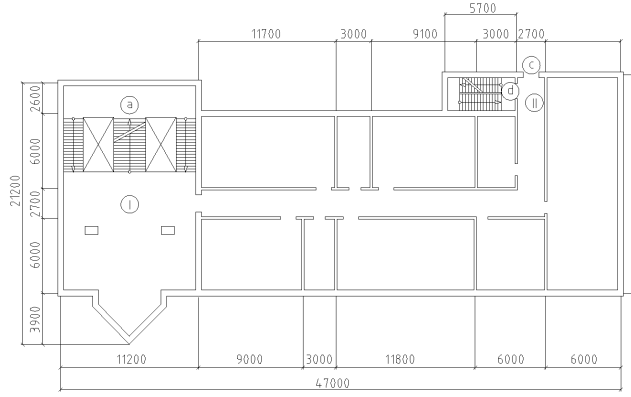


Рисунок 2 — Схема первого этажа части трехэтажного здания.

Методика компьютерного исследования влияния распространения продуктов горения на процесс эвакуации включает в себя создание трехмерной модели здания, формирование сценариев пожара (ввод параметров «очага возгорания», определение наблюдаемых параметров и др.), компьютерное моделирование распространения продуктов горения в здании, обработку результатов моделирования и формирование входных данных для программы моделирования управляемого движения людских потоков в горящем здании.

В качестве одного из полигонов для моделирования в настоящей работе использована часть здания, включающая три этажа. Схема первого этажа приведена на рисунке 2.

При пожаре в помещении № 1 трехэтажного здания (рисунок 2) первым блокируется часть эвакуационного пути, который проходит через данное помещение, на 65 секунде после начала возгорания. Задымление лестничной клетки до состояния непроходимости происходит в течение 120 секунд. После этого дым поступает в коридоры и приводит к их частичному блокированию.

Времена блокирования участков путей эвакуации фиксировалось по результатам компьютерного моделирования распространения продуктов горения при пожаре в здании и передавалось в модель управляемого движения людских потоков.

Во время эвакуации блокирование участка пути эвакуации приводит к необходимости поиска альтернативных маршрутов, еще не заблокированных продуктами горения, для оставшихся людей в здании. Для этого, в рамках исследования, разработан метод адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени (далее – метод адаптивного управления эвакуацией).

Разработанный метод основан на использовании модели управляемого движения людских потоков в здании при пожаре. Исходный код реализации модели представлен по адресу `https://github.com/rintd/jSimulationMoving` [2].

Методика исследования управляемого движения людских потоков в здании при блокировании путей эвакуации ОФП включает: создание двумерной поэтажной пространственно-информационной модели (ПИМ) здания [3], которая содержит информацию о геометрических характеристиках здания, связях между помещениями и др., компьютерное моделирование управляемого движения людских потоков в здании при пожаре, обработку и анализ результатов моделирования.

Перед моделированием управляемого движения людей ПИМ здания представляется в виде двудольного графа $G = (U, E)$, $Z, T \neq \varnothing, Z \cup T = U, Z \cap T = \varnothing$, где Z – множество помещений (или частей помещений – зон) и безопасных зон, T – множество проемов (дверей), E – множество ребер. Каждый элемент множества T имеет 2 ребра. Вес каждого узла из множества Z определен временем достижения эвакуационного выхода из него. Вес каждого узла из множества T – шириной проема (двери). Обход графа осуществляется по узлам из множества Z по алгоритму Дейкстры, узлы множества T выполняют роль взвешенных ребер. На рисунке 3 представлена визуализация графа, полученного из ПИМ здания.

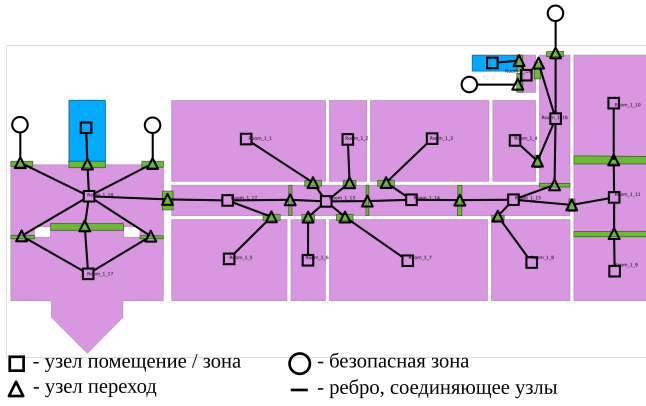


Рисунок 3 — Визуализация графа элементов здания-полигона.

В разработанной модели [4] управляемого движения людей в здании заложена зависимость (3), связывающая скорость движения людского потока V и его плотность D. Зависимость установлена профессором В. В. Холщевниковым [5] по результатам натурных наблюдений и экспериментов, насчитывающих более 24 тыс. замеров скорости людского потока.

$$V_{D_j} = V_{0_j} \cdot \left(1 - a_j \cdot ln\frac{D_j}{D_{0_j}}\right) \tag{3}$$

где V_{0_j} – случайная величина скорости свободного движения (при отсутствии влияния окружающих людей), м/мин; a_j – коэффициент, определяющий степень влияния плотности людского потока на скорость его движения по j-му виду пути; D_j – текущее значение плотности людского потока, чел./м^2; D_{0_j} – пороговое значение плотности людского потока, по достижении которого, плотность становится фактором, влияющим на скорость движения, чел./м^2.

Алгоритмы управления эвакуацией из горящего здания обеспечивают проектирование минимальных по времени безопасных маршрутов с учетом начального количества и распределения людей в здании и времени блокирования путей эвакуации. Причем про-

ектирование путей эвакуации осуществляться в режиме реального времени.

По разработанному методу адаптивного управления эвакуацией направление движения людского потока из каждого помещения (или зоны) определяется условием минимума времени, необходимого для полного освобождения здания при управляемой эвакуации, т. е. из множества безопасных путей движения людских потоков при эвакуации выбираются такие, которые обеспечивают минимум временного интервала эвакуации – $min(\Delta t_{эв})$. Если обозначить относительную долю людей, остающихся в здании к моменту времени t (с начала процесса эвакуации) – $\delta(t)$, то временной интервал эвакуации $\Delta t_{эв}$ будет определяться условием $\delta(\Delta t_{эв}) = 0$. Теоретически возможно, что $\delta(t) \neq 0$ для любого значения t. В этом случае временной интервал эвакуации $\Delta t_{эв}$ будет определяться условием $\frac{\partial\delta(\Delta t_{эв})}{\partial t} = 0$. Условие $\delta(t) \neq 0$ при $t \to \infty$ фактически означает, что в сложившихся условиях не существует безопасных путей движения, которые обеспечивали бы эвакуацию всех людей.

В настоящей работе для определения безопасных путей эвакуации развивается метод двухпорогового мониторинга опасных факторов пожара и мониторинга количества и распределения людей в здании (далее – метод мониторинга). Согласно этому методу необходимо иметь информацию о времени обнаружения возгорания (первый порог – детектирование продуктов горения), о времени блокирования (второй порог – достижение значений параметров продуктов горения критических для человека) в помещении (зоне), о количестве людей в здании и их распределении по помещениям (зонам) в режиме реального времени. В рамках разработанного метода введена функция распределения проходимости. Анализ значений функции проходимости по помещениям (зонам) здания позволяет выделить пути эвакуации, которые в условиях пожара становятся непроходимыми для людей. Для человека в каждом помещении (зоне) здания значение функции может изменяться от 1 (полная проходимость) до 0 (полная непроходимость).

В соответствии с методом мониторинга опасных факторов пожара в здании, от которых зависит функция распределения проходимости, разделены на две группы. В первую группу входят показатели, значения которых в основном возрастают при возникновении пожара: температура, тепловой поток, содержание хлористого водорода, углекислого и угарного газов. Во вторую группу попали показатели, значения которых в основном убывают

при возникновении пожара: предельная дальность видимости и содержание кислорода в воздухе. [7]

Положим, ε_i^j – значение i-го фактора пожара из j-ой группы, ξ_i^j – критическое значение i-го фактора пожара из j-ой группы, C_i^j – фоновое значение i-го фактора пожара из j-ой группы. Тогда функцию проходимости p_i^j, в зависимости от значений факторов пожара в помещении, можно аппроксимировать выражениями (4) и (5):

$$p_i^1 = 1 - \frac{\varepsilon_i^1 - C_i^1}{\xi_i^1 - C_i^1}, \quad \text{для значений первой группы} \tag{4}$$

$$p_i^2 = \frac{\varepsilon_i^2 - C_i^2}{\xi_i^2 - C_i^2} - 1, \quad \text{для значений второй группы} \tag{5}$$

В связи с отсутствием достоверных данных по воздействию продуктов горения и их совместного влияния на характеристики движения людского потока в предложенной методике исследования управляемого движения людских потоков в здании при пожаре функция проходимости в помещении (зоне) здания аппроксимирована ступенчатой функцией, т. е. если значения параметров опасных факторов пожара в помещении (зоне) не достигли критических значений, то математическое ожидание модуля скорости людского потока соответствует выражению (3). В противном случае математическое ожидание модуля скорости в этом помещении (зоне) принимается равным нулю.

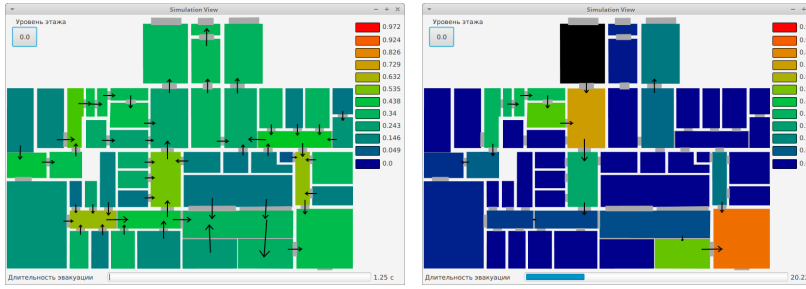
Для исследования зависимости длительности эвакуации от степени неоднородности распределения людей по помещениям в здании на момент начала эвакуации, разработан алгоритм распределения людей с заданной плотностью по помещениям.

В рамках данной работы положим, что размещение людей по любому из помещений (зон) здания отвечает равномерной (или ступенчатой по зонам) функции распределения. Распределение характеризуется плотностью людей, то есть количеством людей на единицу площади. Размещение людей по помещениям в здании перед началом компьютерного моделирования процесса эвакуации проведено по следующему алгоритму: задается плотность начального распределения людей d_0 и степень ее неоднородности $K = \frac{d_1}{d_2}$, где $d_1 = \frac{2 \cdot d_0 \cdot K}{K+1}$, $d_2 = \frac{2 \cdot d_0}{K+1}$. Плотность людей d_1 устанавливается в зонах, которые выбираются из списка помещений (зон) здания случайным образом. Это размещение

происходит до тех пор, пока суммарная площадь выбранных зон не будет равняться половине площади здания. В оставшихся зонах устанавливается плотность d_2.

Для визуализации результатов моделирования в данной работе разработано настольное приложение jSimulationView. Оно позволяет наблюдать изменение во времени плотности людей в помещениях (цвета), направления движения потоков людей (стрелки) и конфигурацию путей эвакуации (рисунок).

На рисунке 4 представлен процесс эвакуации в одноэтажном здании по одному из сценариев: а) момент времени $t = 1.25$ с – началось движение людей, стрелками обозначены направления движения людских потоков; б) момент времени $t = 20.22$ с – произошло блокирование помещения, которое перекрыло эвакуационный выход, потоки людей перенаправляются к другому выходу.



а) б)

Рисунок 4 — Визуализация движения людских потоков в одноэтажном здании при эвакуации: а) момент времени $t = 1.25$ с; б) момент времени $t = 20.22$ с

По рисунку 4 видно, что после блокирования эвакуационного выхода, произошло перестроение путей эвакуации и перенаправление людских потоков.

Исследование основных факторов, влияющих на процесс эвакуации

На процесс эвакуации людей из горящего здания воздействует ряд факторов, среди которых, по результатам предварительного исследования, необходимо выделить значимые: количество людей в здании, распределение людей по помещениям здания до

начала эвакуации и время начала блокирования эвакуационных путей. Это факторы, которые нельзя зафиксировать в модели, и которые оказывают прямое воздействие на целевую функцию – минимизацию времени эвакуации по безопасным путям.

Оценка временного интервала до начала блокирования участков путей эвакуации с момента начала возгорания проводилась с использованием программного комплекса моделирования распространения продуктов горения в здании – FDS [8]. Наибольший интерес представляли участки путей эвакуации, в которых пожар приводил к блокированию эвакуационных выходов.

Следует отметить, что на процесс эвакуации также оказывает влияние архитектурно-планировочное решение здания. Влияние проявляется в различиях по протяженности и видам пути (например, лестницы и др.) до эвакуационных выходов.

Другие факторы, влияющие на процесс эвакуации, связаны с людьми, которые находятся в здании (количество и распределение людей по помещениям здания и др.). Значения этих факторов по своей природе являются случайными, зависящими от множества обстоятельств. В связи с этим в ходе данной работы было проведено более 1 млн. компьютерных экспериментов управляемой эвакуации с различными начальными распределениями людей по помещениям ряда зданий.

На рисунках 6а и 6б представлены графики, полученные в результате компьютерного моделирования управляемого движения людских потоков при коэффициенте различия плотности $K = 2$, в а) трехэтажном сегменте здания (рисунок 2), б) одноэтажном здании (рисунок 5). Общее количество повторений эксперимента составило 28000. Точки графиков представлены с указанием среднеквадратичного отклонения $\pm 1\sigma$.

Графики на рисунках 6а и 6б иллюстрируют зависимость времени эвакуации людей по безопасным путям из здания от плотности начального распределения людей. Блокирование эвакуационного выхода приводит увеличению длительности эвакуации для каждого здания. Например, увеличение плотности начального распределения людей в трехэтажном здании с 0.1 до 1.4 чел./м^2, соответствует десятикратному увеличению длительности эвакуации, если выход «А» был заблокирован опасными факторами пожара.

Существенное влияние на длительность эвакуации оказывает степень неоднородности распределения людей по помещениям в здании до начала эвакуации.

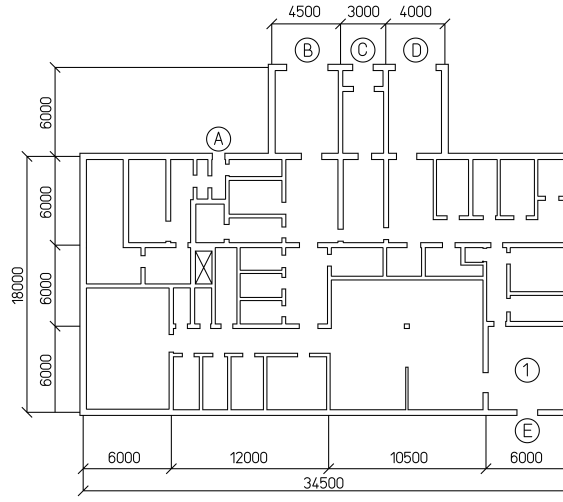
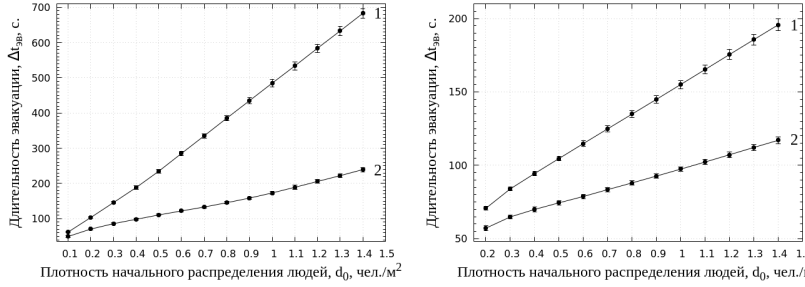


Рисунок 5 — Схема одноэтажного здания (размеры в миллиметрах). A, B, C, D эвакуационные выходы. 1, 2, 3 – помещения сценариев пожара.



а) б)

Рисунок 6 — Зависимость длительности эвакуации от плотности начального распределения людей при коэффициенте различия плотности $K = 2$ для трехэтажного (а) и одноэтажного (б) зданий: 1 – при блокировании эвакуационного выхода «А» в момент начала эвакуации; 2 – при отсутствии блокирования путей эвакуации.

На рисунке 7 представлены данные по зависимости длительности эвакуации от коэффициента распределения плотности на модели трехэтажного сегмента здания-полигона (рисунок 2) при условии отсутствия блокирования путей эвакуации. Коэффициент K изменялся в диапазоне от 2 до 14 при плотности начального распределения людей $d_0 = 0.2$ чел./м^2. Количество повторений эксперимента – 1000 для каждого значения K.

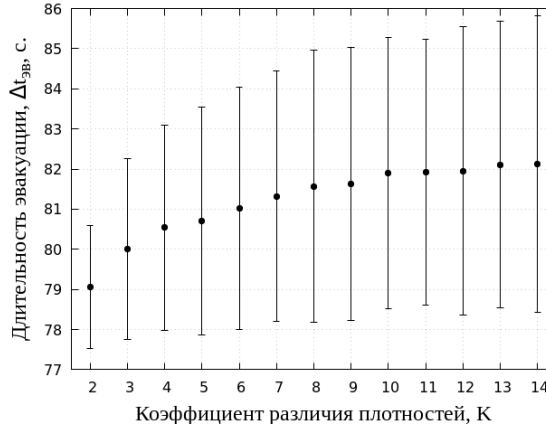


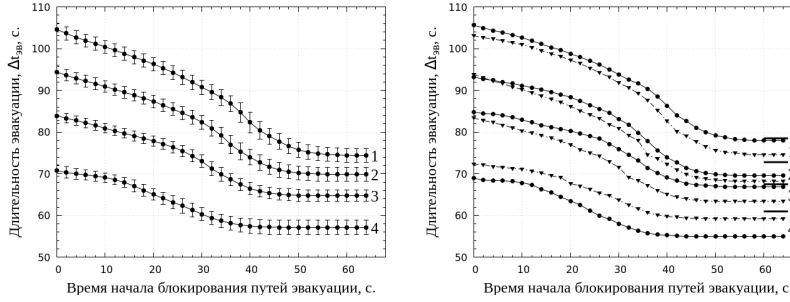
Рисунок 7 — Зависимость длительности эвакуации от коэффициента различия плотности.

По диаграмме рисунка 7 можно отметить, что в общем случае наблюдается тенденция увеличения длительности эвакуации и разброса возможных значений. Среднеквадратичное отклонение возросло с 1.5 до 3.5 секунд при увеличении K с 2 до 14. Начиная с $K = 10$ увеличение коэффициента слабо влияет на длительность эвакуации, но некоторые варианты распределения людей приводят к увеличению σ и длительности эвакуации. Поэтому, одно из основных свойств метода адаптивного управления эвакуацией заключается в возможности адаптивного перераспределения людей по альтернативным безопасным путям эвакуации.

Кроме количества и распределения людей в здании на длительность эвакуации влияет время начала блокирования путей эвакуации продуктами горения. Блокирование путей эвакуации может произойти в любой момент времени от начала возгорания до выхода последнего человека из здания. В данной работе рассматриваются

моменты начала блокирования, которые произошли после начала эвакуации.

На рисунках 8а и 8б представлены графики изменения длительности эвакуации из здания в зависимости от времени начала блокирования эвакуационного выхода «А» (рисунок 5) продуктами горения. Моделирование эвакуации осуществлялось с разным временем начала блокирования эвакуационного выхода «А» от 0 секунд (т. е. с момента начала эвакуации) до 64 с. (т. е. до момента прекращения влияния блокирования на процесс эвакуации) с шагом 2 с. Для графиков рисунка 8а каждая вариация времени до начала блокирования путей эвакуации моделировалась по 1000 раз, что в общей сложности составило 132000 экспериментов. На графиках рисунка 8б изображены результаты 264 экспериментов. Графики получены при сохранении одинакового распределения людей по помещениям (зонам) здания на момент начала эвакуации на всем интервале изменения времени начала блокирования эвакуационных путей. На рисунке 8б представлены частные случаи изменения длительности эвакуации в зависимости от изменения времени начала блокирования путей эвакуации при различном начальном распределении людей по помещениям (зонам) здания.



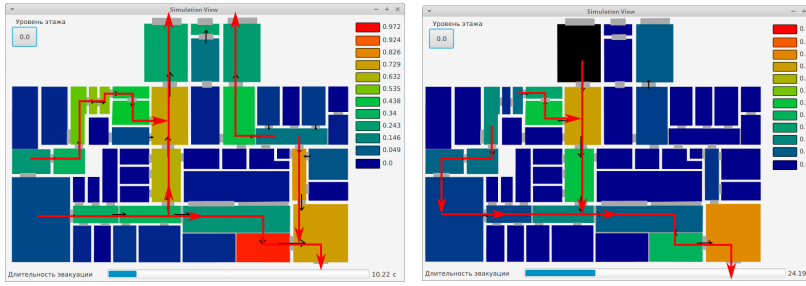
а) б)

Рисунок 8 — Зависимость длительности эвакуации от времени начала блокирования эвакуационного выхода «А» в одноэтажном здании (рисунок 5) при коэффициенте различия плотности $K = 2$: 1 – $d_0 = 0.5$ чел./м^2; 2 – $d_0 = 0.4$ чел./м^2; 3 – $d_0 = 0.3$ чел./м^2; 4 – $d_0 = 0.2$ чел./м^2.

Из рисунков 8а и 8б следует, что длительность эвакуации уменьшается с увеличением времени начала блокирования путей

эвакуации. Это происходит потому, что они дольше остаются доступными для движения и для меньшего количества людей меняется маршрут эвакуации. Уменьшение длительности эвакуации происходит до тех пор, пока блокирование путей эвакуации не прекращает оказывать влияния на процессы эвакуации, т. е. блокирование происходит после того, как все люди покинут здание. После этого значения длительности эвакуации стабилизируется возле одной величины. Например, для графика № 3 рисунка 8а данная величина составляет ≈ 65 с.

На рисунках 9а и 9б продемонстрировано развитие одного из множества экспериментов (одного из 132000 тыс.), результаты которых представлены на графиках рисунков 8а и 8б: $d_0 = 0.2$ чел./м^2, $K = 2$, время начала блокирования эвакуационного выхода «А» $t_{бл} = 20$ с. Стрелками показаны пути и направления движения людских потоков, цветом – плотности распределения людей.



а) б)

Рисунок 9 — Визуализация смены направлений движения людских потоков при блокировании помещения №1 (рисунок 5) через 20 секунд после начала эвакуации: а) $t = 10.22$ с – помещение не заблокировано; б) $t = 24.19$ с – помещение заблокировано.

На рисунке 9а обозначены пути движения людских потоков до блокирования эвакуационных путей. На рисунке 9б видно, что направления изменились в связи с блокированием части эвакуационного пути (помещения обозначено черным цветом), что привело к увеличению длины пути для людей, направлявшихся к эвакуационному выходу «А». Изменение маршрута привело к

увеличению длительности эвакуации, но позволило «эвакуировать всех людей из здания».

Таким образом, из проведенных исследований следует, что блокирование путей эвакуации оказывает воздействие на процессы и длительность эвакуации. Поэтому, совершенствование управления эвакуацией должно заключаться в развитии двухпорогового мониторига опасных факторов пожара и мониторинга количества и распределения людей по помещениям (зонам) здания. Такой мониторинг позволит адаптировать управление эвакуацией к меняющимся условиям в режиме реального времени.

Для оценки эффективности разработанного метода адаптивного управления эвакуацией воспользуемся результатами математического моделирования процесса управляемой эвакуации из здании при пожаре, схема которого представлена на рисунке 10. Здание, общей площадью для размещения людей $S_{\text{зд}} = 520$ м^2, имеет два эвакуационных выхода, которые отмечены символами «A» и «B». Представленная конфигурация позволяет в наиболее просто продемонстрировать эффективность метода для конкретного здания.

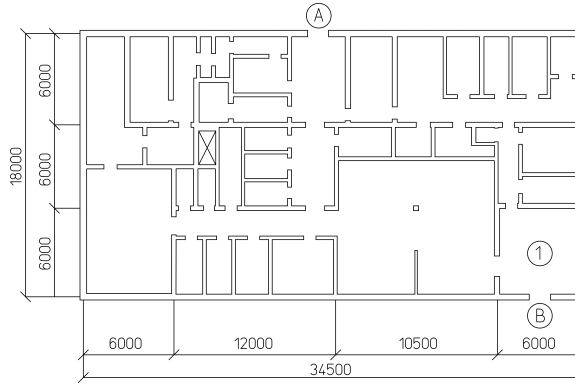


Рисунок 10 — Схема здания: A, B – эвакуационные выходы из здания; 1 – помещение, блокируемое продуктами горения.

Динамика выхода людей из здания представлена на рисунке 11 при $d_0 = 0.1$ чел./м^2, $K = 2$. Кривые, помеченные символом «a» соответствуют случаю, когда людям доступны все пути эвакуации. Кривые «2a» и «3a» иллюстрируют зависимость количества людей, выходящих через выходы «A» и «B», соответственно. Зависимость, помеченная «1a», иллюстрирует динамику освобождения людьми

здания через оба выхода (фактически, кривая «1а» соответствует количеству людей в безопасной зоне). Учитывая случайный характер начального распределения людей по помещениям здания, для каждого набора входных данных анализировались результаты 1000 экспериментов.

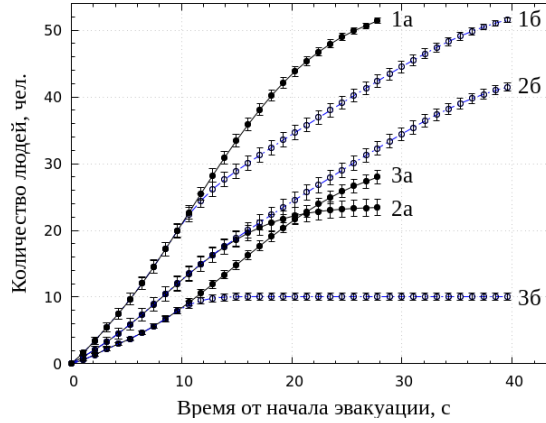


Рисунок 11 — Зависимости количества людей, вышедших из здания, от интервала времени с начала эвакуации при начальной плотности распределения людей $d_0 = 0.1$ чел./м^2, коэффициенте различия плотности $K = 2$: «а» – без блокирования путей эвакуации; «б» – при блокировании эвакуационного выхода «В» (рисунок 5) через 10 с после начала эвакуации.

Для определенности положим, что в результате пожара выход «В» заблокирован на десятой секунде с начала процесса эвакуации. Вследствие блокирования количество людей, выходящих через выход «В» сократилось, что показано на рисунке 11 кривой «3б». Модель управляемого движения, с учетом информации о блокировании выхода «В», в автоматическом режиме направляет людей к выходу из здания «А» (кривая «2б»). Кривая «1б» иллюстрирует динамику достижения людьми безопасной зоны при блокировании части эвакуационного пути. Длительность эвакуации при этом увеличивается на 12 секунд за счет удлинения путей эвакуации, но все люди выходят из здания по безопасным путям.

Введем понятие *эффективности управления эвакуацией*, под которой будем понимать величину предотвращенного ущерба, т. е. количество спасенных жизней, которое может быть достигнуто при применении предложенных методов и алгоритмов.

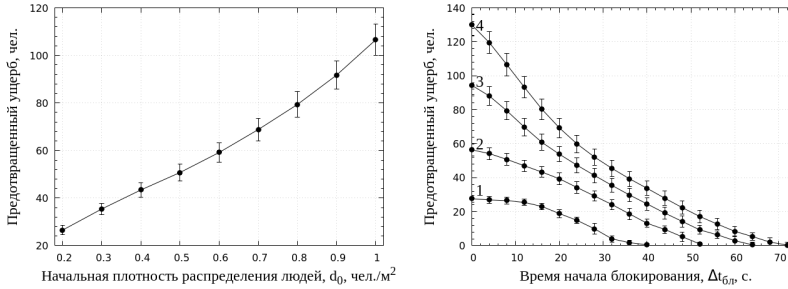
Для одноэтажного здания (рисунок 10) предотвращённый ущерб составляет 9 человек. То есть при блокировании эвакуационного пути типовая система управления эвакуацией не адаптировалась бы к изменяющимся условиям в горящем здании и людской поток по-прежнему был бы направлен к выходу «В», что могло привести к гибели 9 человек.

На рисунке 12а представлен график зависимости предотвращенного ущерба от плотности начального распределения людей по помещениям (зонам) в здании (рисунок 10). Из графика следует, что если плотность начального распределения людей по помещениям здания возрастает до 1 чел./м^2, т. е. до 520 чел. в здании, то величина предотвращенного ущерба достигает величины 107 человек. Это означает, что эффективность применения метода адаптивного управления эвакуацией зависит от количества людей в здании.

На рисунке 12б представлены графики зависимости предотвращенного ущерба от времени начала блокирования эвакуационного выхода «А» здания (рисунок 10). График № 1 получен при $d_0 =$ 0.2 чел./м^2, 2 – $d_0 = 0.5$ чел./м^2, 3 – $d_0 = 0.8$ чел./м^2, 4 – $d_0 = 1.0$ чел./м^2. Коэффициент различия плотности $K = 2$, количество экспериментов – 1000 для каждой точки графиков.

На графиках рисунка 12б можно заметить, что эффективность применения метода адаптивного управления эвакуацией достигает максимальных значений при блокировании эвакуационного выхода «А» в момент начала эвакуации и снижается до тех пор, пока время начала блокирования эвакуационного пути не превысит длительность эвакуации и воздействие продуктов горения на людей прекратится. Так, при плотности начального распределения 0.2 чел./м^2 (кривая под номером 1, в здании размещено 104 человека) предотвращенный ущерб меняется с 28 человек при блокировании эвакуационного пути в момент начала эвакуации до 0 человек при блокировании через 40 секунд с момента начала эвакуации.

Исследование эффективности управления эвакуацией показало, что предотвращенный ущерб зависит и от имманентных свойств здания, и от характеристик процесса эвакуации. По результатам проведенных исследований:



а) б)

Рисунок 12 — Зависимость предотвращенного ущерба: а) от плотности распределения людей по помещениям здания (рисунок 10) при блокировании помещения № 1 продуктами горения через 10 секунд после начала эвакуации; б) от времени начала блокирования помещения № 1 (рисунок 10) продуктами горения после начала эвакуации.

1. разработан метод адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени, основанный на использовании модели управляемого движения людских потоков в здании при пожаре;

2. развит метод двухпорогового мониторинга опасных факторов пожара и мониторинга количества и распределения людей в здании, основанный на двухпороговом детектировании опасных факторов пожара и мониторинге количества и распределения людей по помещениям (зонам) в здании.

В рамках допущений потоковой модели движения людей в здании установлены следующие закономерности процессов эвакуации людей при пожаре: к увеличению длительности эвакуации и ее вариаций ведут увеличение количества людей и степени неоднородности начального распределения людей в здании; к снижению длительности и повышению безопасности эвакуации ведет увеличение интервала времени до начала блокирования путей продуктами горения с момента начала эвакуации.

Рассматривая эвакуацию людей как сложную систему, выделены факторы, которые определяют успешность эвакуации: минимизация времени по безопасным путям, адаптивность и функционирование

в реальном времени. В четвертой главе представлен макет системы, который демонстрирует возможность построения такой СОУЭ.

Программно-аппаратный комплекс системы адаптивного управления эвакуацией людей

Согласно методу адаптивного управления эвакуацией и методу мониторинга, усовершенствованная система управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени должна удовлетворять следующим требованиям:

1. иметь функциональную возможность указывать людям в здании при пожаре пути эвакуации, которые обеспечивают минимальное значение целевой функции – время эвакуации людей по безопасным путям из здания в условиях пожара;

2. иметь возможность обеспечить адаптивность к изменяющимся условиям в здании, т. е. пути эвакуации должны проектироваться с учетом количества людей, движения людских потоков, мест блокирования, динамики развития пожара и др.;

3. работать в режиме реального времени. Для поддержания режима реального времени проектирование путей движения людей должно происходить быстрее, чем изменение наблюдаемых параметров в здании, т. е. с опережением по времени. Усовершенствованная система должна поддерживать расчет возможных скоплений людей с опережением реального времени и заблаговременно перераспределять их по кратчайшим по времени безопасным путям.

Сформулированные требования определили функциональные подсистемы, которые должны обеспечивать работу усовершенствованной системы управления эвакуацией (рисунок 13): подсистема мониторинга параметров окружающей среды, количества и размещения людей в помещениях (зонах) здания; подсистема управления и подсистема светового и звукового оповещения (информирования) людей.

Подсистема мониторинга предназначена для обнаружения возгорания и локализации помещения (зоны) с его очагом, получения данных о достижении параметров ОФП порога непроходимости в помещениях (зонах) путем мониторинга значений температуры, уровня задымленности помещений и других ОФП, а также количества людей в помещениях (зонах) и в здании.

Рисунок 13 — Функциональная схема автоматической системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени.

Подсистема управления предназначена для приема и обработки информации от подсистемы мониторинга. Результатом работы подсистемы управления являются кратчайшие по времени безопасные пути эвакуации и набор команд, для подсистемы информирования.

Подсистема информирования предназначена для светового и звукового оповещение эвакуирующихся о спроектированных путях. Она включает в себя звуковые и световые оповещатели. Световые оповещатели являются динамическими, т. е. могут менять указываемое направление.

На рисунке 14 представлена структурная схема усовершенствованной системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени.

Исходя из определенной функциональной схемы системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания обозначим режимы ее функционирования:

1. мониторинг – осуществляется сбор информации о контролируемых параметров окружающей среды в помещениях здания с узлов сети;

2. идентификация пожара – осуществляется обработка результатов мониторинга, оценка ситуации и принятие решения о переходе в следующий режим;

3. управление эвакуацией – осуществляется моделирование управляемой эвакуации, проектирование путей и информирование о них людей, находящихся в здании;

4. директивное управление – ручное управление эвакуацией лицом, уполномоченным принимать решения.

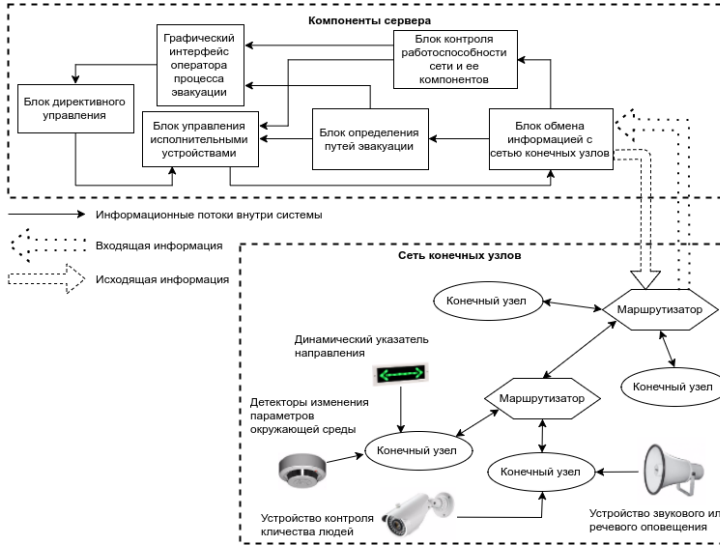


Рисунок 14 — Структурная схема усовершенствованной системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре в режиме реального времени.

Основной режим работы системы – режим мониторинга. В этом режиме узлы системы должны проводить замеры параметров окружающей среды с заданным интервалом и проводить первичную оценка ситуации. При обнаружении превышения фоновых значений наблюдаемых параметров продуктов горения подсистема управления переводит систему в режим идентификации пожара, т. е. сбор полной информации путем непрерывного мониторинга параметров окружающей среды. При подтверждении обнаружения пожара система переходит в режим управления эвакуацией для проектирования кратчайших по времени безопасных путей эвакуации и передачи данных о них в подсистему информирования. В ином случае – возвращает систему в режим мониторинга. Переход в режим директивного управления допускается в любой момент работы системы.

Построение системы управления эвакуацией людей из здания при пожаре по предложенным методам, по сравнению с типовыми

СОУЭ, приведет к усложнению ее структуры, узлов детектирования параметров окружающей среды в помещениях (зонах) здания, появлению узлов новых типов и необходимости в специальном программном обеспечении. Это потенциально может привести к удорожанию системы. В свою очередь использование усовершенствованной системы может обеспечить повышение вероятности эвакуации всех людей и, соответственно, снижение пожарного риска для людей в здании.

В рамках исследования для проверки работоспособности разработанных методов совершенствования и алгоритмов управления эвакуацией создан макет системы в виде программно-аппаратного комплекса (ПАК), который основан на предлагаемой на рисунке 14 структуре СОУЭ. Основным преимуществом ПАК и его новизной является возможность адаптивного перестроения путей эвакуации в режиме реального времени и оповещение людей об изменении путей движения до эвакуационных выходов.

В текущей реализации макет ПАК включает сеть ячеистой топологии из нескольких десятков узлов, которые объединены по радиоканалу. Устройства подразделяются на типы: сервер, маршрутизатор, конечный узел. Часть конечных узлов оборудована дымовыми извещателями и детекторами температуры окружающей среды в помещениях, остальные – динамическими световыми указателями.

Основой аппаратной части конечных узлов и маршрутизаторов являются микроконтроллеры ATmega128RFA1 [3]. Они обеспечивают беспроводную передачу данных на скорости до 2 Мбит/сек., поддерживают шифрование по алгоритму AES 256, удовлетворяют требованиям экономичного энергопотребления и универсальности.

Заключение

1. Анализ существующих систем управления эвакуацией показал, что они в большей степени выполняют функцию оповещения, чем управления. В настоящее время в России не представлены системы оповещения и управления эвакуацией, возможности которых допускают автоматическое проектирование в режиме реального времени кратчайших по времени безопасных путей эвакуации и доведение их до людей посредством использования речевых и динамических световых оповещателей.

2. Формализованы основные факторы, влияющие на процесс эвакуации людей из здания при пожаре: место и время начала блокирования путей эвакуации, количество людей и их распределение в здании. Установлены следующие закономерности процессов эвакуации людей из здания при пожаре: к увеличению длительности эвакуации приводит увеличение количества людей и степени неоднородности начального распределения людей в здании; к снижению длительности эвакуации приводит увеличение интервала времени до начала блокирования путей эвакуации.

3. Разработаны методы совершенствования и алгоритмы управления эвакуацией людей из здания при пожаре, которые обеспечивают проектирование безопасных и кратчайших по времени путей эвакуации в режиме реального времени. Разработанные методы предполагают двухпороговый мониторинг опасных факторов пожара, мониторинг количества и распределения людей в здании и адаптивное управление эвакуацией людей из здания в режиме реального времени.

4. Предложен критерий эффективности управления эвакуацией (величина предотвращенного ущерба при пожаре в здании). Оценка эффективности показала, что для рассмотренных зданий использование разработанных метода и алгоритмов позволит снизить ущерб до нуля.

5. Построен макет автоматической системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре, работающий в режиме реального времени, который подтвердил работоспособность разработанных алгоритмов, программного обеспечения в виде программно-аппаратного комплекса. Он реализует автоматическое проектирование кратчайших по времени безопасных путей эвакуации и доведение информации о них посредством динамических световых указателей.

Список литературы

1. МЧС России. Статистика. Пожары. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari (Дата обращения: 02.11.2017)

2. Чирков Б.В., Колодкин В.М., Морозов О.А., Варламов Д.В., Ваштиев В.К. «Программа проектирования путей эвакуации людей из здания в условиях чрезвычайной ситуации».

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 10 сентября 2015 года № 2015619708.

3. Галиуллин М. Э. Создание и использование пространственно-информационной модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Безопасность в техносфере. — 2015. — № 9. — С. 60–81.
4. Колодкин В. М., Чирков Б. В., Ваштиев В. К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. — 2015. — Т. 25. — Вып. 3. — С. 430–438.
5. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. д-ра техн. наук. — М., 1983.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: утв. приказом МЧС России от 30.06.2009 г. № 382: зарегистрировано в Минюсте России 6.08.2009 г. № 14486 (в ред. приказа МЧС России от 12.12.2011 № 749). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Колодкин В. М., Чирков Б. В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере. — 2017. — Т. 6. — №. 4. — С. 58-65. DOI: 10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137.
8. Fire Dynamic Simulator — FDS. URL: http://fire.nist.gov/fds/ (дата обращения: 01.03.2017)
9. Microcontroller ATmega128RFA1. URL: http://www.atmel.com/devices/atmega128rfa1.aspx (дата обращения: 02.03.2017).

METHODS OF PERFECTION AND ALGORITHMS OF EVACUATION MANAGEMENT FROM THE BUILDING

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

The work is devoted to the increase of fire safety of buildings with a massive stay of people. One aspect of this problem is improving the management of the evacuation of people from a burning building, which is achieved by creating an automatic adaptive evacuation management system in real time. With the help of computer modeling, the efficiency of the automated automatic evacuation control system was evaluated. It is shown that when people are subordinated to the management teams, it is possible to increase the effectiveness of the evacuation management system in difficult situations when the evacuation routes are not obvious. new methods, algorithms, and programs of the automatic system of adaptive control of evacuation in a mode of real-time are presented.

Keywords: evacuation, evacuation management, warning systems, patency of premises, design of roads.

УДК 004.93’1

ПРОТОКОЛ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

А.М. Сивков
Удмурсткий Государственный Университет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *amsiv@mail.ru*

В статье описывается разработанный автором специализированный протокол двухпроводной последовательной передачи цифровых данных между центральным узлом и периферийными устройствами. Особенностью протокола является его простота и нетребовательность к стабильности тактовой частоты связываемых устройств.

Ключевые слова: протокол, последовательная передача данных.

Введение

В системах безопасности нередко требуется обеспечить связь устройств по принципу «один ко многим», то есть, например, связь центрального узла сбора информации с несколькими интеллектуальными датчиками. Если сигналы передаются по проводам, число проводников в линии связи должно быть минимальным. Кроме того, важно обеспечить необходимую степень синхронизации между передающим и приёмным устройствами при условии, что тактовые частоты контроллеров устройств не только не одинаковы, но ещё и не стабильны.

Стандартный протокол последовательной передачи данных SPI рассчитан как раз на случай нестабильной тактовой частоты, и именно в этом его достоинство. Но у протокола SPI есть и недостаток. Если к центральному узлу подключается N периферийных устройств, в линии связи должно быть $N + 3$ проводников. В результате, когда устройств много, получается целый пучок проводов. Это терпимо, если шина целиком находится на печатной плате, и длина проводников не превышает нескольких миллиметров, но совсем плохо, если устройства находятся далеко от центрального узла, и провода приходится тянуть по стенам здания.

Ниже описан экспериментальный протокол последовательной передачи данных, заимствующий положительные черты протокола

SPI, но не требующий такого большого количества проводников в линии связи.

Состав линии связи

Среда передачи сигналов, для которой предлагается этот протокол, состоит из двух проводников. (Конечно, не считая общего провода «земля».) Один из проводников - линия синхронизации. Другой проводник – линия данных.

Линия синхронизации выполняет, «по совместительству», три функции. Во-первых, она служит для передачи синхроимпульсов, необходимых для согласованной работы центрального узла и периферийного устройства во время отправки и получения данных. Во-вторых, по этой линии происходит передача адреса периферийного устройства, к которому обращается центральный узел. В-третьих, по этой же линии предаётся запрос центрального узла на предоставление конкретных данных.

Линия данных предназначена только для одной цели: для ответа периферийного устройства на запрос.

Порядок передачи сигналов

В ожидании начала сеанса связи все периферийные устройства, помимо всех других своих функций, обязаны непрерывно прослушивать линию синхронизации.

Инициатором связи является центральный узел (Master). Сигнал начала сеанса связи (сигнал «Внимание») – представляет собой одиночный короткий положительный электрический импульс, посланный в линию синхронизации, за которым следует продолжительная пауза.

Получив сигнал «Внимание», все периферийные устройства обязаны перейти в режим ожидания адреса. Уникальный адрес устройства, с которым центральный узел намерен установить связь, передаётся центральным узлом в линию синхронизации. Периферийное устройство (Slave), адрес которого совпадает со значением, полученным из линии синхронизации, обязано перейти в режим ожидания запроса данных.

Вообще говоря, периферийное устройство может предоставлять центральному узлу различные данные, согласно имеющемуся у системы перечню. Это могут быть, например, показания датчиков, режим работы устройства, величина разряда источника

питания и тому подобное. Центральный узел уточняет, какие именно данные ему нужны, с помощью специального запроса данных, отправляемого в линию синхронизации. Получив запрос, периферийное устройство обязано подготовить данные к отправке, и перейти в режим ожидания передачи данных.

Наконец, собственно передача данных периферийным устройством, завершающая сеанс связи, управляется импульсами синхронизации, которые генерируются центральным узлом и отправляются им в линию синхронизации.

Заключение

Описанный выше протокол был использован в экспериментах по связи центрального узла сбора информации с инфракрасным счётчиком людей. При скорости передачи данных порядка 1000 бит/сек. и длине линии около 5 м ошибок в передаче данных не наблюдалось. Таким образом, протокол можно рекомендовать для дальнейших испытаний на линиях длиной десятки и сотни метров.

SERIAL DATA TRANSMISSION PROTOCOL

A.M. Sivkov
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *amsiv@mail.ru*

The article describes the specialized protocol developed by the author for two-wire serial data transmission between a central node and peripheral devices. A special feature of the protocol is its simplicity and undemanding of the stability of the connected devices clock frequency.

Keywords: protocol, serial data transmission.

УДК 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ РАССТАНОВКИ БЕСПРОВОДНЫХ УЗЛОВ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA128RFA1

Д.Е. Ушаков, Б.В. Чирков
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.
e-mail: *sleepinthewater@gmail.com, b.v.chirkov@gmail.com*

В работе представлены результаты исследований радиоканала узлов на базе микроконтроллера ATmega128RFA1. Сформулированы требования по установке беспроводных узлов сети автоматической системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре.

Ключевые слова: системы управления эвакуацией, интернет вещей, беспроводные сети, адаптивное управление.

Введение

Современные технологии позволяют переосмыслить существующие системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Статистика по жертвам при пожарах и ущербу имуществу показывают хорошую динамику в сторону уменьшения при одной и той же частоте происшествия их в странах Европы и России [1]. Однако, она всё ещё высока. Важным аспектом для решения проблемы является своевременное обнаружение чрезвычайной ситуации в здании и оповещение людей о кратчайших по времени безопасных путях эвакуации.

Постановка задачи

В рамках разработки автоматической системы адаптивного управления эвакуацией людей из здания при пожаре [2] важно было определить параметры установки датчиков, а также количество данных передаваемых в единицу времени.

Для исследования были использованы беспроводные узлы связи СУЭ-П1-1, основанные на энергоэффективных микроконтроллерах ATmega128RFA1 [3] со встроенным модулем связи с частотой передачи данных 2.4 ГГц. В основе беспроводного протокола используется LwMesh [4] на базе IEEE 802.15.4 с алгоритмом

шифрования AES256. Протокол LwMesh позволяет формировать сеть, где каждый из узлов имеет уникальный адрес, что с привязкой его к пространственно-информационной модели здания [5] позволяет точно локализовать место возгорания.

Экспериментальный стенд

Для фиксирования уровня сигнала был собран экспериментальный стенд (рисунок 1). Он включает в себя персональный компьютер (ПК), сервер и один узел-приемник СУЭ-П1-1. Сервер предназначен для интерпретации сигнала от узла-приемника и передачи его на ПК. Сервер состоит из двух узлов СУЭ-П1-1 (первая для приема сигнала, вторая для передачи) и платы Nucleo [6] на базе микроконтроллера STM32F411RE. Пакет, генерируемый на ПК передается на сервер и отправляется. Узел-приемник фиксирует и отправляет значение силы сигнала на сервер, который передает его на ПК для записи в файл.

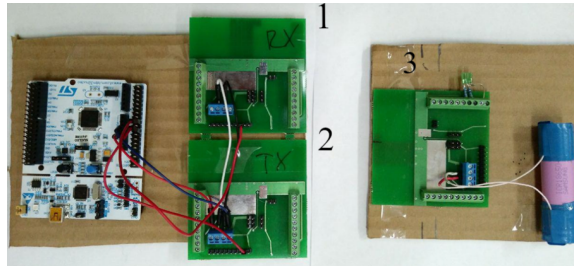


Рисунок 1 — Устройства тестового стенда. 1 – узел сервера для приема получения пакетов; 2 – узел сервера для отправки пакетов; 3 – узел-приемник.

Исследование ограничений

В соответствии со спецификацией микроконтроллера ATmega128RFA1 стабильный сигнал располагается в диапазоне от -90 дБ и выше.

Эксперименты проводились в типовом здании: кирпичные стены и железобетонные перекрытия. Помещение проведения экспериментов имеет ширину 6 м и длину 9 м.

При частоте 2.4 ГГц узел генерирует волны длиной 12.5 см. Исследования показали наличие интерференции волн в помещении за счет множественного отражения от стен, что позволяет отметить минимальную зависимость уровня сигнала от взаимного расположения антенн узлов в пространстве.

По графикам рисунков 2 и 3 можно отметить усиление и затухание сигнала, что говорит о наличии пучностей и узлов. В общем случае отмечается тенденция падения уровня сигнала до 10 дБ при увеличении расстояния от 0.5 до 7 метров в зоне прямой видимости устройств.

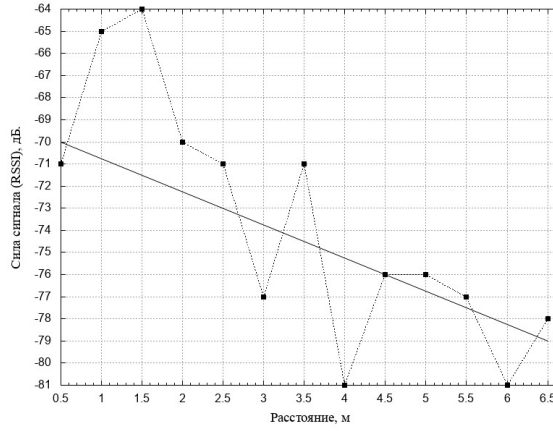


Рисунок 2 — Зависимость силы сигнала от расстояния в помещении, прямая видимость: 1 – не усредненные данные, 2 – усредненные данные.

Потери сигнала происходят на расстоянии 50 м. между излучателем и приемником.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют говорить о том, что беспроводная сеть на базе устройств Atmega128rfa стабильно работает в здании, если между узлами не более двух кирпичных стен толщиной по 0.4 м и расстояние до 15 м.

Список литературы

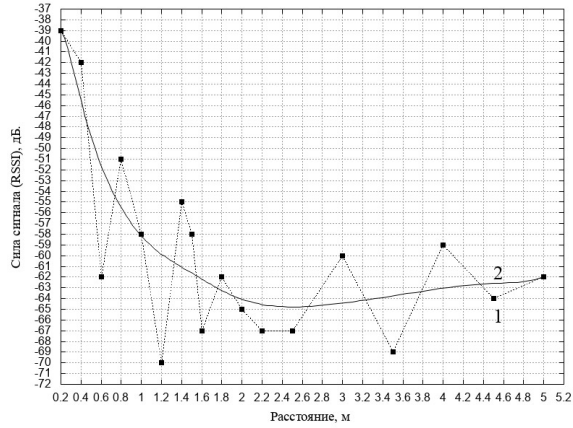


Рисунок 3 — Зависимость силы сигнала от расстояния в помещении, прямая видимость: 1 – не усредненные данные, 2 – усредненные данные.

1. Обобщенная статистика, представленная международной ассоциацией пожарных и спасательных служб. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://fireman.club/statyi-polzovateley/gibel-na-pozharax.
2. Колодкин В. М., Чирков Б. В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. №. 4. С. 58-65. DOI: 10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137.
3. Microcontroller ATmega128RFA1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.atmel.com/devices/atmega128rfa1.aspx (дата обращения: 16.05.2018).
4. Atmel Lightweight Mesh. Официальная документация [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails.aspx?PartNO=Atmel Lightweight Mesh (дата обращения: 16.05.2018).
5. Галиуллин М. Э. Создание и использование пространственно-информационной модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Безопасность в техносфере. – 2015. – № 9. – С. 60-81.

6. NUCLEO-F411RE [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.st.com/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mcu-eval-tools/stm32-mcu-eval-tools/stm32-mcu-nucleo/nucleo-f411re.html (дата обращения: 16.05.2018).

INVESTIGATION OF WIRELESS NODE RESTRUCTURING LIMITATIONS ON THE ATMEGA128RFA1 MICROCONTROLLER

D.E. Ushakov, B.V. Chirkov
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *sleepinthewater@gmail.com, b.v.chirkov@gmail.com*

In this article presented research results of radio channel nodes that based on ATmega128RFA1 base. Have been set requirements for wireless nodes installation of automatic system network for adaptive control of people evacuation from a building during a fire.

Keywords: evacuation management systems, Internet of things, wireless networks, directive management.

УДК 621.317

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СЕНСОРА ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧЕЙ

А.М. Сивков, А.Н. Семакина
Удмурстский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *amsiv@mail.ru, anka_semakina@mail.ru*

Статья посвящена анализу электрической схемы подключения сенсора, чувствительной к нежелательному воздействию прямого солнечного света.

Ключевые слова: счётчик посетителей, сенсор инфракрасных лучей, воздействие солнечного света, электрическая схема подключения.

Введение

Если система безопасности рассчитывается на массовое применение и должна быть недорогой, то в рамках этой системы обнаружение и подсчёт людей в контролируемой зоне можно производить с помощью сравнительно дешёвых счётчиков на инфракрасных (ИК) лучах. Одно из достоинств ИК счётчиков состоит в том, что, поскольку их излучение невидимо, счётчики не мешают движению и не отвлекают людей.

Не обходится, конечно, и без проблем. Одна из них состоит в том, что на фотосенсор счётчика может попадать не только инфракрасный свет от излучателя счётчика, но и посторонний свет от других источников (в частности, от солнца). Создаваемый ярким солнечным светом «паразитный» сигнал на выходе ИК сенсора может на много порядков превышать полезный сигнал и полностью «забить» его. Это приводит к отказу в работе счётчика в помещениях с ярким естественным освещением. Справиться с этой проблемой можно правильным построением электрической схемы подключения ИК сенсора.

Анализ схемы подключения ИК фотодиода без гальванической развязки

В рассматриваемом здесь лабораторном варианте счётчика ИК излучатель работает в импульсном режиме. (Частота следования импульсов – 500 Гц.) Импульсы ИК излучения создают импульсы

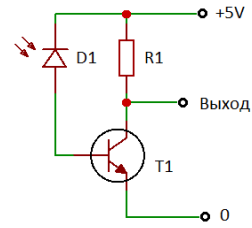


Рисунок 1 — Непосредственное подключение ИК сенсора к усилителю электрических импульсов

фототока сенсора. Но их амплитуда слишком мала для непосредственного формирования сигнала достаточной величины на цифровом входе микроконтроллера, производящего счёт посетителей. Поэтому в состав счётчика входит усилитель электрических импульсов.

Наиболее простой (и поэтому часто используемый на практике) вариант подключения фотодиода показан на рисунке 1.

На рисунке 1 показан усилитель, построенный по схеме с общим эмиттером на биполярном транзисторе. Фотодиод включён непосредственно в цепь базы транзистора.

Если свет не падает на фотодиод, сопротивление фотодиода, включённого в обратном направлении, очень велико. В результате, и базовый и коллекторный ток транзистора практически равен нулю. Когда на фотодиод приходит импульс ИК излучения, сопротивление фотодиода уменьшается, и в цепи базы появляется импульс тока (фототока), который усиливается транзистором.

В отсутствие постороннего света транзистор имеет нулевую рабочую точку, и усилительный каскад работает в режиме класса «B» (по стандартной классификации). Приходящие импульсы усиливаются без искажений, а потребление каскадом электрической энергии минимально.

Однако, при засветке фотодиода посторонним светом ситуация становится иной. «Паразитный» фототок, постоянный протекающий в цепи базы, сдвигает рабочую точку транзистора и переводит усилительный каскад в другой режим работы: режим класса «A» (по стандартной классификации). Если сдвиг рабочей точки не очень велик, беды от этого не возникает: каскад исправно усиливает порождаемые ИК излучателем импульсы фототока. Беда

настаёт, когда фотодиод ещё и засвечивается ярким солнечным светом. В этом случае появляется постоянный фототок большой величины, и сдвиг рабочей точки транзистора становится катастрофическим. Катастрофа наступает потому, что падение напряжения на нагрузочном резисторе в цепи коллектора возрастает почти до напряжения питания, и, вследствие этого, напряжение в цепи коллектор-эмиттер уменьшается практически до нуля. Это «выбивает» транзистор «из колеи и коэффициент усиления каскада резко падает.

Натурные испытания показали, что схема с непосредственным соединением фотодиода с транзистором в некоторых случаях теряет работоспособность даже при освещении фотодиода рассеянным солнечным светом.

Таким образом, можно сделать вывод, что подключение ИК фотосенсора к усилителю по схеме с развязкой по постоянному току является единственным надёжным решением в условиях, когда ИК счётчик должен работать при ярком солнечном свете.

ABOUT THE ELECTRICAL SCHEME OF THE INFRARED RADIATION SENSOR CONNECTION

A.M. Sivkov, A.N. Semakina
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *amsiv@mail.ru, anka_semakina@mail.ru*

The article is devoted to the analysis of the electrical connection scheme of the sensor, sensitive to undesirable effects of direct sunlight.

Keywords: visitor counter, infrared ray sensor, sunlight exposure, circuit diagram of sensor connection.

УДК 621.317

О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА НА ИНФРАКРАСНЫЙ СЕНСОР

А.М. Сивков, Д.А. Пухова
Удмурстский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *amsiv@mail.ru*

Статья посвящена исследованию угловой чувствительности фотодиода BVP10NF, используемого в качестве инфракрасного сенсора, к постороннему солнечному свету.

Ключевые слова: сенсор инфракрасных лучей, воздействие солнечного света.

Для исследования влияния постороннего солнечного света на работу ИК сенсора в качестве сенсора был выбран фотодиод BVP10NF. Фотодиод был подключён к источнику тока с напряжением 5 вольт и подвергнут освещению прямыми солнечными лучами под различными углами. Возникавший при этом фототок измерялся с помощью включённого в электрическую цепь микроамперметра.

Как и ожидалось, исследование показало, что чувствительность фотодиода имеет хорошо выраженную направленность. Результаты измерения зависимости величины фототока от угла между направлением прямых солнечных лучей и осью наибольшей чувствительности фотодиода приведены на рисунке 1.

Из результатов измерений видно, что максимальный фототок (величиной около 1 миллиампера) достигается при «лобовом» (0 градусов) освещении фотодиода прямым солнечным светом. Фототок становится вдвое меньше при увеличении угла падения солнечных лучей до 10-15 градусов. Естественно было бы ожидать, что при увеличении угла падения лучей до 90 градусов фототок должен уменьшиться нуля. Однако, оказалось, что даже при освещении фотодиода прямыми лучами солнца под предельным углом 90 градусов имеет место «остаточный» фототок значением 0.13 миллиампера. Это значение фототока, конечно, в несколько раз меньше, чем в случае освещения под углом 0 градусов. Но даже это значение фототока может оказаться роковым, если фотодиод подключен ко входу предварительного усилителя непосредственно, без гальванической развязки.

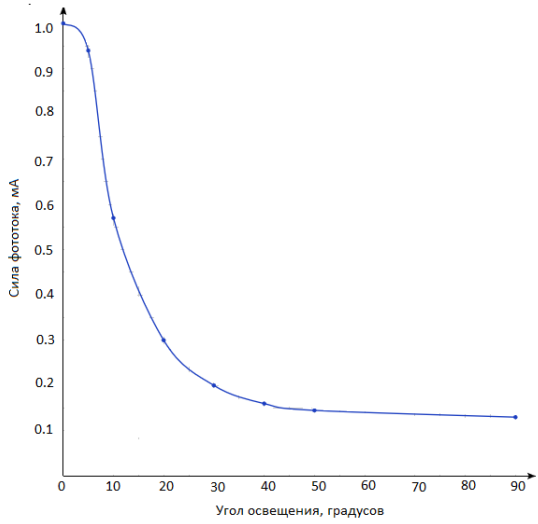


Рисунок 1 — Величина фототока в зависимости от угла освещения фотодиода прямыми солнечными лучами

ABOUT INFLUENCE OF SUNNY LIGHT ON INFRARED SENSOR

A.M. Sivkov, D.A. Pukhova
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *amsiv@mail.ru*

The article is devoted to the study of the angular sensitivity of the BVP10NF photodiode, used as an infrared sensor, to extraneous sunlight.

Keywords: infrared ray sensor, sunlight exposure.

УДК 614.842.47

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ, РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СОУЭ-ПК» НА ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТАХ ОАО «РЖД»

С.В. Шархун
Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России г. Екатеринбург, Россия
e-mail: *S_sharhun@mail.ru*

Н.Ф. Сирина
Уральский государственный университет путей сообщения г. Екатеринбург, Россия
e-mail: *NSirina@usurt.ru*

В статье представлены результаты исследований по разработке, реализации, внедрению и оценки эффективности использования предлагаемого авторами дублирующего способа оповещения о нештатных ситуациях на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта.
По данным натурных наблюдений за эвакуацией работников из зданий ОАО «РЖД» определено время реагирования персонала на сигнал о нештатной ситуации при различных способах оповещения.
На основе выбранной математической модели времени принятия решения о начале эвакуации, выполнена оценка эффективности оповещения о нештатной ситуации в зависимости от способа оповещения в сравнении с нормативными значениями.

Ключевые слова: система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; управление процессом эвакуации людей; время начала эвакуации; дублирующий способ оповещения; математическая модель; натурное наблюдение.

Надежное функционирование железных дорог, как и иного крупного предприятия, определяется наличием инфраструктуры и хозяйственной базы, обеспечивающей ее работоспособность, а именно способностью выполнять заданные функции с параметрами, принятыми в нормативной и проектной документации.

Обеспечение безопасности производственных процессов и их результатов, а также создание безопасных условий труда, направленных на сохранение жизни и здоровья работников ОАО «РЖД»

и холдинга «Российские железные дороги» в целом в условиях воздействия возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций – одна из приоритетных задач, которой уделяется постоянное внимание.

В соответствии с реестром существенных рисков ОАО «РЖД», изложенном в годовом отчете компании за 2016 год [1], существует техногенная и природно-климатическая категория рисков, в состав которой включены:

- риски, приводящие к разрыву технологической цепи;
- аварии на объектах, связанных с обеспечением работы холдинга;
- техногенные аварии на смежных видах транспорта;
- пожары, стихийные бедствия в районах деятельности и на объектах холдинга; управленческая категория риска, которая включает в себя риск принятия необоснованного управленческого решения.

Стратегией обеспечения гарантированной надежности и безопасности перевозочного процесса [2] определены основные задачи, стоящие перед ОАО «РЖД», а именно: повышение надежности и функционирования безопасности технических средств, входящих в состав объектов инфраструктуры и подвижного состава, а также предупреждение травматизма и снижение ущерба субъектам деятельности в сфере железнодорожного транспорта.

Учитывая характер зданий ОАО «РЖД» в крупных городах Российской Федерации, а также специфику и ответственность работников (от сохранности жизни и здоровья ряда категории работников зависит безопасность движения на больших территориях), можно сделать вывод, что повышение эффективности систем оповещения работников о нештатных или чрезвычайных ситуациях, а также управление эвакуацией из зданий является актуальной задачей.

При работе над исследованием [3] установлено, что эффективная и своевременная эвакуация работников административных зданий ОАО «РЖД» зависит не только от правильности выбора, проектирования, монтажа и использования систем сигнализации и оповещения, но и так же от адекватности действий работников при получении сигнала о необходимости эвакуации.

Кроме того, также установлено, что фактическое время эвакуации представляет собой промежуток времени, который можно разделить на три этапа:

1 Инерционность систем АПС и СОУЭ.

2 Время принятия решения о начале эвакуации.

3 Непосредственно время движения по путям эвакуации.

Графически это представлено на рисунке 1 и подробно описано в работах [4, 5].

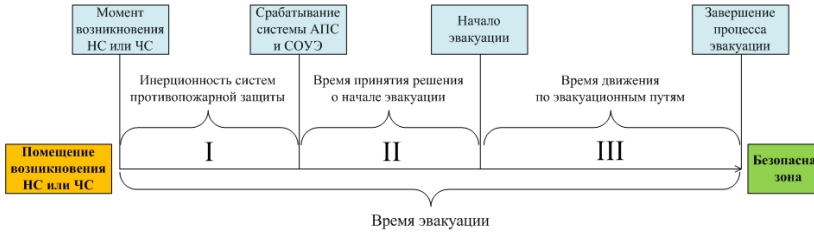


Рисунок 1 — Фактическое время эвакуации

Учитывая, что при реальной нештатной ситуации эвакуация из административных зданий представляет собой многогранный комплекс действий, и на фактическое время эвакуации влияет множество различных факторов, работать над повышением эффективности эвакуации необходимо в разрезе и уделять внимание каждому из трех этапов.

Для этого этап принятия решения о начале эвакуации разделен на три временных промежутка:

1 Время реагирования на сигнал – промежуток времени от момента включения систем сигнализации и оповещения до восприятия работником сообщения о пожаре.

2 Время, затраченное на окончание выполняемых работ, в том числе с использованием персональных компьютеров.

3 Время, затраченное на подготовительные для эвакуации работы – одевания, сбор личных вещей и т.д.

При этом в работе [6] установлено, что порядка 86 % работников выполняют действия напрямую не связанные с немедленным началом эвакуации, также существует доля работников примерно 10 %, которые полностью бездействуют при получении сигнала о нештатной ситуации тем самым время начала эвакуации существенно возрастает.

Для решения задачи сокращения временного интервала на принятие решения о начале эвакуации работниками административных зданий ОАО «РЖД» в современных условиях можно выделить два направления:

1 Обучение работников действиям при поступлении сигнала «Тревога» с целью выработки условного рефлекса: «тревога – немедленная эвакуация».

2 Применение специальных технических средств направленных на побуждение человека к принятию одного единственно верного решения при существующей угрозе жизни и здоровья от воздействия на него опасных факторов.

Работы по второму направлению, в настоящее время, на существующих объектах в Российской Федерации, в том числе в ОАО» РЖД» практически не ведутся, ввиду того, что относительно простые, но при этом достаточно эффективные технические средства попросту отсутствуют.

Разработка способов и технических систем, направленных на принуждение работника к определенным действиям при получении сигнала «Тревога» в целях своевременной эвакуации из здания необходимая и не решенная задача в настоящее время.

Так при работе над исследованием [3] предложен принципиально новый дублирующий способ оповещения работников административных зданий ОАО «РЖД» основывающийся на взаимосвязи систем сигнализации и оповещения с локально-вычислительной сетью предприятия.

Для реализации предлагаемого способа предусматривается установка разработанного мною специального программного обеспечения – Система оповещения и управления эвакуацией людей «СОУЭ-ПК» [7] подробно данный программный продукт описан в работе [8].

Программный комплекс «СОУЭ-ПК» представляет собой два самостоятельных программных решения – серверная и клиентская часть, находящихся под централизованным администрированием серверной части программы установленной на компьютере системного администратора сети (сервере).

Серверная часть предназначена для подключения клиентов к дублирующей системе оповещения путем указания IP-адресов необходимых персональных компьютеров, что позволит привязать к

каждому IP-адресу графическое изображение, разработанное индивидуально для каждого этажа, помещения или рабочего места. Реализация данной функции позволит в момент оповещения определить каждому пользователю свое местоположение относительно ближайших эвакуационных путей и выходов.

Следует отметить, что при интеграции данного способа в системы сигнализации адресного типа (позволяющие определить место сработки извещателя – место возникновения пожара) на данном графическом сообщении возможно указание места установки сработавшего извещателя. Что позволит исключить движение людей в сторону места возникновения НС или в сторону заблокированного эвакуационного выхода и еще до выхода из помещения позволит человеку принять решения о том, какой из имеющихся эвакуационных выходов он будет использовать для эвакуации из здания.

Также программный комплекс «СОУЭ-ПК» позволяет привязать к каждому IP-адресу индивидуальный звуковой ряд от простого звука сирены до предварительно записанного речевого оповещения. Данное речевое оповещение будет воспроизводиться через колонки, подключенные к персональному компьютеру неограниченное количество раз.

При срабатывании системы сигнализации и оповещения здания, серверная часть программного комплекса «СОУЭ-ПК» в соответствии с перечнем указанных IP-адресов активирует клиентские части программы на рабочих местах пользователя. Которые в свою очередь уже выводят дублирующие сигналы оповещения на монитор и колонки персонального компьютера пользователя. Тем самым оповещают индивидуально каждого работника находящегося в данный момент на рабочем месте, оборудованном персональным компьютером.

Включенный в состав клиентской части программы модуль блокирования персонального компьютера, активируемый также по команде с серверной части, осуществляет блокировку основных устройств ввода/вывода, что исключает возможность дальнейшего продолжения работы на ПК.

Следует отметить, что достоинством предлагаемого программного комплекса является возможность многоразового применения, устройство его без существенных финансовых затрат, а так же невозможность самостоятельного снятия блокировки пользователем персонального компьютера.

Для практической оценки эффективности дублирующей СОУЭ проведено натурное наблюдение за поведением людей при различных способах оповещения о нештатной ситуации. Наблюдение проводилось в пяти различных административных зданиях входящих в инфраструктуру ОАО «РЖД» при этом фиксировалось время реагирования на сигнал «Тревога» (время принятия решения о начале эвакуации). Оповещение людей проводилось в одинаковое рабочее время с предварительным информированием работников.

При этом использовались 4-е различных способа оповещения работников о нештатной ситуации:

1 Стандартная АПС и СОУЭ.

2 Стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (только звуковая составляющая).

3 Стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая и визуальное оповещение).

4 Стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая, визуальное оповещение и блокировка персонального компьютера).

При наблюдении фиксировалось время реагирования на сигнал о нештатной ситуации, а именно интервал времени от момента включения системы оповещения до момента начала движения каждым отдельно взятым человеком. Результаты натурного наблюдения изложены в работе [9].

На основании использованной математической модели удалось получить следующие прогнозы реагирования. На рисунке 2 приведено соотношение отреагировавших и не отреагировавших на сигнал в момент времени 30 секунд от начала оповещения.

Как видно применение комплекса СОУЭ-ПК позволит повысить количество отреагировавших на 19 %. К исходу времени 1.0 мин после начала оповещения применение СОУЭ-ПК позволит повысить количество отреагировавших на 18 %, а в момент времени 1.5 мин после начала оповещения применение СОУЭ-ПК позволит повысить количество отреагировавших на 13 %. Подробные результаты моделирования изложены в работе [10].

Анализ распределения количества отреагировавших людей на сигнал при различных способах оповещении, позволяет сделать вывод, что использование полного комплекса дублирующего способа

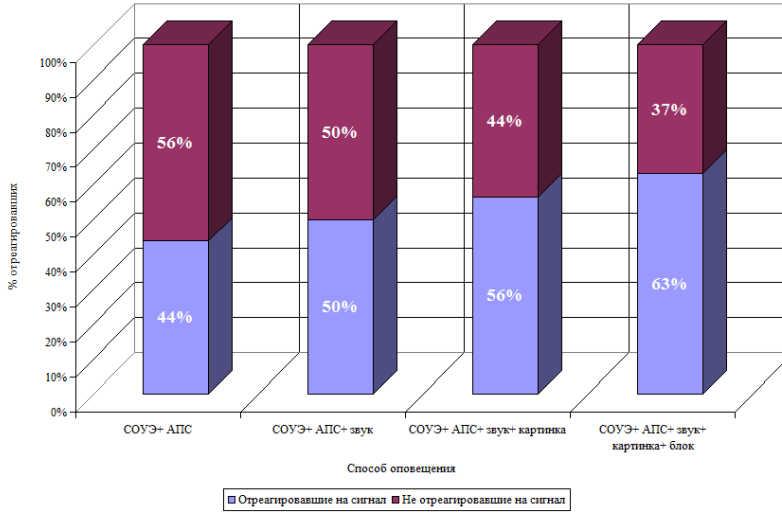


Рисунок 2 — Соотношение отреагировавших и не отреагировавших на сигнал через 0,5 мин после начала оповещения о НС или ЧС, %

оповещения СОУЭ-ПК позволяет наиболее близко приблизиться к нормативному значению времени начала эвакуации из административных зданий ОАО «РЖД».

Реализация и внедрение полученных результатов создаст дополнительную мотивацию к эвакуации человека из опасного здания и, тем самым, способствует уменьшению времени события «услышал – принял решение – начал движение», что снижает потенциальное количество пострадавших и погибших из числа работников административных зданий.

Практическая значимость полученных результатов состоит в качественной организации устойчивого функционирования и повышении эффективности системы управления эвакуацией работников при нештатных и чрезвычайных ситуациях в административных зданиях ОАО «РЖД».

Список литературы

1. Годовой отчет компании ОАО «РЖД» за 2016 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ar2016.rzd.ru/ru#city-gets-closer, свободный.
2. Стратегия обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] : распоряжение ОАО «РЖД» от 8 декабря 2015 г. № 2855р. – Режим доступа : http://rly.su/sites/default/files/strategiya_garantirovannoy_ bezopasnosti _dvizheniya.pdf, свободный.
3. Шархун, С.В. Повышение эффективности организации эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» в условиях воздействия нештатных и чрезвычайных ситуаций : дис. ... канд. техн. наук / С.В. Шархун — Екатеринбург., 2017.
4. Шархун, С. В. Своевременное начало эвакуации при пожаре как основа ее эффективности / С. В. Шархун, Е. Н. Брюхов // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 5. – С. 54–57 (0,1/0,05 п. л.).
5. Шархун, С. В. Снижение времени начала эвакуации при пожаре как основа обеспечения безопасности работников административных зданий ОАО «РЖД» / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Транспорт Урала. – 2016. – № 2 (49). – С. 34-38 (0,1/0,03 п. л.).
6. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие / В.В. Холщевников [и др.]. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.
7. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре – ПК (СОУЭ-ПК) : свид. № 2012617518 / Шархун С. В. ; правообладатель : Шархун С. В. – заявка № 2012615195 ; дата поступления 22.06.2012 г. ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.08.2012 г.
8. Шархун, С.В. Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий / С. В. Шархун // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 2, Т. 22. – С. 60-64 (0,2 п. л.).
9. Шархун, С. В. О результатах натурного наблюдения за изменением времени реагирования персонала административных

зданий ОАО «РЖД» на сообщение о пожаре при применении программного комплекса «СОУЭ-ПК» / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина, В. А. Штерензон // Техносферная безопасность. – 2017. – № 1 (14). – С. 13-18.

10. Шархун, С. В. Анализ эффективности интеграции дублирующего способа оповещения в систему управления инфраструктурой железнодорожного транспорта на примере зданий ОАО «РЖД» » / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина, В. А. Штерензон // Транспорт Урала. – 2017. – № 1 (52). – С. 19-24.

RESULTS OF DEVELOPMENT, REALIZATION AND INTRODUCTION OF THE PROGRAM SOUE-PK COMPLEX ON INFRASTRUCTURE FACILITIES OF JSC «RUSSIAN RAILWAYS»

S.V. Sharkhun
Ural institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia, 620062, Russian Federation, Yekaterinburg, Mira St., 22
e-mail: *S_ sharhun@mail.ru*

N.F. Sirina
Ural State University of Railway Transport, 620034, Russian Federation, Yekaterinburg, Kolmogorova St., 66
e-mail: *NSirina@usurt.ru*

Results of researches on development, realization, introduction and estimates of efficiency of use of the duplicating way of the notification offered by authors about emergency situations on infrastructure facilities of railway transport are presented in article.

According to natural observations of evacuation of workers from buildings of JSC «Russian Railways» time of reaction of personnel for a signal of an emergency situation at various ways of the notification is defined.

On the basis of the chosen mathematical model of time of making decision on the beginning of evacuation, assessment of efficiency of the notification about an emergency situation depending on a way of the notification in comparison with standard values is executed.

Keywords: the warning system and managements of evacuation of people at the fire; management of process of evacuation of people; time of the beginning of evacuation; the duplicating way of the notification; mat.

Раздел II
Техносферная безопасность

УДК 004.031.42

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ПОДСИСТЕМА ВЕБ-СЕРВИСА ОЦЕНКИ РИСКА НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

М.Э. Галиуллин
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *m.a.galiullin@gmail.com*

В статье описываются подходы, модели данных и программное обеспечение, использованное для построения веб-сервиса risktools.ru, интерфейс которого в значительной степени основан на географических картах. Дается обзор и описываются преимущества открытой JavaScript-библиотеки Leaflet.JS, предназначенной для внедрения картографического функционала в веб-приложения. Кратко перечислены использованные в проекте программные дополнения к библиотеке Leaflet.JS, расширяющие ее возможности, а также некоторые сторонние JS-библиотеки. Описывается используемая модель данных и делается упор на ее сходство с моделями данных, применяемых в ГИС-системах. Приводится краткая инструкция для пользователей, начинающих работать с описываемым в статье веб-сервисом.

Ключевые слова: оценка риска, техногенные объекты, веб-сервис, геоинформационные системы, javascript, leaflet.js, json-schema.

Назначение сервиса

Цель создания веб-сервиса risktools.ru – обеспечить доступ к математическим моделям прогнозирования последствий аварий, к математическим моделям оценки и анализа рисков и соответствующим программным продуктам широкому кругу пользователей (представителям экспертных, страховых организаций, представителям собственников объектов и т.д.). Веб-сервис предоставит конечному пользователю инструментарий для прогнозирования уровня опасности объектов и территорий, который может использоваться, в том числе, и для выявления экономически обоснованных мероприятий по снижению ущерба при возможных авариях.

Примечание. На момент написания статьи рабочая бета-версия сервиса доступна по адресу http://beta.risktools.ru.

Общее видение сервиса

Сервис позволяет проводить расчеты риска в двух направлениях:

1) прогнозирование последствий аварии определенного типа (огненный шар, пожар пролива и т.п.);

2) прогнозирование комплексных последствий аварий на площадке техногенного объекта определенного типа. В данный момент из техногенных объектов есть реализация только для АЗС. В дальнейшем будут подключены другие объекты, такие как АГЗС, Котельная, и др.

Для первого направления расчетов пользователю необходимо задать на карте точку — источник опасности, затем выбрать тип аварии и ввести соответствующие ей начальные расчетные данные (например, тип и массу взрывчатого вещества и т.п.). После этого можно запустить расчет и увидеть его результаты в виде таблиц, а также в виде изолиний потенциального риска на карте.

Результатами комплексных расчетов по второму направлению являются:

1) таблицы с результатами расчетов;

2) план-схема размещения опасного объекта на карте;

3) потенциальный риск на карте;

4) зоны поражения человека на карте;

5) величина коллективного риска на объекте.

Сами комплексные расчеты риска по техногенному объекту требуют ввода всех источников опасности, присутствующих на объекте (геометрическое расположение на карте местности и начальные расчетные данные).

Таким образом, значительная часть вводимой пользователем информации является геометрическими фигурами (точками, линиями, многоугольниками), наложенными поверх карты местности. Поэтому при реализации сервиса в качестве пользовательского интерфейса ввода данных был выбран картографический интерфейс, основанный на открытой и широко используемой JavaScript-библиотеке — Leaflet.js [1]. Реализация повторяет известные стили дизайна, используемые в популярных картографических веб-сервисах [2,3], когда все пространство окна браузера целиком занято картой.

Внутреннее устройство веб-сервиса. Используемое программное обеспечение

На стороне сервера работает известная связка программного обеспечения (ПО), состоящая из Web-сервера (Apache, Nginx) + MySQL DB + PHP.

На стороне клиента (браузера) картография обеспечивается JS-библиотекой Leaflet. Для динамической подгрузки данных (передаваемых в формате JSON) используются AJAX-вызовы через интерфейс REST API [4], созданный также с помощью языка программирования PHP.

Библиотека Leaflet.JS

На рынке ПО для построения картографических веб-приложений существует несколько популярных продуктов. Самые известные из них:

Google Maps JavaScript API [2];

Яндекс.Карты JavaScript API [3];

OpenLayers [5];

Leaflet.JS [1].

Сделанный выбор в пользу последней из списка обосновывается следующими факторами:

Leaflet.JS является полностью свободной альтернативой Google Maps API и Яндекс.Карты API, не имеющей каких-либо ограничений на использование и число запросов;

Leaflet.JS очень легковесная, объем кода занимает 38 КБ;

Библиотека разработана, чтобы быть расширяемой, благодаря чему существует огромное количество плагинов, покрывающих все потребности разработчиков для создания функционального картографического веб-приложения;

Совместно с Leaflet.JS можно использовать любые тайловые сервисы карт [6].

Модель данных

В основе любого программного проекта лежит модель данных, которая проектируется так, чтобы максимально близко моделировать объекты из реального мира. Если классифицировать существующие реализации моделей данных, то можно, с некоторыми

оговорками, поделить их на реляционные (SQL, табличные), NoSQL (Not Only SQL) и Объектно-Ориентированные.

Поскольку в данном проекте мы работаем с картографией, то неизбежно сталкиваемся с понятиями, пришедшими из сферы ГИС-технологий (Гео-Информационные Системы [7]). Одним из таких ГИС-понятий является термин «слой» - группа объектов, имеющих сходную внутреннюю структуру в модели данных. Работая с моделью, поделенной на «слои», становится очень удобным хранить данные в реляционных СУБД, таких как MySQL, PostreSQL и т.п. Для этого достаточно добавить к хранимому объекту в соответствующей таблице поле, содержащее его географическое представление на карте в виде векторных примитивов (точки, линии, полигоны). Недостатком «слоеного» подхода является необходимость жесткого деления всех объектов по принадлежности к определенному типу-слою, что не всегда является удобным, гибким и расширяемым.

Тем не менее, в данном проекте для описания модели данных для техногенных объектов было принято решение использовать реляционную модель данных с разбивкой всех объектов/элементов на несколько тематических слоев данных. Дополнительные геометрические поля (без топологии) содержат в себе данные в формате поля «geometry» из стандарта GeoJSON [8]. В отличие от стандартных требований многих распространенных ГИС-форматов хранения данных, таких как «shapefile» [9], в разрабатываемой модели тип векторной геометрии объектов может быть различным в пределах одного слоя (точки, линии, мультилинии, полигоны, мультиполигоны).

Таблицы, присутствующие в базе данных, практически повторяют набор тематических слоев для данного типа техногенного объекта. Например, для объектов типа АЗС набор таблиц оказался следующий:

dobjects — хранит техногенные объекты всех типов, в том числе и типа АЗС (без гео-поля);

azs — общая информация об АЗС (без гео-поля);

buildings — строения на территории АЗС (операторская, газон, бордюр, обвалование и т.д.);

storetanks — цистерны с топливом;

dispensers — Топливо-Раздаточные Колонки, ТРК;

crowds — места скопления людей.

Список таблиц в базе данных и их начальное наполнение фиксируется с помощью программной системы миграций данных LiquiBase [10]. Данная система позволяет хранить все изменения в структуре базы данных вместе с самим кодом проекта в репозитории кода, например в Git [11].

Все данные для техногенного объекта передаются на сторону браузера в виде JSON-структуры, содержащей в себе как общую информацию, так и данные по каждому тематическому слою. При вызове API данные по каждому слою, взятые из колонок соответствующих таблиц БД, собираются вместе в структуру формата GeoJSON. Следующий пример демонстрирует возможное содержимое формата GeoJSON:

```
{
"type": "Feature
"geometry": {
"type": "Point
"coordinates": [125.6, 10.1]
},
"properties": {
"name": "Dinagat Islands"
}
}
```

Для того чтобы отобразить для пользователя атрибутивную информацию для каждого объекта (не геометрическую), а также сделать возможным ее редактирование, была задействована JavaScript-библиотека «JSON-Editor» [12], позволяющая сформировать и отобразить формы ввода данных на основе декларативного описания полей в виде стандартных схем JSON-Schema [13]. Сами JSON-схемы, для техногенного объекта в целом и для каждого из слоев, подгружаются браузером на страницу через AJAX-запросы.

Библиотека Leaflet.JS. Описание и возможности библиотеки

Leaflet.JS - библиотека с открытым исходным кодом, написанная на JavaScript, предназначенная для отображения карт на веб-сайтах. Поддерживает большинство десктопных и мобильных платформ (HTML5 и CSS3).

Наряду с OpenLayers, Google Maps API, Яндекс.Карты API и еще несколькими известными программными продуктами это одна

из наиболее популярных картографических JavaScript-библиотек, использующаяся на многих известных крупных сайтах.

Leaflet позволяет разработчику отображать растровые карты, поделенные на маленькие фрагменты — тайлы [16], с дополнительными слоями (как векторными, так и растровыми), накладываемыми поверх основного. Накладываемые слои могут быть интерактивными.

Пример использования

Следующий пример задает координаты центра карты и масштаб, затем отображает на странице в указанном HTML-контейнере базовую карту, подгружаемую с сервиса тайловых карт «mapbox.com». Поверх карты по указанным координатам накладываются векторные элементы — маркер и полигон, которые имеют всплывающую интерактивную подсказку. И в конце примера создается еще один интерактивный элемент, всплывающий и показывающий координаты места на карте, где был совершен клик мышкой.

```
<div id="mapid"style="width: 600px; height: 400px;»</div>
<script>
var mymap = L.map('mapid').setView([51.505, -0.09], 13);
L.tileLayer('https://api.tiles.mapbox.com/v4/{id}/{z}/{x}/{y}.png?
access_token=here_is_your_token_xxxxxxx', {
maxZoom: 18,
id: 'mapbox.streets'
}).addTo(mymap);
L.marker([51.5, -0.09]).addTo(mymap)
.bindPopup(«b>Hello world!</b><br />I am a
popup.").openPopup();
L.polygon([
[51.509, -0.08],
[51.503, -0.06],
[51.51, -0.047]
]).addTo(mymap).bindPopup("I am a polygon.");
var popup = L.popup();
function onMapClick(e) {
popup
.setLatLng(e.latlng)
.setContent("You clicked the map at "+ e.latlng.toString())
```

```
.openOn(mymap);
}
mymap.on('click', onMapClick);
</script>
```

Плагины Leaflet.JS и другие JS-библиотеки

Функциональность Leaflet.js очень легко расширяется за счет множества существующих плагинов, написанных сообществом разработчиков. Написать собственный плагин не сложно, используя очень хорошо документированное API к библиотеке и легко читаемый код самого ядра.

Далее перечислены используемые в проекте плагины Leaflet и другие JS-библиотеки.

Редактор векторной графики

Leaflet.PM [14] — плагин для создания и редактирования векторных слоев (рисунок 1). При редактировании элементов плагин реализует удобную для пользователя возможность «прилипать» новыми узлами к уже существующим. Поддерживаются основные векторные примитивы и формат GeoJSON.

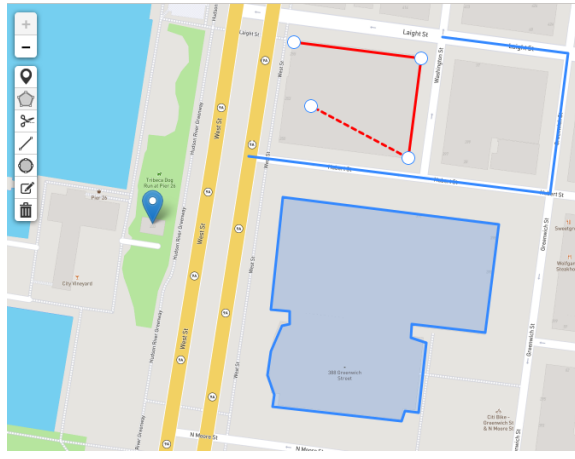


Рисунок 1 — Плагин к библиотеке Leaflet - Leaflet.PM.

Используя данный плагин можно реализовать на веб-странице возможность так называемой «оцифровки» объектов, то есть возможность очерчивать кликами мышки контуры объектов, видимых на растровой карте. Процедура «оцифровки» выполняется для создания векторных (цифровых) аналогов объектов, которые лишь визуально определяются пользователем на «спутниковой» базовой карте.

Наложение изображений на карту

Плагин ImageOverlay.Rotated [15] позволяет накладывать на карту дополнительные изображения, давая возможность пользователю поворачивать их и растягивать в нужном направлении (рисунок 2).

Для проведения процедуры «оцифровки» пользователю порой не хватает детализации и качества спутниковых снимков, лежащих в основе базовой карты. Используя данный плагин можно реализовать возможность подгружать дополнительные, имеющиеся в распоряжении пользователя, чертежи/схемы/планы в виде изображений, и подгонять их «по месту» (поворачивать, растягивать), визуально опираясь на базовую карту.

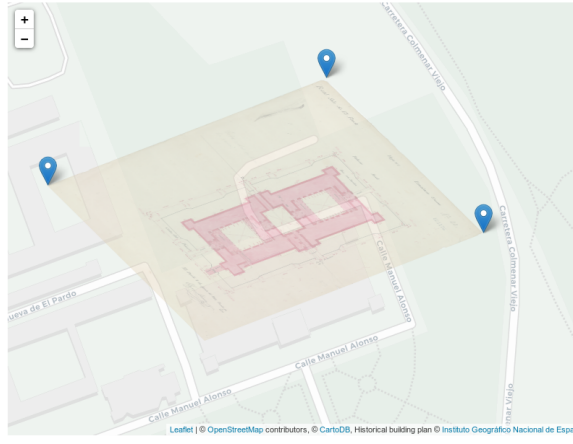


Рисунок 2 — Плагин к библиотеке Leaflet - ImageOverlay.Rotated

Геопоиск

Плагин OSMGeocoder [16] позволяет быстро перемещаться по карте в точку на земной поверхности, которая максимально близко совпадает с адресом, указанным в строке поиска. Например, пользователь может набрать «Красноярск» - в этом случае центр карты и масштаб будет выбран таким образом, чтобы целиком уместить границы города Красноярска в окне браузера. В другом примере, таком как «Красноярск, улица Ленина, 150», позиционирование и масштабирование произойдет по зданию с указанным точным адресом.

При редактировании уже существующего техногенного объекта инструмент геопоиска можно не показывать пользователю, поскольку местонахождение объекта уже было определено ранее и сохранено в базе данных.

Json Editor

JavaScript-библиотека «Json Editor» [12] позволяет сгенерировать HTML-формы на основе предоставленной JSON-схемы [13] (рисунок 3). Библиотека поддерживает стандарт Json-Schema версий 3 и 4 и может быть интегрирована в такие популярные CSS-фреймворки как Bootstrap, Foundation и jQueryUI.

Json-Schema, описывающая данные, передаваемые в формате JSON, позволяет:

- добавить к данным описание каждого поля;
- описать и валидировать ограничения на диапазон допустимых значений любого поля;
- перечислить списки возможных значений поля, а также сопоставить каждому возможному значению понятную и отображаемую для пользователя величину.

Leaflet.BeautifyMarkers и Font Awesome

Плагин BeautifyMarkers [17] позволяет использовать иконки из известной библиотеки Font Awesome [18] в качестве маркеров на карте. Это в итоге позволяет пользователю визуально отличать тип и назначение каждого отображаемого маркера.

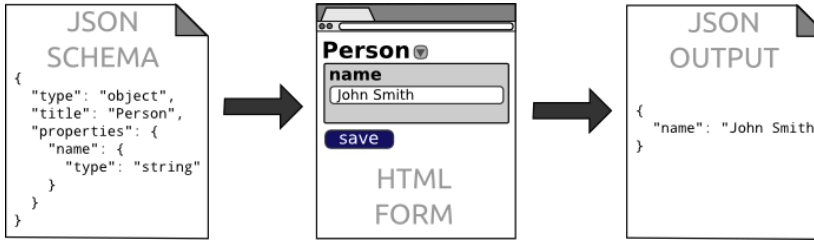


Рисунок 3 — JavaScript-библиотека JSON Editor, позволяющая генерировать HTML-формы на основе описания в виде JSON-Schema

Leaflet.Dialog

Плагин Leaflet.Dialog [19] позволяет добавлять на карту всплывающие диалоговые окна, с помощью которых можно добавить необходимую функциональность карте наподобие контекстной помощи и т.п.

Библиотека JS EnjoyHint

JavaScript-библиотека EnjoyHint [20] позволяет создать интерактивные подсказки для пользователя, впервые попавшего на сайт и испытывающего трудности с тем, чтобы быстро разобраться, как там всё устроено.

Краткая инструкция по использованию редактора

Основная последовательность действий в редакторе при создании нового техногенного объекта рисунок (рисунок 4) может быть следующей:

В строке геопоиска наберите примерный адрес географического местоположения, в котором находится интересующий вас техногенный объект.

Спозиционируйте карту более точно, используя инструменты масштаба «+», «−» и колесо мыши. Также можно сдвигать карту, используя мышь с зажатой левой кнопкой.

В правом верхнем углу выберите подходящую базовую карту из списка доступных – упрощенная схема, схема, спутниковые снимки (2 варианта).

Выберите активный слой, в который начнете добавлять векторные элементы. Например, для техногенного объекта типа АЗС можно выбрать слой «Строительные сооружения».

После выбора активного слоя в правой стороне появится Панель инструментов для ввода векторных элементов. Нажмите на кнопку определенного типа векторного элемента (например «многоугольник») и начните щелчками левой кнопки мыши «оцифровывать» (обводить контур) видимого на карте объекта, такого как, например, «операторская АЗС». Для завершения ввода многоугольника следует еще раз щелкнуть на первой введенной вершине. Для завершения же ввода линии следует еще раз щелкнуть на последней введенной в линии вершине. Если вы решили отказаться от ввода элемента, то щелкните на Панели инструментов еще раз.

После завершения ввода геометрии нового элемента в правом нижнем углу появится окно ввода дополнительных атрибутов. Введите все требуемые значения полей.

Щелчок на пустом месте карты снимет активное выделение только что введенного элемента и уберет окно атрибутов.

При наведении мыши на любой из существующих элементов на карте окно атрибутов будет показывать значения полей данного элемента в режиме «только для чтения».

Если требуется отредактировать любой элемент, следует щелкнуть по нему на карте. В этом случае он станет активным, контур будет окрашен в красный цвет, а окно атрибутов в правом нижнем углу позволит изменить значения полей элемента. Также в окне атрибутов будут присутствовать кнопки редактирования геометрии элемента и его удаления.

Для редактирования геометрии элемента следует сделать его активным, и затем в окне атрибутов нажать кнопку «Править геометрию». Вершины геометрии элемента станут доступными для перемещения, добавления и удаления. После завершения всех исправлений следует еще раз нажать ту же кнопку, которая будет называться «Завершить правку».

Удалить любой элемент можно в любой момент, сделав его активным и нажав кнопку «Удалить».

В левом верхнем углу карты расположено раскрывающееся дополнительное меню. В нем вы можете сохранить свою работу, предварительно введя название для нового техногенного объекта.

Рисунок 4 — Внешний вид редактора техногенного объекта

В выпадающем меню также можно ввести дополнительные параметры, касающиеся техногенного объекта, а также подгрузить собственный план/схему/чертеж в виде изображения, путь к которому следует указать в поле «URL-адрес изображения».

После сохранения произойдет перегрузка страницы. Если вы добавили путь в поле «URL-адрес изображения», то оно отобразиться поверх карты после сохранения, и вам следует подогнать его по месту, визуально опираясь на базовые спутниковые снимки, используя маркеры, расположенные по углам изображения.

Список литературы

1. Leaflet.JS - открытая JavaScript-библиотека для интерактивных карт [Электронный ресурс]. - http://leafletjs.com/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
2. Google Maps APIs [Электронный ресурс]. - https://developers.google.com/maps/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
3. API Яндекс.Карт [Электронный ресурс]. - https://tech.yandex.ru/MAPS/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
4. REST // Википедия. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 14.02.2018. URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=90910995 (режим доступа: свободный, дата обращения: 14.02.2018).

5. OpenLayers — динамические карты на любых веб-страницах [Электронный ресурс]. - http://openlayers.org/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
6. A tiled web map is a map displayed in a browser by seamlessly joining dozens of individually requested image files over the internet // Википедия [Электронный ресурс]. Дата обновления: 06.09.2017. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Tiled_web_map (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
7. ГИС технологии // Википедия. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 29.09.2017. URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=87932278 (режим доступа: свободный, дата обращения: 29.09.2017).
8. GeoJSON. [Электронный ресурс]. - http://geojson.org/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
9. ShapeFile file format // Википедия [Электронный ресурс]. Дата обновления: 31.05.2017. URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=85712924 (режим доступа: свободный, дата обращения: 31.05.2017).
10. LiquiBase - source control for your database [Электронный ресурс]. - http://www.liquibase.org/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
11. Git is distributed version control system [Электронный ресурс]. - https://git-scm.com/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
12. JSON Editor takes a JSON Schema and uses it to generate an HTML form [Электронный ресурс]. - https://github.com/jdorn/json-editor (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
13. JSON Schema is a vocabulary that allows you to annotate and validate JSON documents [Электронный ресурс]. - http://json-schema.org/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
14. Leaflet.PM - Plugin For Creating And Editing Geometry Layers in Leaflet 1.0 [Электронный ресурс] - https://github.com/codeofsumit/leaflet.pm (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
15. Leaflet.ImageOverlay.Rotated - Display rotated and skewed images in your LeafletJS maps [Электронный ресурс]. -

https://github.com/IvanSanchez/Leaflet.ImageOverlay.Rotated (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).

16. OSM Geocoder is a simple geocoder that uses the OpenstreetMap gecoder Nominatim to locate places [Электронный ресурс]. - https://github.com/k4r573n/leaflet-control-osm-geocoder (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
17. Leaflet.BeautifyIcon, a lightweight plugin that adds colorful iconic markers without images for Leaflet by giving full control of style to end user [Электронный ресурс]. - https://github.com/marslan390/BeautifyMarker (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
18. Font Awesome предлагает вам масштабируемые векторные иконки [Электронный ресурс]. - http://fontawesome.ru/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
19. A dialog modal window that is resizable and positionable on the map [Электронный ресурс]. - https://github.com/NBTSolutions/Leaflet.Dialog (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018).
20. EnjoyHint - Интерактивные подсказки для Вашего веб-сайта или приложения [Электронный ресурс]. - https://github.com/xbsoftware/enjoyhint/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.03.2018)

CARTOGRAPHY SUBSYSTEM OF WEB-SERVICE RISK EVALUATION OF TECHNOGENIC OBJECTS

Galiullin Marat Enzimovich
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *m.a.galiullin@gmail.com*

The article describes approaches, data models and software used to build a web service risktools.ru, the interface of which is largely based on geographic maps. The article gives an overview and describes the advantages of the open JavaScript library Leaflet.JS, designed to introduce cartographic functionality into web applications. Briefly listed are the software additions to the Leaflet.JS library, extending its capabilities, as well as some third-party JS libraries. The data model used is described and emphasis is placed on its similarity to the data models used in GIS systems. A brief instruction is given for users who begin working with the web service described in the article.

Keywords: risk evaluation, technogenic objects, web-service, geoinformation systems, javascript, leaflet.js, json-schema.

УДК 004.031.4

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА АВАРИЙНОГО РИСКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

А.В. Радикова, В.О. Анашин
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *anna.radikova.ar@gmail.com, anashin2111@gmail.com*

Процедура анализа и оценки аварийного риска производственного объекта характеризуется такой величиной как неопределенность. Решение этой проблемы возможно с применением системного анализа при количественной оценке аварийного риска. Построение общей модели типовых производственных объектов с привлечением методов системного анализа позволяет получить возможность сопоставимости результатов оценки аварийных рисков производственных объектов.

Ключевые слова: производственный объект, аварийный риск, web-сервис оценки рисков, системный анализ.

Введение

Любое опасное производство (объекты нефтегазового комплекса, химически опасные объекты и т.п.) представляют угрозу жизни и здоровья персонала и проживающего вблизи населения. Мера опасности для таких объектов выражается в показателях риска.

Под количественной оценкой риска (КОР) аварии понимается определение значений числовых характеристик случайной величины ущерба (человеку, имуществу и окружающей среде) от аварий на опасных производственных объектах (ОПО). В количественной оценке риска аварии оцениваются значения вероятности (частоты) и соответствующей степени тяжести последствий реализации различных сценариев аварий для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды [1].

Анализ опасностей на объекте выявляет все возможные аварийные ситуации, которые могут повлечь за собой причинение вреда здоровью и/или жизни людей и значительный материальный ущерб. Оценка риска включает в себя прогнозирование последствий каждой аварийной ситуации, выявленной на этапе анализа опасностей. При этом масштабы любой аварийной ситуации на объекте зависят от множества факторов (например, время

года, скорость и направление ветра, температура воздуха и т.д.), влияющих на конечный результат. Решение проблемы неопределенности количественной оценки риска на типовых объектах возможно с привлечением методов системного анализа.

Количественная оценка аварийного риска

При проведении процедуры КОР необходимо провести анализ опасностей на объекте, определить вероятности/частоты и тяжесть последствий и/или ущерба от возможных аварий, что в совокупности отобразится в значениях показателей риска [2]:

1 Индивидуальный риск ($R_{\text{инд.}}$) – ожидаемая частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии.

2 Коллективный риск ($R_{\text{колл.}}$) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени.

Индивидуальный и коллективный риск – это численные значения, величина опасности, которую представляет собой объект для человека/группы лиц в течение одного года.

3 Потенциальный риск ($R_{\text{пот.}}$) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке ОПО и прилегающей территории. Представляет собой ситуационный план объекта в виде изолиний, показывающих распределение значений риска гибели людей от поражающих факторов аварий по территории ОПО и прилегающих территорий в течение года.

4 Социальный риск ($F(x)$) – зависимость частоты возникновения сценариев аварий F, в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N. График ступенчатой функции, описывающей зависимость ожидаемой частоты аварий, в которых в может погибнуть не менее человек, от числа погибших .

В настоящее время на законодательном уровне РФ утверждено несколько методических рекомендаций оценки рисков на опасных объектах [2–4].

Системный анализ в определении аварийного риска объекта

Количественная оценка риска аварий проводится с целью обоснования безопасности производственных объектов, поэтому важно соблюдать некоторые принципы в ходе проведения процедуры КОР:

- достоверность данных, характеризующих производственный объект;
- использование только действующих методических рекомендаций на момент проведения процедуры КОР;
- единообразие методов идентификации опасностей, частотного и вероятностного анализа и расчетов, выполняемых при прогнозировании последствий аварий, для идентичных групп объектов (например, АЗС, котельных, химически опасных объектов и т.д.).

Таким образом, следуя этим принципам, становится возможным провести сравнительный анализ среди идентичных групп объектов и объективно выделить наиболее опасные зоны (или объекты), становится понятным, где и в каком количестве (относительно других объектов) необходимо сосредоточить ресурсы для обеспечения безопасной эксплуатации объекта. Такой подход позволит выделить безопасные зоны, что необходимо при планировании развития инфраструктуры.

Примером этому может послужить Web-сервис Американского красного креста [5], где представлены карты рисков возникновения природных катастроф. На отечественном рынке представлено 2 продукта, схожих по назначению с зарубежным. Так, Консорциум «Интегра-С» - Интеллектуальные системы безопасности [6] представил продукт АПК «Безопасный город». Система Безопасный город реализована в городах Новомосковск, Отрадный, Пенза и Новочебоксарск. Он представляет собой совокупность комплексных средств автоматизации существующих и перспективных федеральных, региональных, муниципальных и объектовых автоматизированных систем на местном уровне, объединенных для решения задач в сфере обеспечения защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера, общественной безопасности, правопорядка и безопасности среды обитания, а также взаимодействующих с ними автоматизированных систем в рамках единой

региональной информационно-коммуникационной инфраструктуры [6]. Второй продукт, комплекс прогнозирования чрезвычайных ситуаций [7] компании ЗАО Конструкторское бюро «Панорама» предназначен для выполнения автоматизированного прогнозного моделирования и оценки потенциальных последствий при возникновении чрезвычайной ситуации на радиационно опасном объекте, химически опасном объекте, взрывоопасном объекте и гидротехническом сооружении.

В качестве альтернативы был создан такой ресурс, который обеспечил выполнение принципов, предложенных выше. Web-сервис количественной оценки рисков аварий на производственных объектах содержит инструментарий, необходимый для обоснования безопасности объекта. Встроенные алгоритмы решения и заранее заданные частотные и вероятностные характеристики аварийных сценариев позволят минимизировать проблему неопределенности оценок риска [8].

Примечание. На момент написания статьи рабочая бета-версия сервиса доступна по адресу http://beta.risktools.ru.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

2. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

3. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. огт 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

4. Приказ Ростехнадзора от 29.06.2016 № 272 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности».

5. American Red Cross [Электронный ресурс]. – http://maps.redcross.org/website/maps/arc_map_links.html (режим доступа: свободный, дата обращения 10.055.2018).

6. Консорциум «Интегра-С» [Электронный ресурс]. – https://www.integra-s.com/ (режим доступа: свободный, дата обращения 10.055.2018).
7. АО Конструкторское бюро «Панорама» [Электронный ресурс]. – https://gisinfo.ru (режим доступа: свободный, дата обращения 10.055.2018).
8. Колесников Е.Ю. Анализ техногенного риска: проблемы и неопределенности / Проблемы анализа риска / 2013. Т. 10. № 5. С.14-21.

ANALYSIS AND ESTIMATION OF THE EMERGENCY RISK FROM THE POINT OF VIEW OF SYSTEM ANALYSIS

A.V. Radikova, V.O. Anashin
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *anna.radikova.ar@gmail.com, anashin2111@gmail.com*

The procedure for the analysis and evaluation of the emergency risk of a production facility is characterized by such magnitude as uncertainty. The solution of this problem is possible with the use of system analysis in the quantitative assessment of emergency risk. The construction of a common model of standard production facilities with the use of methods of system analysis makes it possible to obtain the comparability of the results of an assessment of the emergency risks of production facilities.

Keywords: production facility, emergency risk, risk assessment web service, system analysis.

УДК 004.031.4

РАНЖИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО УРОВНЮ КОЛЛЕКТИВНОГО РИСКА ПРИ АВАРИЯХ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НА ПРИМЕРЕ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

В.О. Анашин, А.В. Радикова
Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия
e-mail: *anashin2111@gmail.com, anna.radikova.ar@gmail.com*

В статье предлагается метод ранжирования урбанизированных территорий по уровню коллективного риска при авариях на стационарных техногенных объектах. В статье предлагается использование WEB-сервиса по оценке техногенных рисков в качестве платформы для наполнения необходимой информацией базы данных. Рассмотрены преимущества использования WEB-сервиса для оценки техногенных рисков. В статье рассмотрены существующие методы оценки риска территорий. В статье приведен пример ранжирования территорий районов города Ижевска.

Ключевые слова: ранжирование территорий, техногенная авария, коллективный риск, онлайн–сервис, прогнозирование аварий.

Введение

В соответствии с разрабатываемым проектом «Развитие проблемно-ориентированного наполнения прототипа онлайн WEB-сервиса оценки рисков чрезвычайных ситуаций, устойчивости территорий и хозяйствующих субъектов Российской Федерации» [1] рассматриваются и разрабатываются методы ранжирования урбанизированных территорий по прогнозам последствий аварий на техногенных объектах.

Ранжирование территорий по прогнозам последствий аварий на техногенных объектах необходимо для регулирования уровня риска на территориях, отлаживания новых методов по снижению уровня риска и обмена опытом между областями, республиками, городами, муниципальными образованиями в области анализа риска и снижения риска на опасных объектах.

Обзор работ в области ранжирования территорий по уровням риска природных и техногенных чрезвычайных ситуаций

В статье [2] предлагается методологический подход к анализу и оценке территориального риска на основе системы формализованных критериев оценки опасности территорий. В статье представлен подход к зонированию территории по уровням риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. В качестве формализованных критериев оценки опасности территории предлагается использовать комплексный показатель потенциального территориального риска и показатель коллективного риска, который наиболее пригоден для зонирования территорий по уровню риска. Зонирование территорий происходит при сравнении значений среднестатистической частоты возникновения ЧС каждого вида за год и среднестатистического количества пострадавших в ЧС за год с нормативами приемлемого риска территории или части территории муниципального образования.

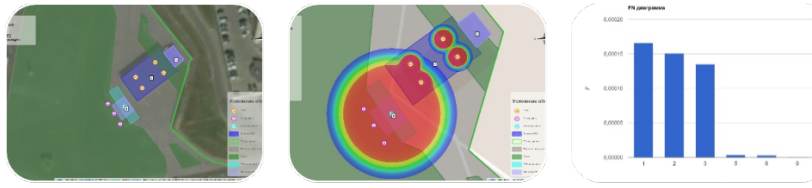
В статье [3] представлен метод ранжирования территорий по уровню пожарной опасности общественных зданий. Ранжирование производится по средним по территории показателям индивидуального пожарного риска.

Сбор информации

Одной из проблем для решения задачи ранжирования служит: наполнение базы данных информацией об опасных объектах.

Следующая проблема заключается в обработке введенных данных и расчете необходимых величин. Для процедуры ранжирования территорий по уровню техногенного риска такой величиной служит коллективный риск.

Предлагается использовать WEB-сервис, который предназначен для прогнозирования ущерба от аварий и катастроф на техногенных объектах Российской Федерации. Проект решает одну из задач в данной области – создание технической базы для прогнозирования и управления техногенными рисками в пределах территории Российской Федерации. С точки зрения Пользователя инфраструктура представляется в виде проблемно-ориентированного WEB-сервиса, каждая компонента которого поддерживает определенную функциональность. Одной из таких функциональностей является автома-



а б в

Рисунок 1 — Пример представления данных: а – схема объекта, б – вероятность поражения человека, в – FN-диаграмма.

тизированная разработка паспорта безопасности автозаправочной станции.

Разработчику или другому ответственному лицу предоставлена возможность составления ситуационных планов на заранее подготовленной топооснове, где пользователь сам вводит план разрабатываемого объекта с указанием мест расположения очагов аварий, персонала объекта и мест массового скопления людей и их количество, пример введенного объекта представлен на рисунке 1. Все введенные данные хранятся в базе данных сервиса.

В дальнейшем к базе данных будет применен алгоритм, который позволит вычислить коллективный риск территорий и расположить их в ранжированном порядке. Результатом работы служит карта, разделенная на территории. Каждая территория выделяется цветом в соответствии с рангом.

Метод ранжирования территорий по уровню коллективного риска на опасных объектах

Для ранжирования территорий по уровню техногенной опасности предлагается использовать метод средних показателей риска по территории. В качестве критерия оценки опасности применяется коллективный риск.

Коллективный риск (или ожидаемые людские потери) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени [4]. Коллективный риск рассчитывается по формуле 1:

$$R_{\text{колл}} = \sum_{j=1}^{J} N_{\Gamma}^{j} \times Q_j, \quad (1)$$

где Q_j – частота j-го сценария, при котором ожидаемое количестов погибших равно N_{Γ}^{j}.

Формула определения среднего коллективного риска на территории:

$$R_{\text{колл}}^{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{\text{колл}\,i}}{n}, \quad (2)$$

где n – число объектов на территории.

Так как ранжирование происходит по величине коллективного риска, то наиболее целесообразно использовать в расчетах количество проживающего на территории населения и работающего персонала.

$$R_{\text{терр}} = \frac{R_{\text{колл}}^{\text{ср}}}{M}, \quad (3)$$

где M – площадь территории.

Для реализации данного проекта необходимо разработать и наполнить базу данных информацией о территориях и опасных объектах.

Пример работы

Для демонстрации работы была рассмотрена территория города Ижевска, а именно его районы: Ленинский район, Октябрьский район, Первомайский район, Индустриальный район, Устиновский район – рисунок 2. В качестве опасных объектов служат автозаправочные станции, так как их количество достаточно велико в черте заданных территорий. Было введено 20 традиционных автозаправочных станций (АЗС) – таблица 1.

Таблица 1 — Характеристики районов города Ижевска.

Наименование района	Площадь, м$_2$	Количество АЗС, шт.
Ленинский район	127308200	4
Октябрьский район	81602491	2
Первомайский район	49526724	6
Устиновский район	24148476	4
Индустриальный район	35173422	4

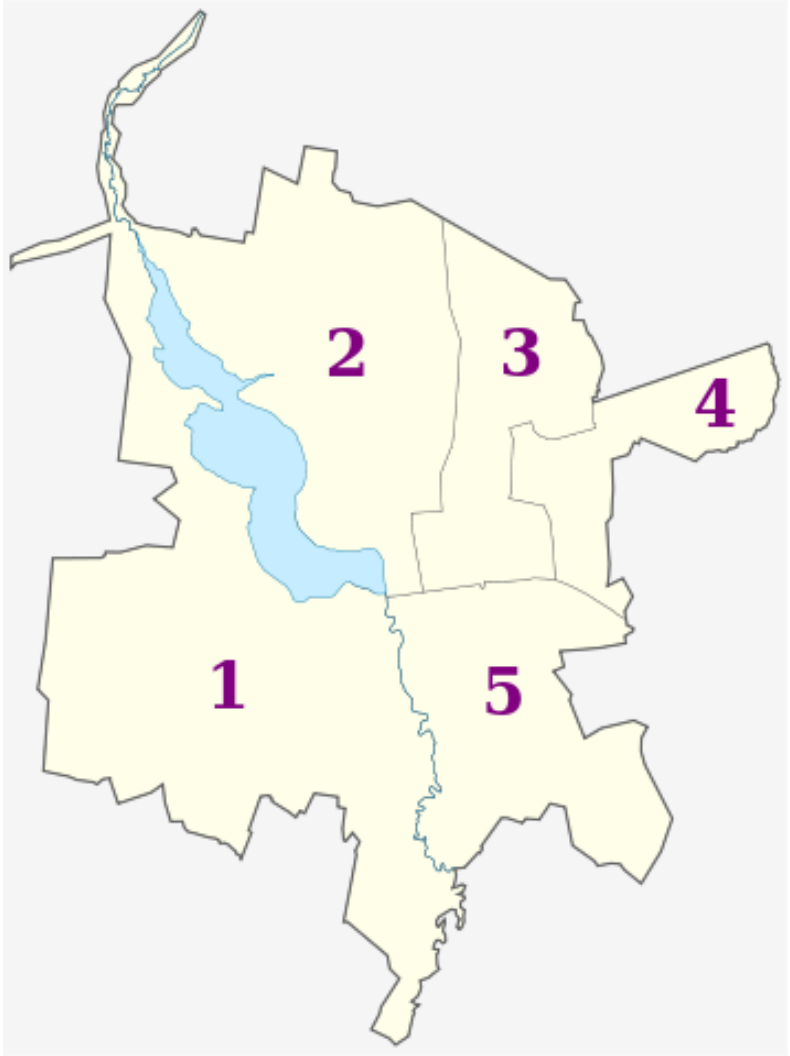


Рисунок 2 — Административное деление города Ижевска, где 1 – Ленинский район, 2 – Октябрьский район, 3 – Индустриальный район, 4 – Устиновский район, 5 – Первомайский район.

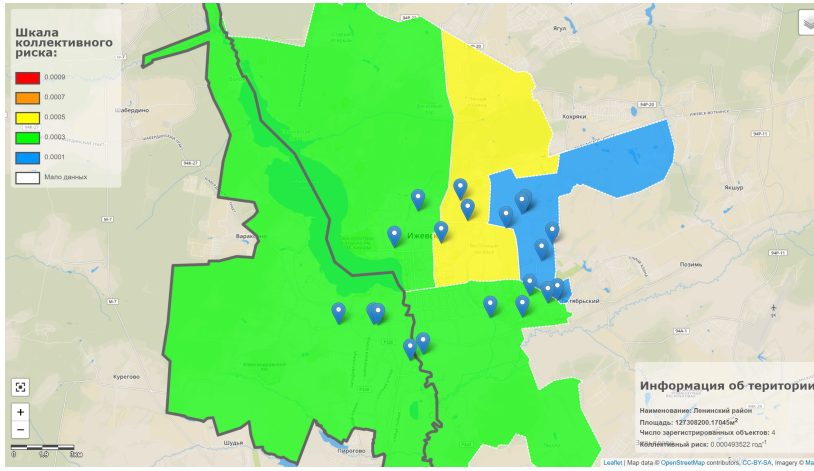


Рисунок 3 — Пример отображения ранжированных территорий.

Результат проделанной работы представлен на рисунке 3 и в таблице 2.

Таблица 2 — Ранжированный список по среднему коллективному риску территорий города Ижевска.

Наименование района	Коллективный риск, 1/год
Индустриальный район	0.00054
Ленинский район	0.00049
Октябрьский район	0.00041
Первомайский район	0.00032
Устиновский район	0.00025

Ранжирование по среднему значению коллективного риска территории будет происходить не корректно. Поэтому необходимо определить факторы, которые характеризуют урбанизированную территорию. К таким факторам могут относиться:

- площадь территории;
- количество проживающего и работающего населения.

Заключение

Применив данный подход мы можем:

- оцифровать данные об опасных объектах, что является современным способом представления информации;
- разработать и заполнить единую базу данных об опасных объектах, что позволит структурировать и привести к единому виду информацию об опасных объектах;
- выделить проблемные территории по уровню техногенного риска на опасных объектах (регионы, субъекты, города, муниципальные образования);
- визуализировать поля потенциального территориального риска.

В дальнейшей работе планируется внедрить методику оценки коллективного риска территории включающую в себя характеристики территории. Необходимо оценить приемлемый коллективный риск на единицу площади территории.

Список литературы

1. Галиуллин М.Э., Анашин В.О., Радикова А.В. Проект «Облачного сервиса оценки рисков ЧС и устойчивости для территорий и хозяйствующих субъектов» // Безопасность в техносфере: сборник статей/ науч. Ред. Колодкин В.М. - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017 – 96-121с.
2. Фалеев М.И., Малышев В.П., Быков А.А., Кондратьев – Фирсов В.М. Методологические подходы к зонированию территорий Российской Федерации по уровням риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, том – 5, 2015, №1(8). С. 67 – 90.
3. Колодкин В.М., Морозов О.А. Ранжирование территорий по уровню пожарной опасности общественных зданий // Пожарная безопасность. 2013, №1.
4. Приказ Ростехнадзора от 11.04.206 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

RANKING OF TERRITORIES BY THE LEVEL OF COLLECTIVE RISK IN CASE OF ACCIDENTS ON TECHNOGENIC OBJECTS BY THE EXAMPLE OF GAS STATIONSY

V.O. Anashin, A.V. Radikova
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *anashin2111@gmail.com, anna.radikova.ar@gmail.com*

The article proposes a method for ranking urbanized territories by the level of collective risk in case of accidents at stationary technogenic objects. The article proposes the use of an online service for the assessment of technogenic risks as a platform for filling the database with the necessary information. The advantages of using the online service for assessing technogenic risks are considered. The article considers existing methods of risk assessment of territories. The article gives an example of the ranking of the territories of the districts of the city of Izhevsk.

Keywords: ranking of territories, technogenic accident, collective risk, online service, accident forecasting.

УДК 614.8

ПРОЕКТ ПРОТИВОПОЖАРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

А.В. Романенко, Г.М. Чигвинцев, С.В. Широбоков, Д.В. Варламов, С.Ю. Загуменов
Удмурсткий Государственный Университет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *rom@udsu.ru, sergirt@mail.ru*

Рассмотрены вопросы проектирования и использования противопожарных комплексов для повышения безопасности людей за счет эффективного применения средств индивидуальной защиты и средств пожаротушения. Обоснована необходимость создания таких комплексов как дополнительных компенсирующих мероприятий противопожарного характера. Рассмотрены варианты противопожарных комплексов по функциональному назначению.

Ключевые слова: проект, противопожарный комплекс, средства индивидуальной защиты, безопасность людей.

Проблема обеспечения безопасности людей при возникновении пожара в здании имеет ряд аспектов, одним из которых является повышение эффективности применения средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения при пожарах и эвакуации в зданиях. Организационные мероприятия и технические средства для раннего обнаружения и эффективного тушения возгорания наряду со своевременной эвакуацией определяют в итоге безопасность людей и материальный ущерб от пожара. Пожары в Перми, Казани и Кемерово еще раз подвели эти итоги. Административные и правовые аспекты обеспечения безопасности в зданиях с массовым пребыванием людей, в которых не работают имеющиеся системы пожарной сигнализации, средства и системы пожаротушения далее не рассматриваются.

Ежегодно в Российской Федерации случается множество пожаров, в 2017 году было 132406 пожаров. Актуальность проблемы для Приволжского Федерального округа и Удмуртской Республики так же очевидна. Только в 2017 году на территории Приволжского Федерального округа произошло 49849 пожаров, в которых погибло

3407 человек и 3598 -травмировано. В Удмуртской Республике в 2017 году было 1137 пожаров, при этом 106 человек погибло и 92 человека было травмировано [1].

Зачастую при пожарах в зданиях погибают люди из-за отсутствия или неумения правильно использовать современные средства пожаротушения и индивидуальной защиты. Если эти средства имеются и люди знают и умеют их правильно использовать, то они могут не только остановить возгорание на ранних стадиях, но и спасти свою жизнь и жизнь других людей при эвакуации. Если люди (посетители зданий, рабочий персонал или другие сотрудники) находятся в зданиях сложной архитектуры и повышенной этажности, то при пожаре пути эвакуации могут оказаться заблокированными очагом возгорания, размеры зон блокирования могут значительно изменяться по мере его развития и это может привести к человеческим жертвам. В зданиях сложной архитектуры, повышенной этажности и особенно в зданиях с массовым пребыванием людей необходимы дополнительные компенсирующие мероприятия противопожарного характера в потенциально опасных местах возникновения и быстрого развития пожара с возможным блокированием путей эвакуации. В настоящей работе рассмотрен проект противопожарного комплекса для повышения безопасности людей и эффективности применения средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения и детекторов опасных факторов пожара при пожарах и эвакуации в зданиях, который и представляет собой дополнительные компенсирующие меры противопожарного характера.

Актуальность создания таких аппаратных противопожарных комплексов обусловлена большим количеством человеческих жертв во время пожаров в Российской Федерации. Важно и то, что дополнение ими средств пожаротушения и современных систем пожарной сигнализации, уже установленных в зданиях сложной архитектуры и повышенной этажности, при сравнительно небольших дополнительных затратах, позволит получить дополнительные новые возможности по раннему обнаружению и тушению возгорания, а так же повышение безопасности людей при эвакуации. Особенно это актуально для зданий с массовым пребыванием людей и большим количеством полимерных материалов. Например, в статье «Полимерные материалы и пожар» [2] отмечается, что в среднем только 18 % людей гибнет от ожогов, остальные – от отравления в сочетании с действием стресса, тепла и других.

Человеческий организм имеет предельные значения каждого из опасных и токсичных факторов пожара, при превышении которых происходит поражение различных органов и даже смерть. Известно так же, что даже при сравнительно небольшом пожаре в помещении, насыщенном полимерными материалами, происходит быстрая гибель находящихся там людей главным образом от отравления ядовитыми летучими продуктами.

Основным замыслом предлагаемого проекта является объединение в едином комплексе пульта контроля и связанных с ним проводной и (или) беспроводной связью шкафов-контейнеров. В шкафах-контейнерах наряду с известными или даже уже существующими средствами противопожарной защиты, средствами пожаротушения, детекторами опасных факторов пожара и устройствами пожарной сигнализации, установлены дополнительные устройства связи и контроля. Эти дополнительные устройства связи и контроля направлены на объединение функций отдельных частей и средств, то есть интеграцию различных функций в предлагаемом комплексе наряду с дополнительным информационным обеспечением о месте возгорания и характере пожара в здании. Такое информационное обеспечение и дополнительный контроль пожарной обстановки в наиболее опасных местах зданий, где будут располагаться шкафы-контейнеры такого комплекса, и может обеспечить повышение безопасности людей и эффективности применения средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения и повышение эффективности мероприятий по ликвидации пожаров и проведении эвакуации людей.

Автоматический контроль за сохранностью средств индивидуальной зашиты (СИЗ), средств пожаротушения, детекторов опасных факторов пожара и устройств пожарной сигнализации в шкафах-контейнерах предлагаемого комплекса обеспечит их сохранность и готовность к применению. Наличие средств проводной и (или) беспроводной связи, световой и звуковой сигнализации, в предлагаемом комплексе информирует дежурный персонал и людей отвечающих за пожарную безопасность о готовности к применению и начале применения средств индивидуальной зашиты и средств пожаротушения. Сигналы с детекторов опасных факторов пожара и кнопок «Чрезвычайная ситуация» информируют о возникновении сложившейся опасной ситуации и о наличии людей оставшихся в критической ситуации возле контейнеров и требующих помощи.

Датчики обнаружения задымления и температурные датчики повсеместно используются пожарных сигнализациях либо поотдельности, либо в составе комбинированных тепло-дымовых пожарных извещателей. В предлагаемом комплексе эти датчики используются совместно с устройствами связи и контроля наличия средств индивидуальной зашиты и средств пожаротушения в каждом из шкафов-контейнеров такого комплекса. Также и информация об их состоянии и количестве средств индивидуальной зашиты и средств пожаротушения выводится на пульт контроля комплекса. Пульт контроля комплекса связан проводной и (или) беспроводной связью с каждым контейнером, предназначен для сбора и отображения информации о текущем состоянии контейнеров, наличии средств индивидуальной защиты для эвакуации и средств пожаротушения, о наличии дыма и/или огня вблизи контейнеров, отображает сигналы людей о помощи во время чрезвычайных ситуаций.

По целевому (функциональному) назначению в проекте выделим далее три вида-варианта противопожарных комплексов с контейнерами и пультами контроля, которые отображают полное количество СИЗ и огнетушителей в контейнерах, сигналы тепло-дымовых пожарных извещателей и другие сигналы, рассмотренные выше. В опытно-промышленных вариантах комплекса должны использоваться действующие средства индивидуальной защиты, средства пожаротушения и тепло-дымовые пожарные извещатели.

Первый вариант таких комплексов – **противопожарный**, направлен на повышение безопасности людей и эффективности раннего тушения пожаров, а второй **пожарноспасательный** – на повышение безопасности людей при эвакуации за счет раннего и/или неоднократного применения средств индивидуальной защиты при эвакуации людей из потенциально опасных мест зданий с наиболее вероятным или возможным блокированием путей эвакуации.

Первый вариант комплекса, направленный на пожаротушение и уменьшение материального ущерба от пожара в контейнере содержит равные количества средств индивидуальной защиты и огнетушителей, например, три (или более) самоспасателя с огнестойкими накидками и три огнетушителя (или более). Количество таких контейнеров в здании с массовым пребыванием людей и (или) большими материальными ценностями должно быть несколь-

ко, (например К конт.) в зависимости от сложности архитектуры и этажности, распределения по зданию материальных ценностей и пожарной нагрузки. В случае локального небольшого возгорания, которое можно потушить первичными средствами пожаротушения, рабочий персонал или другие сотрудники в здании извлекают из контейнеров и берут (одевают) средства индивидуальной защиты чтобы обезопасить себя от опасных факторов пожара, берут огнетушители и направляются тушить очаг возгорания. Уменьшение величины материального ущерба от пожара и повышение эффективности пожаротушения достижимо за счет применения средств пожаротушения в средствах индивидуальной защиты, то есть людьми уже защищенными от отравления ядовитыми летучими продуктами и от ожогов. При этом дополнительные затраты даже на опытно-промышленный комплекс и средства индивидуальной защиты могут быть многократно (значительно) меньшими по сравнению с возможным материальным ущербом от пожара и погибшими людьми при малоэффективном тушении пожара. Применение самоспасателей и огнестойких накидок совместно со средствами пожаротушения и информацией о месте возгорания, полученной с использованием дополнительных устройств связи (например, аудиосвязи), и создает возможности для более быстрого, более безопасного и эффективного гашения или остановки (задержки) возгорания на ранних стадиях и для повышения безопасности людей до прибытия пожарной команды.

Второй вариант, пожарноспасательный комплекс, направлен на повышение безопас-ности людей при эвакуации и содержит в контейнере, например, от шести (6 сиз) или более ($Н_{сиз}$) средств индивидуальной защиты (далее самоспасателей) с таким же количеством огнестойких накидок и не менее одного огнетушителя. Количество таких контейнеров в здании с массовым пребыванием людей должно быть несколько, (например, $К_{конт.}$) в зависимости от сложности архитектуры, количества людей и этажности. Данный вариант предусматривает, что рабочий персонал или другие сотрудники в здании (или группа людей, которые заблокированы) в случае пожара и/или сильного задымления извлекают из контейнера и берут (надевают) средства индивидуальной защиты, берут при необходимости огнетушитель, и направляется по путям эвакуации к выходу из здания. За время защитного действия самоспасателей (30 минут) при среднем времени эвакуации в СИЗ, например, 4 минуты, за это время могут безопасно эвакуироваться шесть или

более людей. Эти СИЗ при выходе людей из здания могут (и должны) собираться и при необходимости повторно использоваться для эвакуации других людей. При среднем времени сбора и возврата СИЗ, например, 6 минут, цикл применения средств индивидуальной защиты составит 10 минут, и очевидно, что за время защитного действия самоспасателей – 30 минут таких циклов повторного применения СИЗ может быть 3, то есть за это время могут безопасно могут эвакуироваться 18 чел или ($3 * \text{Н}_{\text{СИЗ}}$) людей. Общее же число людей, которые смогут безопасно эвакуироваться используя СИЗ во всех контейнерах может возрасти до $18 * \text{К}_{\text{конт.}}$ или если обозначить количество циклов повторного применения СИЗ через усредненный коэффициент повторного применения ($\text{К}_{\text{прим.}}$) приходим к общему числу людей, которые могут быть эвакуированы в СИЗ $\mathbf{Н_{макс.}} = (\mathbf{К_{прим.}} * \mathbf{К_{конт.}} * \mathbf{Н_{СИЗ}})$ людей. Эти числа характеризуют максимально возможное количество людей, которые могут быть более безопасно эвакуированы при использовании всех СИЗ во всех контейнерах, то есть максимальный потенциал повышения безопасности людей и эффективности эвакуации или величину предотвращенного ущерба при эвакуации за счет применения средств индивидуальной защиты в условиях интенсивного задымления при пожаре.

Третий вариант комплекса направлен одновременно и на повышение безопасности людей за счет эффективного раннего тушения возгораний и на повышение эффективности эвакуации людей с использованием СИЗ при пожаре. Этот вариант комплекса комбинированного типа содержит одновременно контейнеры для обеспечения эвакуации и контейнеры для обеспечения пожаротушения. На их основе достижимо уменьшение материального ущерба от пожара за счет раннего и эффективного применения средств пожаротушения в средствах индивидуальной защиты. При этом чрезвычайная ситуация с возможной гибелью людей в случае пожара и/или сильного задымления за счет наличия и эффективного применения при эвакуации средств индивидуальной защиты комплексов комбинированного типа может быть завершена успешной эвакуацией.

Средства индивидуальной защиты в предлагаемом комплексе предназначены для защиты органов дыхания, кожных покровов и органов зрения от воздействия отравляющих веществ и других вредных примесей в воздухе во время пожаров. Эти средства разделяются на средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) и средства защиты кожи. Выбор типа и

количества средств защиты производится с учётом их назначения и необходимых защитных свойств, конкретных условий в местах установки контейнеров в здании.

Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (например, самоспасатель ГДЗК-У предприятия АО «Сорбент») используются при экстренной эвакуации людей из жилых и административных зданий, больниц, сооружений с массовым пребыванием людей и других помещений во время пожаров для защиты от токсичных продуктов горения; при экстренной эвакуации людей из зон поражения во время техногенных ЧС для защиты от ОХВ, радиоактивных веществ и продуктов горения. ГДЗК-У – средство защиты одноразового использования. Время защитного действия ГДЗК-У в условиях задымления при пожаре для различных отравляющих веществ и выделяющихся ядовитых и опасных продуктов горения – 30 мин, срок годности к использованию – 5-6 лет. Огнестойкий ГДЗК-У состоит из капюшона с огнестойким смотровым окном, регулируемого оголовья и эластичного шейного обтюратора; имеется подмасочник с клапаном выдоха, фильтрующе-поглощающая коробка для дыхания. Огнестойкий ГДЗК-У имеет вес около 1 кг, помещен в герметичный пакет и вложен в компактную сумку [3].

Отличия и преимущества самоспасателей по сравнению с противогазами: безразмерность (возможность использования подростками и взрослыми вне зависимости от размера головы, использования очков и т. д., в то время как противогаз подбирается индивидуально); широкий спектр защиты от различных отравляющих веществ и выделяющихся продуктов горения, компактность и низкая цена. Устойчивость к воздействию открытого пламени до $+800\ ^oC$ (до 5 сек) и температуры окружающей среды до $+200\ ^oC$ (до 1 минуты).

Специальные огнестойкие накидки предназначены для предотвращения возгорания одежды и защиты тела человека от открытого пламени, повышенных температур и теплового излучения при пожаротушении и обеспечении безопасной эвакуации в условиях пожара. Основные характеристики огнестойких накидок: Устойчивость к воздействию открытого пламени до $+800\ ^oC$; Устойчивость к контакту с нагретой твёрдой поверхностью до $+400\ ^oC$; Устойчивость к воздействию теплового потока до 8.5 кВт/м^2; Устойчивость к воздействию температуры окружающей среды до $+200\ ^oC$.

В качестве основы корпусов контейнеров предлагаемых противопожарных и пожарно-спасательных комплексов целесооб-

разно использовать с доработкой типовые металлические пожарные шкафы (например, ШП-310Н навесной с размерами 540*650*230 мм или напольный сдвоенный). В таких контейнерах размещается несколько газодымозащитных комплектов самоспасателей с таким же количеством огнестойких накидок, средства пожаротушения и будут установлены дополнительные устройства проводной и (или) беспроводной связи, устройства контроля количества СИЗ и огнетушителей, которые вместе с детекторами опасных факторов пожара подключены к пульту контроля комплекса.

Пульт контроля за состоянием контейнеров предназначается для сбора и отображения информации о текущем состоянии контейнеров, содержащих средства индивидуальной защиты для эвакуации и средства пожаротушения, о наличии дыма или огня вблизи контейнеров, отображение сигнала людей о помощи во время чрезвычайных ситуаций. Пульт отображает количество оставшихся СИЗ каждом отдельном контейнере; номер (место) контейнера и наличие дыма/огня рядом с ним; вызовы через кнопку «Чрезвычайная ситуация», аудиосвязь в прямом и обратном направлениях, наличие огнетушителей, наличие электропитания пульта и контейнеров. ЖКИ-экран пульта или его лицевая панель делится на ячейки, в каждой из которых двухцветными ЖКИ или светодиодными индикаторами выведена информация по каждому отдельному контейнеру о наличии в нем средств индивидуальной защиты и тушения пожара, наличии дыма или огня рядом с ним, вызовов через кнопки «Чрезвычайная ситуация», аудиосвязи и других сигналов с указанием номера (или места установки) контейнера.

Методика применения противопожарных и пожарно-спасательных комплексов. На первом начальном этапе пожара, когда началось возгорание, должны быть применены имеющиеся первичные средства пожаротушения ближайшие к очагу возгорания. Если очаг возгорания на этом этапе людьми не потушен наступает второй этап – этап применения предлагаемых противопожарных и пожарно-спасательных комплексов.

На этом втором этапе пожара, если поступило сообщение от людей о начале возгорания или сработало оповещение штатной пожарной сигнализации или поступили сигналы с детекторов опасных факторов пожара и кнопок «Чрезвычайная ситуация» пожарно-спасательного комплекса, рабочий персонал и другие сотрудники в здании информируются о возникновении пожара. Они открывают контейнер (контейнеры) комплекса чтобы защитить

себя от опасных факторов пожара при тушении возгорания или проведения эвакуации людей из горящего здания. В это же время на пульте автоматически отображается информация об открытии дверцы любого контейнера. При этом из контейнеров извлекаются и одеваются самоспасатели с огнестойкими накидками, берутся огнетушители. Затем люди направляются к месту возгорания и приступают к тушению пожара. На пульте контроля обновляется и отображается информация об открытии дверей контейнеров, о том, сколько взяли средств индивидуальной защиты и огнетушителей или о том сколько СИЗ и огнетушителей осталось в контейнере, а также о нажатии кнопок «Чрезвычайная ситуация» или «Вызов аудиосвязи».

При эвакуации методика применения пожарно-спасательного комплекса состоит в том, что рабочий персонал или другие сотрудники в здании извлекают из контейнеров и одевают при необходимости самоспасатели с огнестойкими накидками, огнетушитель берётся одним из эвакуирующихся для защиты при эвакуации через места, уже охваченные огнём. Для получения информации о наиболее безопасных путях эвакуации или если самоспасателей и огнестойких накидок в контейнере кому-либо не хватило, то через «Вызов аудиосвязи» через пульт контроля происходит связь с постом охраны или вахтой, то есть с людьми которые находятся возле пульта контроля комплекса или штатной пожарной сигнализации. В случае если добраться до оставшихся в других местах или контейнерах СИЗ не представляется возможным, то один из сотрудников в здании или из уже эвакуировавшихся может вернуться к отрезанным огнём и дымом людям с дополнительными целыми или уже вскрытыми комплектами самоспасателей и накидок. Такой вариант повторного применения СИЗ должен (или может) использоваться как до, так и после прибытия пожарной команды для повышения безопасности людей при эвакуации.

Организационно-штатные аспекты обеспечения эффективности применения средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения предлагаемых комплексов при пожарах и эвакуации в зданиях так же важны. Наличие средств индивидуальной защиты и средств пожаротушения само по себе не является гарантией эффективности их применения при тушении пожара или эвакуации. Необходимы дополнительные организационные мероприятия. Например, подготовка и комплектование на добровольной основе

(с надбавками к зарплате и/или другим материальным стимулированием) нештатных пожарно-спасательных постов на основе предлагаемых комплексов из числа сотрудников или рабочего персонала организаций или предприятий, которые находятся в зданиях с массовым пребыванием людей, в зданиях сложной архитектуры и/или повышенной этажности. Проведение дополнительного обучения этих сотрудников и учений пожарно-спасательных постов на базе комплексов и средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения очевидно необходимо.

Повышение безопасности людей и эффективности применения средств индивидуальной защиты и средств пожаротушения в составе противопожарных учебных комплексов **имеет и образовательно-учебный аспект**. Если люди знают и умеют грамотно и правильно использовать средства индивидуальной защиты и средства пожаротушения, то они смогут не только остановить возгорание на ранних стадиях, но и спасти свою жизнь и жизнь других людей при эвакуации при наличии таких средств. Поэтому была проведена разработка эскизного проекта демонстрационного образовательно-учебного комплекса в виде действующего макета, который отображает его принцип действия, работу тепло-дымовых пожарных извещателей и устройств пожарной сигнализации. Этот макет предназначен для обучения студентов и демонстрации эффективного использования средств индивидуальной зашиты и средств пожаротушения в составе материально-технического обеспечения учебного процесса по курсу «Физические методы противопожарной защиты» Института гражданской защиты УдГУ. Второй образовательно-учебный вариант – в виде упрощенного действующего имитационного макета комплекса на основе учебных средств индивидуальной зашиты и средств пожаротушения для повышения уровня материально-технического обеспечения и качества образования по тематике ОБЖ учащихся других образовательных учреждений.

Для повышения безопасности людей и уменьшения ущерба от пожаров и за рубежом и в России ведутся работы по снижению и систематизации пожарных рисков. В соответствии с федеральным законом РФ от 27.07.08 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» в России выделены пять категорий рисков объектов защиты (высокий, значительный, средний, умеренный, низкий). **Наибольший эффект** от применения предлагаемых противопожарных и пожарно-спасательных комплексов

даст их расположение (и применение) в зданиях с рисками выше среднего, в зданиях с массовым пребыванием людей, в зданиях сложной архитектуры и/или повышенной этажности, в зданиях с большими материальными ценностями. **Снижение пожарного риска** в зданиях сложной архитектуры, в зданиях с массовым пребыванием людей и увеличение вероятности успешной эвакуации при применении предлагаемых противопожарных комплексов в сочетании с организационными мероприятиями возможно за счет более эффективного использования средств пожаротушения в средствах индивидуальной зашиты. А так же эффективного и раннего применения средств индивидуальной защиты людей при пожарах, когда пути эвакуации могут оказаться заблокированными токсичными продуктами горения.

В заключение выражаем благодарность доктору технических наук, профессору, директору Института гражданской защиты УдГУ Колодкину В. М. за обсуждение данной работы на начальном этапе (в апреле 2016 года) и дальнейшую ее поддержку.

Список литературы

1. Статистика пожаров в Российской Федерации за 2017г. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://wiki-fire.org/- свободный.
2. Г.А.Васильев, В.В.Бояркина, С.В.Лапунова. Полимерные материалы и пожар. Журнал МОСТ, июль, 1999.
3. Газодымозащитный комплект ГДЗК-У [Электронный ресурс] PROTIVOGAZ.RU : Средства индивидуальной защиты | СИЗ в Перми | URL: http://protivogaz.ru/catalog/self_rescuers/gazodymozashchitnyy_komplekt_gdzk_u.

DRAFT FIRE-FIGHTING COMPLEX FOR IMPROVING SAFETY OF PEOPLE AND EFFICIENCY OF APPLICATION OF MEANS OF INDIVIDUAL PROTECTION AND MEANS OF FIRE-FIGHTING

A.V. Romanenko, G.M. Chigvintsev, S.V. Shirobokov, D.V. Varlamov, S.Yu. Zagoumenov
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *rom@udsu.ru, sergirt@mail.ru*

The issues of designing and using fire-fighting complexes to improve the safety of people through effective use of personal protective equipment and fire extinguishing means are considered. The necessity of creation of such complexes as additional compensatory measures of fire-prevention character is grounded. The variants of fire fighting complexes for functional purposes are considered.

Keywords: project, fire-fighting complex, personal protective equipment, people's safety.

УДК 614.8

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПО ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.М. Варламова
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия
e-mail: *dina@rintd.ru*

В статье представлен обзор существующих методов по оценке экономической эффективности систем пожарной безопасности. Рассмотрены программные комплексы, которые состоят из разделов по оценке экономической эффективности. Обоснована необходимость разработки программного комплекса по оценке стоимости работ по установке систем противопожарной защиты, которая позволит минимизировать затраты по оснащению системами противопожарной защиты.

Ключевые слова: экономическая эффективность, системы пожарной безопасности, снижение затрат.

Согласно нормативным документам все образовательные учреждения должны быть оборудованы системами пожарной безопасности. В нормативных документах описаны все системы пожаротушения, какие должны быть установлены в зданиях. При установке систем противопожарной защиты следует учитывать не только экономическую эффективность, но и эффективность срабатывания систем.

Первым документом, в котором рассматривалась методика оценки экономической эффективности, является ГОСТ 12.1.004-91 [1]. В данном стандарте представлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения и установлены требования к разработке проектов компенсирующих средств и систем обеспечения пожарной безопасности на стадиях строительства, реконструкции и эксплуатации объектов, для объектов, не соответствующих действующим нормам [1].

В приложении 4 стандарта [1] описан метод оценки экономической эффективности систем пожарной безопасности, который состоит из следующих разделов:

- экономическая оценка эффективности и затрат на обеспечение пожарной безопасности;

- расчет экономических потерь от пожара;

- расчет ожидаемых экономических потерь от возможного пожара;

- метод определения площади пожара.

Эффективность затрат на обеспечение пожарной безопасности определяется как социальными (оценивает соответствие фактического положения установленному социальному нормативу), так и экономическими (оценивает достигаемый экономический результат) показателями [1].

Расчет экономических потерь определяют по формуле 1.

$$П_{пр} = П_1 - П_2, \quad (1)$$

где $П_1$, $П_2$ – экономические потери от одного пожара на охраняемом объекте соответственно до и после реализации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности [1]. Экономические потери от пожара на объекте могут быть определены на основании статистических данных о пожарах и использовании расчетного метода.

При использовании статистических данных при оценке экономических потерь от пожара учитывались потери части национального богатства, потери в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий, потери из-за неиспользования возможностей вследствие пожара, социально-экономические потери.

Прогноз экономических потерь от возможного пожара производится на основе расчета параметров развития пожара на объекте (в здании), а также данных об эффективности элементов и систем обеспечения пожарной безопасности.

Математическое ожидание экономических потерь от пожара М(П) вычисляют по формуле 2.

$$M(П) = M(П_{н.б.}) + M(П_{о.р.}) + M(П_{п.о.}), \quad (2)$$

где $M(П_{н.б.})$ – математическое ожидание потерь от пожара части национального богатства, руб./год; $M(П_{о.р.})$ – математическое ожидание потерь в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий пожара, руб./год; $M(П_{п.о.})$ – математическое ожидание потерь от простоя объекта, обусловленного пожаром [1], руб./год.

Метод предназначен для определения площади пожара, значение которой необходимо при расчете потерь от пожара на объекте. Расчет площади пожара проводят для горючих и легковоспламеня-

ющихся жидкостей; она принимается равной площади размещения жидкостей или площади аварийного разлива [1].

Затем был разработан документ МДС 21-1.98 «Предотвращение распространения пожара» [2], в котором методика технико-экономического обоснования была вынесена в приложение. В данной методике рассмотрены следующие разделы:

- определение ожидаемых потерь от пожара;
- определение вероятности возникновения пожара;
- расчет площади развития пожара;
- оценка воздействия пожара;
- расчет пожарной нагрузки в здании, помещении;
- определение вида пожара;
- определение эквивалентной продолжительности локального пожара;
- определения размеров повреждения здания в случае объемного пожара;
- определение предельного значения количества пожарной нагрузки для условий локального и объемного пожаров и т.д.

В 2001 году Методика была представлена в виде отдельного документа [3]. Эффективность затрат, согласно данному документу, определяется на основе сопоставления притоков и оттоков денежных средств, связанных с реализацией принимаемого решения по обеспечению пожарной безопасности здания. В методике представлены примеры по оценке экономической эффективности для различных объектов [3]. При оценке материальных годовых потерь от пожара учитываются математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных соответственно первичными средствами пожаротушения; установками автоматического пожаротушения; привозными средствами пожаротушения; при отказе средств пожаротушения [3]. В методике рассмотрены примеры технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий для конкретных объектов: административно-бытовой корпус, производственное здание автокомбината, складское здание и т.д.

По каждому объекту дана краткая характеристика, выполнено натурное обследование объекта, проведена оценка функциональной и конструктивной пожарной опасности, рассчитаны годовые потери от пожаров.

Исследования по данной теме ведутся многими авторами. Например, в работе [4] описана экономическая эффективность ресурсного обеспечения в области пожарной безопасности. Описаны разделы:

1 Понятие и сущность экономической эффективности капитальных вложений в противопожарную защиту.

2 Метод сравнительного анализа эффективности вариантов противопожарной защиты.

3 Требования к базе (эталону) для сопоставления вариантов противопожарной защиты.

4 Порядок и основные этапы экономической оценки инженерно-технических решений в области обеспечения пожарной безопасности.

Авторы работы [5] рассмотрели методы оценки эффективности технических средств и систем обнаружения пожара, выполнили оценку влияния характеристик пожарной сигнализации на эффективность системы безопасности промышленного предприятия. Также в работе [5] представлена оценка эффективности новых разработок технических средств пожарной сигнализации.

В работе [6] описан метод декомпозиции методологии исследования эффективности систем пожарной безопасности для обеспечения пожаротушения различного типа объектов. Представлена структура модели оценки эффективности, в которую также включена и методика оценки эффективности системы пожарной безопасности.

Также существует большое количество программных комплексов по оценке пожарного риска, но ни в одном из программных комплексов нет модулей по оценке экономической эффективности по оснащению здания системами противопожарной защиты.

К наиболее распространенным программным комплексам относятся:

- **«Фогард»** (разработчик – ООО «Институт технического регулирования и независимой экспертизы» (Интернэкс).

Комплекс состоит из модулей: для определения расчетного времени эвакуации на основе упрощенной аналитической модели, для получения необходимого времени эвакуации с использованием интегральной и зонной моделей, для определения расчетных величин пожарного риска [7].

- **«Ситис»** (разработчик – ООО «Строительные информационные технологии и системы»). Комплекс состоит из модулей: для расчета времени эвакуации (с использованием упрощенной аналитической и имитационно-стохастической моделей движения людей); для расчета времени эвакуации людей с учетом индивидуальных особенностей отдельного человека в потоке на основе российских стандартов; для расчета величины пожарного риска [8].

- **«Fenix»** (разработчик – ЗАО «Современные программные технологии»). Для расчетов времени эвакуации из здания применяется индивидуально-поточная модель движения людей, для расчета времени достижения критических значений ОФП – полевой метод моделирования пожара [9]. В данной программе представлен расчет риска, моделирование эвакуации и пожара.

- **«Русь» «Пожарная безопасность»** (разработчик – ООО Научно-производственное предприятие «Авиаинструмент»). Программный комплекс состоит из большого количества пакетов прикладных программ: «Расчет времени эвакуации», «Расчетные величины пожарного риска на производственных объектах», «Расчет социально-экономического ущерба» и т.д. [10]. Программные модули созданы на основе ГОСТов, различных утвержденных методик.

Таким образом, возникает задача разработки программного приложения для оценки экономической эффективности оснащения здания системами противопожарной защиты. Задача программного приложения будет состоять в оценке стоимости работ по установке систем противопожарной защиты в исследуемом объекте (проектируемом, реконструируемом, строящемся и т.д.), в сравнении результатов и выводе оптимального варианта: соотношение пожарного риска и затрат по оснащению здания системами противопожарной защиты.

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
2. МДС 21-1.98 «Предотвращение распространения пожара» (пособие к СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»).
3. МДС 21-3.2001 «Методика и примеры технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий» к СНиП 2101-97*.
4. Экономические аспекты обеспечения пожарной безопасности. – Режим доступа: http://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Kolledg/20.02.04/Metod_doc/116/M свободный (02.04.2018).
5. Оценка эффективности новых методов и технических средств обнаружения пожара. – Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2008-3/01-03-08.ttb.pdf, свободный (02.04.2018).
6. Метод декомпозиции методологии исследования эффективности систем пожарной безопасности. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/v/metod-dekompozitsii-metodologii-issledovaniya-effektivnosti-sistem-pozharnoy-bezopasnosti, свободный (02.04.2018).
7. Фогард – Пожарные программы On-line. – Режим доступа: http://fogard.ru/, свободный (12.12.2017).
8. СИТИС. Пожарная безопасность. – Режим доступа: http://www.sitis.ru/, свободный (03.04.2018).
9. Fenix+ Программа для расчета пожарного риска в зданиях и сооружениях. – Режим доступа: http://mst.su/fenix/, свободный (03.04.2018).
10. 10. Программный комплекс «РУСЬ» «Пожарная безопасность». – Режим доступа: http://www.aieco.ru/programms_main_pozhar.html#z2801, свободный (03.04.2018).

REVIEW OF EXISTING METHODS FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF FIRE SAFETY SYSTEMS

D.M. Varlamova
Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *dina@rintd.ru*

The article provides an overview of existing methods for assessing the economic efficiency of fire safety systems. Software packages are considered, which consist of sections on the evaluation of economic efficiency. The necessity of development of a software complex for estimating the cost of works on the installation of fire protection systems, which will minimize the costs of equipping with fire protection systems, is grounded.

Keywords: estimation of economic efficiency, fire protection systems, fire risk, cost optimization.

УДК 614.844

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПРИМЕНЕНИЯ СПРИНКЛЕРНЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

И.М. Янников, В.С. Куклин, В.И. Молчанов
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
e-mail: *kuklinda95@mail.ru*

А.Е. Любаков
Учебно-методический центр по делам ГО и ЧС, г. Томск, Россия

Обеспечение пожарной безопасности в зданиях производственного назначения является важным направлением. Пожары на таких сооружениях могут привести к серьезным авариям. Основной активной защитой от пожаров являются автоматические установки пожаротушения. Их применение помогает прекратить горение на ранних стадиях. Оценку их эффективности следует рассмотреть подробнее.

Ключевые слова: автоматические установки пожаротушения, эффективность тушения, интенсивность горения, пожар, коэффициент тепловой инерционности.

При возведении и эксплуатации зданий и сооружений производственного назначения одной из наиболее актуальных задач является обеспечение их пожарной безопасности. Чаще всего наиболее надежным, эффективным и, в конечном счете, наиболее экономичным способом защиты от пожара промышленных зданий, производственных объектов, лабораторий, а также складских помещений, на которых хранятся взрывоопасные и легковозгораемые вещества, является применение автоматических установок пожаротушения (АУП), которые позволяют эффективно защитить людей, дорогостоящее оборудование и другие материальные ценности от гибели. Важнейшим достоинством автоматических установок пожаротушения является то, что возгорание тушится на ранней стадии его возникновения. Данные установки в автоматическом режиме осуществляют круглосуточный контроль в обслуживаемом помещении и срабатывают в случае возникновения нештатной ситуации в соответствие с заданным алгоритмом. Тушение может

осуществляться различными агентами: огнетушащими жидкостями, порошками, газами, аэрозолями.

Основными нормативными документами при разработке автоматических систем пожаротушения, их проектировании, монтаже, наладке, сервисном обслуживании являются: требования Технического регламента, Приказ МЧС России, утвердивший свод правил СП 5.13130.2009, Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390, национальные стандарты (ГОСТы) [1–4].

Согласно требований вышеуказанных регламента и свода правил [1, 2], а также рекомендаций ВНИИПО [5], выбор типа АУП, способа тушения и огнетушащего вещества для каждого конкретного объекта определяется лицензированной организацией-проектировщиком с учетом пожарной опасности и физико-химических свойств производимых, хранимых и применяемых веществ и материалов, а также особенностей защищаемого оборудования и строительных конструкций.

Автоматические установки пожаротушения следует проектировать с учетом общероссийских, региональных и ведомственных нормативных документов, действующих в этой области, а также строительных особенностей защищаемых зданий, помещений и сооружений, возможности и условий применения огнетушащих веществ исходя из характера технологического процесса производства. Проектирование системы пожаротушения является сложным многоуровневым процессом, поэтому от правильности расчетов и выводов, зависит большая часть пожарной безопасности сооружения.

Установки предназначены для тушения пожаров классов А и В по ГОСТ 27331 [6], но допускается проектирование АУП для тушения пожаров класса С, если при этом исключается образование взрывоопасной атмосферы.

Автоматические установки (за исключением автономных) должны выполнять одновременно и функцию пожарной сигнализации. Для обнаружения пожара в России применяются механические устройства – термоэлементы, электрические устройства – тепловые, газовые, оптико-электронные извещатели. Коэффициент полезности зависит от основных характеристик помещения (высота, заполненность и т.д.) [7].

Для определения эффективности при проектировании и монтаже АУП должны учитываться следующие параметры [2]:

- коэффициент тепловой инерционности спринклерных оросителей;

- площадь орошения одного оросителя;

- номинальная температура срабатывания теплового замка оросителя и др.

При устройстве установок пожаротушения в зданиях и сооружениях с наличием в них отдельных помещений, где в соответствии с нормативными документами [1–3] требуется только пожарная сигнализация, вместо нее с учетом технико-экономического обоснования допускается предусматривать защиту этих помещений установками пожаротушения, принимая во внимание приложение А [2]. В этом случае интенсивность подачи огнетушащего вещества следует принимать нормативной, а расход не должен быть диктующим. При срабатывании установки пожаротушения должна быть предусмотрена подача сигнала на управление (отключение) технологическим оборудованием в защищаемом помещении.

На основании вышеизложенного можно констатировать, что несоблюдение требований регламентирующих документов [1–4], может привести к неэффективности работы автоматической установки пожаротушения, а, следовательно, к развитию пожара, который приведет к серьезным последствиям.

Значительное количество спринклерных АУП используются для защиты производственных и складских помещений. Согласно статданным ВНИИПО [8] по эффективности функционирования АУП за 2013-2017 гг., 50 % из них выполняют свое предназначение в случае возникновения пожара. Во многом это связано с тем, что на протяжении долгих лет оценка эффективности систем пожарной автоматики проводилась формально и не давала оснований для объективного анализа. Согласно указанной статистике оценка эффективности применения АУП является актуальной задачей. Несмотря на это, многие предприятия зачастую пренебрегают требованиями к АУП, устанавливают данные установки с грубыми нарушениями требований [9–11], а также не проводят оценку эффективности данных систем.

В соответствии с приложением Г свода правил 5.13130.2009 [2], для автоматических установок пожаротушения необходимо рассчитывать эффективность их применения на конкретном объекте. Приведённая в этом же своде правил расчетная методика

оценки эффективности спринклерных АУП которая в качестве критериев эффективности данных установок предусматривает:

- площадь очага возгорания, не превышающего площадь орошения установкой пожаротушения;

- время активации оросителя меньше времени, соответствующего развития пожара на площади очага;

- реальную высоту помещения меньше критической для данной АУП.

Выполнение данных условий обеспечит полную (100 %-ю) эффективность спринклерных АУП. Однако, оценка с применением данной методики весьма трудоемка, если расчеты производить вручную. Представляется целесообразным разработать такой оперативный способ, который бы позволял в автоматическом режиме по основным ключевым параметрам оценивать эффективность спринклерных АУП для защиты различных помещений.

Список литературы

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

2. Свод правил СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. М.: МЧС России, 2009, 103с. (Утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 г. №175).

3. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме».

4. Распоряжение Правительства РФ от 10.03.2009 г. № 304-р «Об утверждении перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и осуществления оценки соответствия».

5. Средства пожарной автоматики. область применения. Выбор типа: рекомендации. ВНИИПО, 2004. – 96 с.

6. ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров.

7. Альянс «Комплексная безопасность» Устанавливаем надежную автоматическую систему пожаротушения. URL:www.kp.ru/guide/avtomaticheskaja -sistema-pozharotushenija.html.
8. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), федеральное государственное учреждение «Всероссийский ордена Знак почета научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России) пожары и пожарная безопасность в 2012-2017 г. Статистический сборник.
9. С.Н.Копылов, Л.М. Мешман., А.Ю.Снегирев, Л.Т. Танклевский, А.А.Таранцев, А.С.Цой. Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения // Пожарная безопасность №1, 2015, с. 72-79.
10. Таранцев А.А., Снегирев А.Ю., Мешман Л.Н., Копылов С.Н., Цой А.С. Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения. Пожарная безопасность. – 2015. – №10. – С.72-79.
11. Янников, И.М. Проблемы реализации и внедрения систем мониторинга потенциально опасных объектов / И.М. Янников, В.С. Куклин, Д.А. Першакова // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции / Часть 1. Вологда : Изд-во ООО «Маркер», 2017. – С. 64 – 67.

ON SOME ASPECTS OF THE APPLICATION OF SPRINKLER FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS IN PRODUCTION

I.M. Yannikov, V.S. Kuklin, V.I. Molchanov
Kalashnikov State Technical University, 426069, Udmurt Republic, city of Izhevsk, ul. Studencheskaya, d. 7
e-mail: *kuklinda95@mail.ru*

A.E. Lubakov
Educational and methodical center for civil DEFENSE and emergency, 634050,Tomsk, Maxim Gorky str. 33

Providing fire safety in buildings for industrial purposes is an important area. Fires in such structures can lead to serious accidents. The main active fire protection is automatic fire extinguishing systems. Their use helps to stop burning in the early stages. The evaluation of their effectiveness should be considered in more detail.

Keywords: automatic fire extinguishing systems, fire extinguishing efficiency, burning intensity, fire, thermal inertia coefficient.

УДК 004.9

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.С. Соловьева, М.В. Телегина
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
e-mail: *solovieva.alena95@gmail.com, mari_tel@mail.ru*

В статье исследуется поддержка принятия решения по обеспечению безопасности в химически опасных условиях. В работе говорится об основных целях СППР, используемых методах сбора и представления информации. Представлены основные недостатки существующих систем экологического мониторинга. Разработаны положения, необходимые для разработки СППР ХОО.

Ключевые слова: СППР, ХОО, экологический мониторинг, обеспечение безопасности ХОО, визуализация информации, анализ аварийных ситуаций.

Прогресс в развитии человека становится все более зависимым от окружающей природной среды и может быть ограничен ее будущим ухудшением. Экологическая наука - это междисциплинарная область, связанная с воздействием человека на окружающую среду, и требует рассмотрения, как человеческой деятельности, так и экологических процессов. Проблема глобальных изменений в природе сложна и может быть представлена различными взаимодействиями, которые работают на разных пространственно-временных масштабах. Информационные технологии сыграли центральную роль в планировании, прогнозировании, наблюдении и контроле процессов окружающей среды в разные периоды времени. Появилась новая дисциплина, известная как Экологическая информатика, которая объединяет области исследований, такие как Искусственный интеллект, системы поддержки принятия решений (СППР), Географические информационные системы (ГИС), моделирование и симуляция, пользовательские интерфейсы и т.д. [1]. Важная и трудная задача этой области должна служить катализатором для интеграции данных, информации и знаний из различных источников в экологический сектор.

Существующие системы экологического мониторинга отличаются методами сбора и представления информации, но имеют одну

Рисунок 1 — Итерационный процесс информационной технологии поддержки принятия решений

общую цель это поддержка принятия управленческих решений по данных о состоянии окружающей среды. Цель СППР - сделать данные пригодными и удобными для аналитического использования разными группами пользователей, сохранив при этом их исходную информативность. Поэтому в СППР используют не только исходные данные, но и предварительно обработанные (и данные и модели). Также используются статистические, оптимизационные и другие алгоритмы (корреляции, классификации и т.д.), которые позволяют находить закономерности и зависимости в данных, а также синтезировать их, и традиционные и интеллектуальные методы анализа данных.

Взаимодействие человека и компьютера, когда выработка решения происходит в результате итерационного процесса, является главной особенностью поддержки принятия решений управления экологической безопасностью территорий (рисунок 1).

Основная задача СППР на основе анализа информации об окружающей среде состоит в получении максимальной наглядности представления существующей информации, обеспечении возможности проведения анализа полученных данных и выявление взаимосвязи между большим количеством показателей. Визуализация информации, накопленной в базе данных, делает доступной большому количеству специалистов, упрощая процессы сравнения, выявления тенденций и отклонений.

В настоящее время для решения задачи управления экологической безопасностью территорий активно используются методы и средства формирования и применения баз данных и знаний, языки

высокого уровня, непроцедурные языки манипулирования данными, видеотерминальная техника, специализированные процессоры, а также качественно новые формы информационной поддержки и оперативного принятия управленческих решений [1, 2]. Аналитическая деятельность с максимально возможным использованием оператором программных средств и машинных процедур является базовым, фундаментальным компонентом современного информационного обеспечения систем экологического мониторинга и СППР [3, 4].

Действующие системы экологического мониторинга химически опасных объектов, выполняемого как научными учреждениями, так и федеральными контролирующими органами, малоэффективны не только по причине низкой технической оснащенности, но и по причинам игнорирования современных методов управления данными и комплексной математической обработки результатов многомерных наблюдений [5].

На основании проведенного анализа можно утверждать, что для поддержки принятия решений по обеспечению безопасности людей, проживающих в зоне влияния ХОО, необходима разработка комплекса обработки информации для поддержки принятия управленческих решений:

1 Комплексная оценка экологической безопасности ХОО на сегодняшний день не отражает оперативное изменение показателей, и в значительной степени зависит от уровня существующего программного обеспечения сбора, обработки, хранения и использования информации.

2 Для поддержки принятия решений особенно важно получение достоверной визуализации информации экологического мониторинга ХОО. Существующие методы визуализации не позволяют увидеть динамику изменения данных по компонентам и средам во времени и в пространстве, выявить отклонения от нормативных показателей экологической обстановки, и определить направление изменения экологических показателей (прогноз), оценить эффективность проводимых природоохранных мероприятий и создать предпосылки для определения мер по исправлению создающихся негативных ситуаций.

3 Анализ возможных аварийных ситуаций на каждом конкретном ХОО должен являться основой разработки СППР,

включающих как визуальную оценку по данным моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и других компонентах окружающей среды, так и методы интеллектуального анализа для выбора рекомендуемых к принятию мер.

4 Для разработки СППР ХОО необходимо:

- обеспечить оперативность выдачи рекомендуемых решений СППР в условиях нехватки времени и неопределенности информации;
- обеспечить обоснованность принятия решений с учетом риска поражения людей, рассчитанного за все время действия возможной аварийной ситуации и других исходных параметров;
- разработать технологии ППР с использованием данных экологического мониторинга зоны влияния ХОО, автоматический анализ ситуаций по данным экологического мониторинга с определением тенденций и прогноза ситуации, учетом взаимосвязи данных.

Решение перечисленных проблем позволит обеспечить полноту и качество обработки информации о параметрах безопасного функционирования объекта.

Список литературы

1. Качанов С.А. Информационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях: Автоматизированная информационно-управляющая система Единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: вчера, сегодня, завтра. Монография [Текст] / А.С. Качанов, С.Н. Нехороев, А.П. Попов, МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) – Москва: Деловой экспресс, 2011. – 400 с.
2. Попов, А.П. Основные положения построения системы поддержки принятия решений ситуационного центра [Текст] /Попов А.П., Нехорошев С.Н. и др. //Технологии Гражданской Безопасности, 2007. -№ 3.Попов, А.П. Основные положения построения системы поддержки принятия решений ситуационного центра [Текст] /Попов А.П., Нехорошев С.Н. и др. //Технологии Гражданской Безопасности, 2007. -№ 3.

3. Олейников, Д.П. Определение тенденций развития методов принятия решений [Текст] /Олейников Д.П., Бутенко Л.Н., Олейников С.П.// Фундаментальные исследования, 2013. – № 1 (часть 3). – С. 727-730.
4. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. [Текст] //М: СИНТЕГ, 1998. -376с.
5. Технологии обработки данных мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс]. – URL: www.gisinfo.ru

SUPPORT DECISION-MAKING ON THE SAFETY OF CHEMICALLY HAZARDOUS FACILITIES

A.U. Solov'yeva, M.V. Telegina
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 426069, Russian Federation, Izhevsk, Studencheskaya St., 7
e-mail: *solovieva.alena95@gmail.com, mari_tel@mail.ru*

In article support of decision-making on safety in chemically dangerous conditions is investigated. In work it is told about main objectives of DSS, the used methods of collecting and submission of information. The main shortcomings of the existing systems of environmental monitoring are presented. The provisions necessary for development of DSS of chemically dangerous object are drafted.

Keywords: DSS, chemical hazard, environmental monitoring, safety of a chemically dangerous object, visualization of information, analysis of emergencies.

УДК 504.062.2

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКАХ ЕГО ХРАНЕНИЯ В ДОНБАССЕ

Ф.В. Недопекин, Н.С. Шеставин, А.В. Несова
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com , n.shestavin@mail.ru , arina.nesova@gmail.com*

Территория Донбасса обладает самым значительным потенциалом в Европе для геологического хранения диоксида углерода (CO_2) с целью смягчения последствий изменения климата. На перспективных участках хранения сверхкритического CO_2 проанализированы возможные сценарии утечек CO_2 и определены методами дистанционного зондирования Земли значения нормализованных вегетационных индексов, которые характеризуют степень поглощения CO_2 растительностью этих участков.

Ключевые слова: хранение CO_2, утечка CO_2, поглощение CO_2, дистанционное зондирование Земли, нормализованный вегетационный индекс.

Территория Донбасса обладает самым значительным потенциалом [1] в Европе (рисунок 1) для геологического хранения диоксида углерода (CO_2) с целью смягчения последствий изменения климата. Этот потенциал накопления CO_2 оценивается величиной от 45.7 до 428.3 млрд. тонн, что обуславливает интерес к возможности его использования для потребностей всей Европы, а дословный перевод названия этого рисунка – «Желательные свалки для нежелательного газа» намекает на большие риски геологического хранения CO_2 на территории Донбасса.

Ранее были определены 8 перспективных участков хранения CO_2 на территории восточных областей Украины [2] с учетом геологического строения Донбасса, демографической и техногенной ситуаций на этих территориях, а также проанализировано возможное влияние утечек CO_2 на поверхностные и подземные воды, растительность и почвы. В процессе закачки и хранения CO2 могут, в основном, реализовываться три сценария утечек CO_2 из мест геологического хранения [3]:

- утечка из-за недостаточной герметичности породы-покрышки;

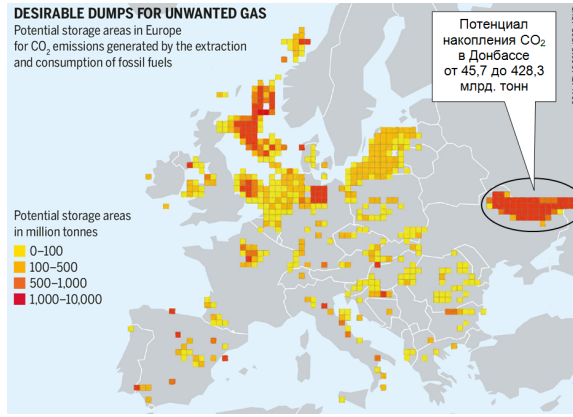


Рисунок 1 — Потенциальные области накопления диоксида углерода в Европе [1]

- утечка через существующие разломы и трещины в горных пластах;
- утечка по заброшенным и действующим скважинам, стволам и штрекам.

При утечке CO_2 из геологических хранилищ часть газа будет уходить в атмосферу и создавать проблемы для населения расположенных на этих участках населенных пунктов, а некоторая часть будет поглощаться растительностью, которая произрастает на этой территории. При этом разные виды растений обладают различными реакциями на поглощение CO_2 и могут усвоить конкретные объемы CO_2 в зависимости от плотности биомассы на данной площади.

Количество биомассы может быть определено методами дистанционного зондирования Земли по значениям нормализованных разностных вегетационных индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [4], которые характеризуют степень поглощения CO_2 растительностью [5] на этих участках (рисунки **??**). Участок № 1 (рисунок 2а) имеет среднее значение индекса NDVI = 0.20; № 2 (рисунок 2б) – 0.25; № 3 (рисунок 2в) – 0.15; № 4 (рисунок 2г) – 0.05; № 5 (рисунок 3а) – 0.25; № 6 (рисунок 3б) – 0.03; № 7 (рисунок 3в) – 0.30; № 8 (рисунок 3г) – 0.04. Чем больше значение NDVI, тем выше поглощающая способность данной территории участка, то есть

участок № 7 наиболее предпочтительная территория с точки зрения уменьшения последствий утечек CO_2 из геологических хранилищ на территории Донбасса.

Показанное на рисунках 2, 3 распределение значений NDVI индексов на перспективных участках геологического хранения CO_2 получено путем цифровой обработки снимков с космического аппарата Landsat 7 красного и инфракрасного спектральных каналов со следующими значениями сенсоров (NIR: 0.75-0.90 мкм) и (RED: 0.63-0.69 мкм).

Спутниковые снимки были получены с помощью сервиса Landsat Look Viewer, который представляет собой открытую базу архивных данных дистанционного зондирования Земли (спутниковых снимков). В частности, снимки Донецкой области были сделаны 25 апреля 2015 г., Луганской – 20 августа 2016 г., Харьковской – 26 августа 2015 г., Днепропетровской – 24 сентября 2014 года. Вычисления были проведены в среде Matlab по алгоритму, представленному на рисунке 4, где используются маски контуров потенциальных участков геологического хранения CO_2 полученные в сервисе Google Earth Pro.

Разработанная методика определения значений NDVI может быть использована для вычисления аналогичных индексов, которые характеризуют урожайность сельхозпродукции, осадки, засухи и наводнения, а также другие опасные природные и техногенные чрезвычайные ситуации [6]. Для Донбасса в настоящее время особенно остро стоят проблемы ухудшения экологического состояния окружающей природной среды возникающие вследствие закрытия шахт: подтопление населенных пунктов и сельхозугодий, выбросы тлеющих и горящих породных отвалов, сдвижение земной поверхности под и около терриконов, выветривание и эрозия породных отвалов, и множество других рисков для населения и природы [7]. Все эти процессы могут быть проанализированы и спрогнозировано их развитие путем применения методов дистанционного зондирования Земли в рамках создаваемой Региональной системы спутникового мониторинга чрезвычайных ситуаций и экологического состояния окружающей среды.

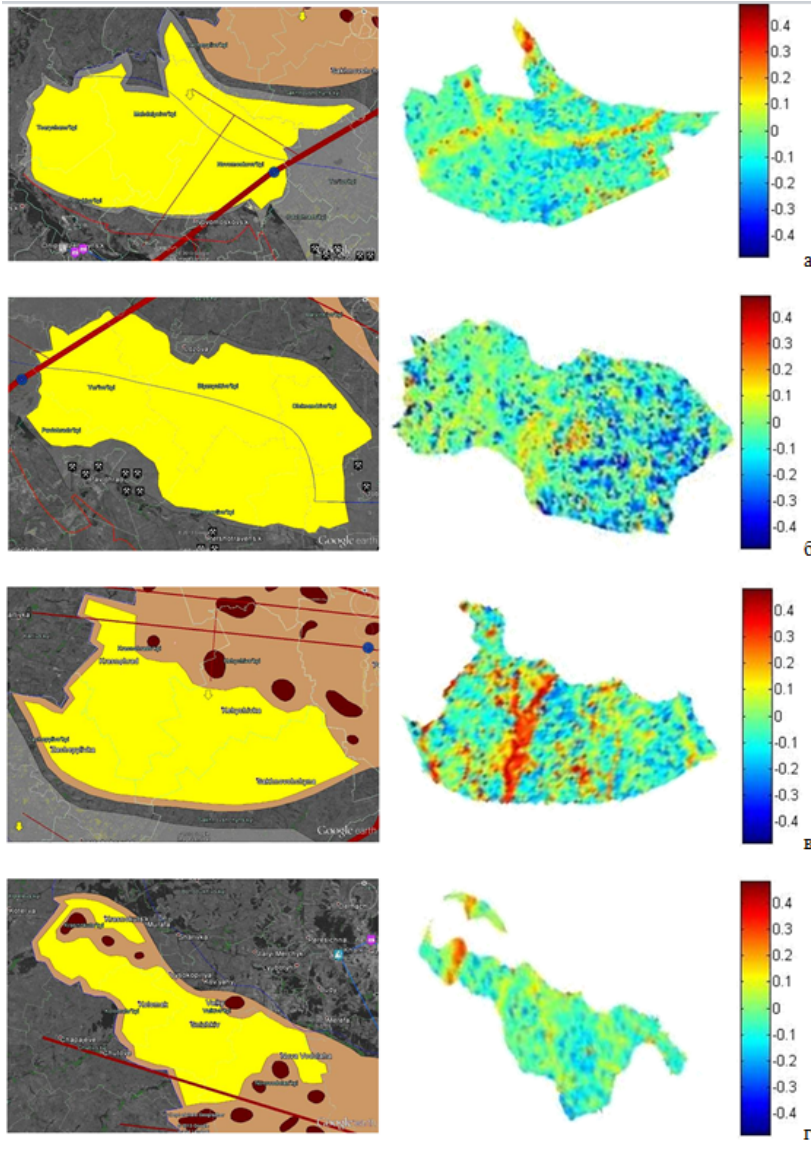


Рисунок 2 — Локализация перспективных участков хранения CO_2 в Донбассе и распределение значений NDVI на участках № 1-4

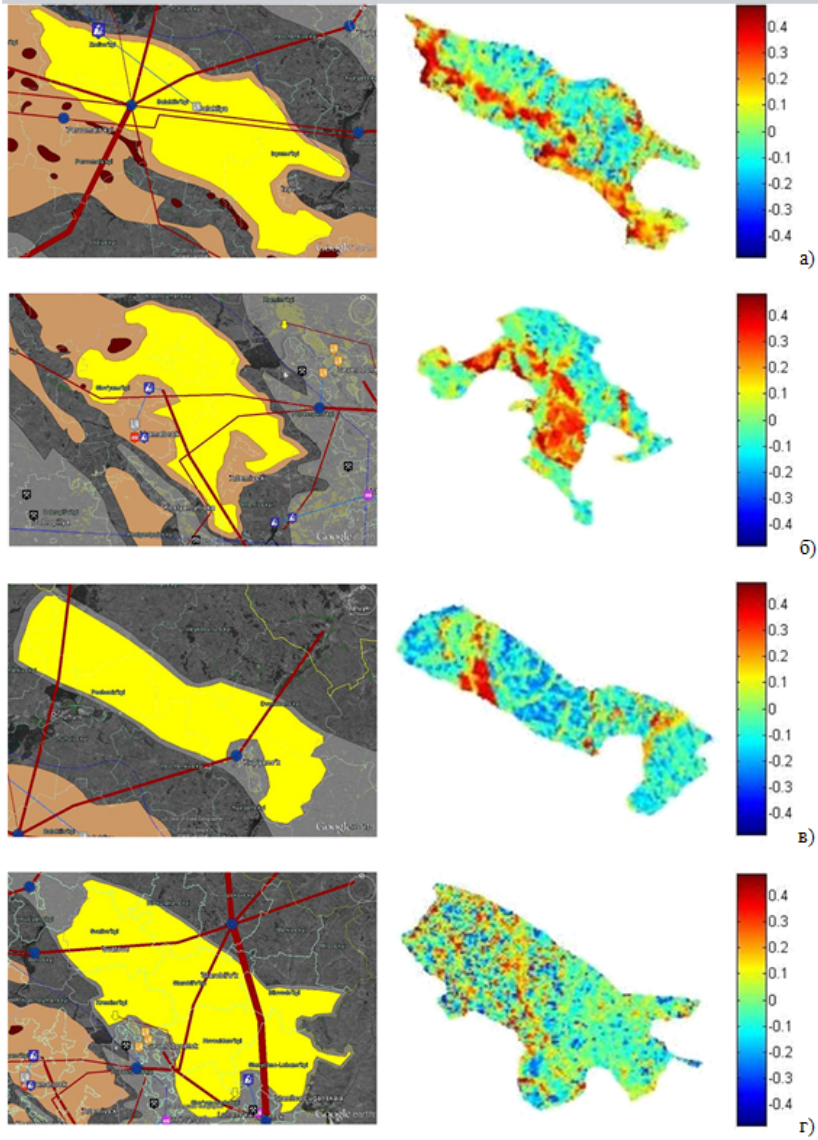


Рисунок 3 — Локализация перспективных участков хранения CO_2 в Донбассе и распределение значений NDVI на участках № 5-8

Рисунок 4 — Алгоритм вычисления усредненных значений NDVI в пределах масок 8-ми перспективных участков геологического хранения CO_2

Список литературы

1. COAL ATLAS: Facts and figures on a fossil fuel – 2015, Heinrich Boll Foundation, Berlin, Germany, and Friends of the Earth International, London, UK. – Second English edition, March 2017. – 56 p.

2. Недопекин В.Ф., Шеставин Н.С. Анализ рисков адаптации на Донбассе технологий улавливания и хранения диоксида углерода // Безопасность в техносфере: сборник статей / науч. ред. В.М. Колодкин. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – С. 105-111.

3. What does CO2 geological storage really mean? – CO2GeoNet European Network of Excellence, 2008. – 20 p.
4. Колесенков А.Н., Несова А.В. Оценка состояния объектов лесного хозяйства на основе реализации НВИ-подхода средствами математического моделирования // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28: Сборник трудов XXVIII Международной научной конференции. – Рязань: Рязанск. гос. радиотехн. ун-т, 2015. – Том 9. – С. 138-141.
5. Сафонов А.И., Колесников С.В. Оценка современного состояния и динамики степных растительных сообществ РЛП «Зуевский» с помощью технологий дистанционного зондирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – С. 106-110.
6. Куссуль Н.М., Скакун С.В., Шелестов А.Ю. Анализ рисков чрезвычайных ситуаций на основе спутниковых данных. Модели и технологии. – Киев: Наук. думка, 2014. – 184 с.
7. Филипп Пек / Оценка рисков в Донецком бассейне. Закрытие шахт и породные отвалы. – ЮНЕП: ГРИД Арендал, 2009. – 171 с.

ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF ABSORPTION OF CARBON DIOXIDE AT THE PROSPECTIVE SITES OF ITS STORAGE IN DONBASS

F.V. Nedopekin, N.S. Shestavin, A.V. Nesova
Donetsk National University, Donetsk, Ukraine
e-mail: *anastasiia.luchyna@gmail.com*

The territory of Donbass has the most significant potential in Europe for the geological storage of carbon dioxide (CO_2) in order to mitigate the effects of climate change. In the prospective storage areas of supercritical CO_2, possible scenarios of CO_2 leaks are analyzed and the values of normalized vegetation indices, which characterize the degree of CO_2 absorption by the vegetation of these areas, are determined by methods of remote sensing of the Earth.

Keywords: storage of CO_2; leakage of CO_2; absorption of CO_2; remote sensing of the Earth; normalized vegetation index.

УДК 528.946

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕАБИЛИТИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

И.М. Янников, М.В. Шабардин, М.В. Телегина
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
e-mail: *imyannikov@mail.ru, Shabardin23@yandex.ru, mari_tel@mail.ru*

В статье приведены методы оценки экологической ситуации на территориях бывших объектов по уничтожению и хранению химического оружия. Описаны существующие картографические методы создания экологических карт, последовательность этапов разработки. Данная статья показывает актуальность применения картографического метода в экологическом мониторинге.

Ключевые слова: экологическое картографирование, экологический мониторинг, химическое оружие

Российская федерация в 1993 году подписала, а в 1997 году ратифицировала Конвенцию о запрещении химического оружия, таким образом взяв на себя обязательство уничтожить существующие запасы химического оружия и промышленную базу по его производству. На тот момент эти запасы в России составляли 4 млн 351 тыс. 747 боеприпасов разных видов (ствольной и реактивной артиллерии, боевых частей ракет, авиационных боеприпасов). Все эти боеприпасы были выпущены предприятиями ВПК в период с 1953 по 1987 годы. Установленные сроки хранения на все виды боеприпасов истекли. Для выполнения данных обязательств постановлением Правительства РФ от 21.03.1996 № 305 была утверждена федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации». Для полного уничтожения запасов химоружия в стране были введены в эксплуатацию 7 объектов по его уничтожению [1].

23 сентября 2017 г. на территории объекта в поселке Кизнер Удмуртской Республики уничтожен последний химический боеприпас, что почти на 2 года раньше намеченного срока. Хранившиеся на бывших объектах по хранению и уничтожению химического оружия (ОУХХО) боевые токсические химические вещества (БТ-ХВ) априори, в той или иной степени, повлияли на состояние

окружающей среды. Поэтому, несмотря на беспрецедентные меры безопасности, применявшиеся на объектах в процессе уничтожения химического оружия, зоны их влияния (зоны защитных мероприятий, санитарно-защитные зоны, и, особенно, территории самих объектов), безусловно нуждаются в санации и реабилитации. То есть до полного восстановления территорий работу по уничтожению химического оружия нельзя считать завершённой. В настоящее время Федеральным управлением по безопасному хранению и уничтожению химического оружия (ФУБХУХО) подготовлен проект государственной программы по реабилитации и санации этих территорий на период до 2025 года, который в настоящее время находится на рассмотрении в Правительстве РФ.

Наблюдение и контроль за экологической ситуацией в ходе уничтожения химического оружия на объектах носили комплексный характер и осуществлялись путём применения трёх взаимоувязанных подсистем: государственного экологического контроля и мониторинга (ГЭКиМ), производственного экологического мониторинга (ПЭМ) и медико-социального мониторинга. Все имеющиеся для решения методы и средства экологического мониторинга позволяют получать достоверную и объективную информацию об экологической обстановке и состоянию окружающей среды [2].

В любом случае мониторинг территории вокруг бывших объектов уничтожения и хранения химического оружия не возможен без подробных экологических карт. С помощью картографического метода на картах наглядно видны количественные и качественные характеристики явлений, возможно их изучение во времени и в пространстве, а также прогнозирование экологической ситуаций территории вокруг бывших объектов уничтожения и хранения химического оружия.

Картографирование экологических ситуаций – процесс сложный, особенно при выявлении острых экологических ситуаций, требующий прежде всего обобщения большого количества картографических материалов.

Последовательность этапов разработки карт экологических ситуаций включает 5 этапов:

1 Определение субъекта оценки и картографирование, масштаб исследования.

2 Формулировка цели.

3 Определение территориального каркаса, территориальных единиц (индивидуальное районирование – проблемные ареалы), «жесткий» территориальный каркас (ландшафтные выделы, контуры использования земель и т.д.).

4 Оценка, разработка оценочных шкал, проведение оценивания.

5 Разработка картографической модели, знаковых систем, проектирование легенды, пояснительных текстов [4].

Работы по созданию карт ведутся с помощью геоинформационной системы. При составлений карт используются данные результата государственного экологического мониторинга, содержащие результаты атмосферного воздуха, почвы, воды и т.д., а также координаты забора проб. Атрибутивные данные мониторинга с помощью геокодирования наносятся на карту. На карте отражаются населенные пункты, дорожная сеть, гидрография и зоны с показателями ПДК при помощи использования сложных сочетаний фоновых заливок и штриховок, производится топологическое наложение. Экологические проблемы на карте разделяют на шесть категорий по остроте экологических ситуаций: условно удовлетворительная, конфликтная, напряженная, критическая, кризисная, катастрофическая.

С учетом наличия исходной информации существуют два метода составления карт экологических ситуаций [3]. Метод географических экспертных оценок позволяет решить две задачи: выявить экологические проблемы и определить их пространственную локализацию. Особенность заключается в том, что анализ должен проводить эксперт знающий территорию и владеющий навыком обобщения информации. При выборе масштаба исследования хорошие результаты дают карты обзорных и средних масштабов, но с привлечением количественных данных.

Для составления карт методом формализованных оценок привлекаются показатели, имеющие количественное выражение, и ставится задача исключения экспертных оценок уже на начальном этапе выявления экологических проблем. И только на последнем этапе определение остроты экологической ситуации – в целом вводятся географические экспертные оценки. Создание карт данным методом применяются значения показателей, при которых происходит экологическая проблема, например загрязнение среды по содержанию химических веществ, превышающих ПДК.

Следовательно, экологические карты являются важной частью экологического мониторинга территории бывших объектов уничтожения химического оружия. Данные карты отображают текущую экологическую обстановку, сформировавшуюся на территории бывших объектов уничтожения и хранения химического оружия, вследствие чего они представляют собой информационную базу для планирования и разработки природоохранных мероприятий. Картографический метод не требует больших денежных затрат.

Таким образом построение экологических карт и покомпонентного распределения загрязняющих веществ на карте местности позволяют:

- увидеть динамику изменения по компонентам и средам во времени и в пространстве;
- выявить отклонения от нормативных показателей экологической обстановки;
- определить направление изменения экологических показателей (прогноз);
- оценить эффективность проводимых природоохранных мероприятий и создать предпосылки для определения мер по исправлению создающихся негативных ситуаций [5].

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 21.03.1996 N 305 (ред. от 19.07.2017) "Об утверждении Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации».
2. Ашихмина Т.Я. Научно-методологические основы комплексного экологического мониторинга окружающей среды в районе объектов хранения и уничтожения химического оружия //Теоретическая и прикладная экология – 2007.№2.- С.23-34.
3. М. В. Телегина, И. М. Янников. Геоинформационные системы и экологическое картографирование: учебное пособие. Изд-во ИжГТУ, 2012 – 156 с.
4. Ф. Б. Шкундина, Р. Р. Турьянова, Е. А. Захарова. Экология фундаментальная и прикладная: Проблемы урбанизации: Материалы Междунард. Науч. – практ. Конф., Екатеринбург,

3-4 февр. 2005 г. – Екатеринбург. Изд-во Урал. 2005. – С.388-390.

5. 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. ISBN 978-5-93424-551-2

COST OPTIMIZATION OF FIRE SAFETY IN THE RECONSTRUCTION OF PUBLIC BUILDINGS

I.M. Yannikov, M.V. Shabardin, M.V. Telegina
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 426069, Russian Federation, Izhevsk, Studencheskaya St., 7
e-mail: *imyannikov@mail.ru, Shabardin23@yandex.ru, mari_tel@mail.ru*

The article provides methods for assessing the ecological situation in the territories of former facilities for the destruction and storage of chemical weapons. The existing cartographic methods for creating ecological maps, the sequence of development stages are described. This article shows the relevance of the application of the cartographic method in environmental monitoring.

Keywords: ecological cartographic method for rehabilitated territories.

УДК 532.529

ДВУХСКОРОСТНАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В АЭРОТЕНКАХ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ЭВАКУАЦИИ

А.Ю. Лучина
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина
e-mail: *anastasiia.luchyna@gmail.com*

Одной из серьезных проблем защиты окружающей среды является очистка промышленных и бытовых сточных вод. Для этого необходима разработка новых, более совершенных методов и технологических схем очистки сточной жидкости, повышение точности и надежности расчетов на основе глубокого теоретического и экспериментального изучения процессов очистки сточных вод. В данной работе исследуется двухфазное вертикальное течение в биореакторе с затопленной системой аэрации. Представлена двухскоростная модель гидродинамических процессов в системе аэротенк – аэрационная колонная. Даны рекомендации к реконструции действующих очистных сооружений.

Ключевые слова: аэротенк, биологическая очистка, сточные воды, математическая модель, пузырьки воздуха, гидродинамические процессы.

Для поддержания аэробных процессов в сооружениях биологической очистки могут использоваться различные аэрационные системы. На сегодняшний день наибольшее распространение получили пневматические и механические системы аэрации [1]. Для аэротенков шахтного типа глубиной свыше 5 м наиболее надежными являются системы затопленного эрлифта на основе диспергаторов, расположенных в глубине бассейна.

Гидродинамические процессы, происходящие в бассейне, в значительной степени определяются его геометрическими параметрами (размерами, формой и объемом), уровнем воды над системой аэрации и расположением системы аэрации в бассейне.

Циркуляция сточной воды в аэротенке позволяет:

1 поддерживать во взвешенном состоянии твердые частицы (микроорганизмы активного ила или микроносители) и таким образом обеспечивать необходимый контакт между ними и субстратом;

2 обеспечивать массообмен путем передачи кислорода воздуха в сточную воду для питания микроорганизмов [2].

Для определений соотношений циркуляционных потоков предлагается математическая модель, позволяющая определить поле скоростей в зависимости от геометрических параметров, глубины расположения циркуляционной колонны в объеме сооружения, наполненной жидкостью, в зависимости от количества вносимого воздуха.

Теоретические и экспериментальные исследования проводились на очистных сооружениях Старобешевской ТЭС в поселке городского типа Новый Свет общей производительностью 6 тыс. м^3/сутки.

При решении задачи предполагалось: процесс стационарный; жидкость изотермическая и несжимаемая; физические характеристики однородны и изотропны; процессы в установке считаются симметричными относительно оси; химические реакции и массообменные процессы не учитываются.

Гидродинамические процессы в системе аэротенк – аэрационная колонна описываются уравнениями Навье-Стокса и неразрывности в цилиндрической системе координат [3].

Для двумерных осесимметричных геометрий уравнения сохранения осевого и радиального импульсов жидкости даются системой уравнений:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} + \mu_{\text{эф}} \cdot \triangle u - \frac{u}{r}; \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{\text{эф}} \cdot \triangle u + f_v; \tag{2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{u}{z} = 0; \tag{3}$$

где u, v – проекции на оси r и z векторов скорости течения жидкости, м/с; p – давление, Па; ρ_0 – плотность жидкости, кг/м^3; $\mu_{\text{эф}} = \mu + \mu_t$ – ламинарная и турбулентная вязкости.

При учете влияния пузырьков воздуха на характер движения газожидкостной смеси система уравнений дополняется следующими уравнениями движения пузырьков газа и относительной скорости:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (u_\Gamma \cdot r \cdot N)}{\partial r} + \frac{\partial (N \cdot v_\Gamma)}{\partial z} = f_N; \tag{4}$$

$$u_{\Gamma} = u + u_{\text{отн}}; \tag{5}$$

$$v_{\Gamma} = v + v_{\text{отн}}; \tag{6}$$

где u_{Γ}, v_{Γ}, $u_{\text{отн}}$, $v_{\text{отн}}$ – проекции на оси r и z векторов скорости переноса газовой фазы в объеме аэротенка и скорости движения газовой фазы относительно жидкости, м/с.

Взаимодействие жидкой и газовой фаз описывается слагаемым f_v, в котором учитывается подъемная сила и гидродинамическое сопротивление:

$$f_v = g \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) + \frac{3}{8} \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \frac{(v_{\Gamma} - v)^2}{R}, \tag{7}$$

где ε – коэффициент гидравлического сопротивления пузыря; $\rho = \rho_0(1 - \alpha)$ – плотность газожидкостной смеси; α – коэффициент газосодержания, который можно найти следующим образом, зная общее число пузырьков в единице объема N:

$$\alpha = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \mathrm{r_n^3} \cdot \mathrm{N}. \tag{8}$$

Процесс образования дисперсной фазы происходит только в определенной области объемом V_N (формула 9).

$$f_N = \frac{Q_{\Gamma}}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \mathrm{r_n^3} \cdot \mathrm{V_N}}, \tag{9}$$

где Q_{Γ} – объемный расход газа: r_n – радиус пузырька; V_N – объем зоны, в которую поступает газ. Для области вне зоны попадания пузырьков $f_N = 0$ [1].

При определении источниковых членов f_N и f_V было допущено, что, попадая в воду, газ дробится на пузырьки одинакового радиуса и это происходит в области объемом V.

Для замыкания уравнений гидродинамики использовалась стандартная k-ε-модель турбулентности, т.е. решаются еще два уравнения для транспорта кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности (число Рейнольдса имеет порядок $Re \approx 10^5$, течение носит турбулентный характер).

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями. На нижней и боковых границах расчетной области

использовалось условие прилипания: $v = 0$. На верхней границе расчетной области выполняется условие скольжения: $v \times n = 0$. Деформацией свободной поверхности можно пренебречь, т.к. ее высота ($\sim$ 0.05 м) бесконечно мала по сравнению с глубиной аэротенка (8 м) [3].

Такая модель позволяет учитывать разность скоростей жидкой и газовой фаз, и предполагает использование стационарной формы, размеров и скорости газовых пузырей, что вполне допустимо в аэротенках с пневматической системой аэрации. Однако трудности заключаются в ограниченности компьютерных ресурсов и вычислительной трудоемкости таких моделей.

Выводы

Эффективность пневматических систем аэрации биореакторов зависит от продолжительности контакта пузырьков воздуха с жидкостью. Построенная модель позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости в аэротенке, а также интенсивность аэрации для обеспечения необходимых скоростей на входе в аэрационно-циркуляционную колонну. Таким образом, полученная математическая модель позволит переносить расчетные данные на промышленные очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

Список литературы

1. Нездойминов В. И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков // Коммунальное хозяйство городов, 2010, , № 93. – С. 353–358.
2. Пронин А.А. Гидродинамика и массопередача кислорода в аэрационных сооружениях: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. ВНИТИБП РАСХН Московский институт коммунального хозяйства и строительства, Москва, 2005.
3. Bezkrovna, M. Recommendation of sewage treatment facilities and improvement of their efficiency / M. Bezkrovna, O. Kazak, A. Luchyna // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph: edited by Shalapko J. and Zołtowski B. Poland, 2013. – P. 122-127.

4. Бакакин, А.В. Математическая модель тепломассообменных процессов в ковше при обработке металла инертным газом Текст. / А.В. Бакакин, В.О. Хорошилов, Г.С. Гальперин, В.Е. Кельманов // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1985. № 9. – С. 51–54.

TWO-SPEED MODEL OF THE MOTION OF A GAS-LIQUID MIXTURE IN AEROTANKS WITH A PNEUMATIC AERATION SYSTEM

A. Yu. Luchyna
Donetsk National University, Donetsk, Ukraine
e-mail: *anastasiia.luchyna@gmail.com*

One of the major problems of environmental protection is the purification of industrial and domestic wastewater. For this, it is necessary to develop new, more sophisticated methods and technological schemes for cleaning the waste fluid, increase the accuracy and reliability of calculations based on a deep theoretical and experimental study of wastewater treatment processes. In this paper, a two-phase vertical flow in a bioreactor with a flooded aeration system is investigated. A two-velocity model of hydrodynamic processes in the system aerotank - aeration column is presented. Recommendations for the reconstruction of existing treatment facilities are given.

Keywords: aerotank, biological treatment, wastewater, mathematical model, air bubbles, hydrodynamic processes.

УДК 614.8.084

ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГНОЗИОВАНИЯ ПАВОДКОВ И НАВОДНЕНИЙ

И.М. Янников, И.Н. Вологжанин, Р.Г. Бадамшина
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
e-mail: *ivanvol13@mail.ru*

В данной статье обращается внимание на ежегодно повторяющиеся наводнения и паводки которые приносят большой ущерб России. Так же рассматриваются программы прогнозирования и моделирования наводнений их преимущества и недостатки. Решаются проблемы с несвоевременным оповещения населения.

Ключевые слова: программное обеспечение, моделирование, интерфейс, автоматизация, модуль.

В России ежегодно происходит 40 – 70 кризисных наводнений. По данным Росгидромета, этим стихийным бедствиям подвержены около 500 тысяч квадратных километров, наводнениям с катастрофическими последствиями – 150 тысяч квадратных километров, где расположены порядка 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн га сельхозугодий. Среднегодовой ущерб в следствие наводнений составляет примерно 40 млрд рублей в год [6].За последние годы учёными-гидрологами много сделано для познания этого явления. Так, например, созданы методы инженерных расчётов максимальных уровней и расходов воды при наводнениях редкой повторяемости. В стране успешно функционирует служба информации и прогнозов наводнений. Выявлены и учтены все города и рабочие посёлки, подвергающиеся наводнениям, для каждого из них установлен уровень воды, с превышением которого начинается затопление.В настоящее время средства информатизации и связи очень сильно распространены в мире, но все равно присутствуют проблемы несвоевременного оповещения о начале половодий и наводнений. Причины заключаются в том, что [7]:

- Разобщены научные учреждения страны, на сегодня не разрабатываются надежные методики оперативных прогнозов наводнений.

- Нет достаточного приборного оснащения измерений различных параметров наводнений на всех этапах его зарождения и развития.

- Нет организационной структуры, способной владеть необходимым приборным и методическим арсеналом, применять его на всем бассейне реки, а не на отдельных его участках.

В настоящее время существует большое количество различных программ по прогнозированию и моделированию зон затопления, последствий гидротехнических аварий, прогноза паводков и половодий, например:

1 MIKE HYDRO RIVER — самый популярный в мире комплекс программного обеспечения для речного моделирования в формате 1D [5].

  Эта проррамма необходима для гидравлического расчета поверхностного стока, систем рек различной степени сложности, сооружений, которые установлены на водном объекте и так далее. Продукт пользуется спросом в речной гидрологической сфере благодаря стабильности, многофункциональности и потрясающей эффективности [5].

  Преимущества подобного модуля [5]:

  - различные сценарии прорывов сооружений;
  - моделирование поверхностного или донного размыва грунтовых плотин и дамб;
  - определение волны излива при разрушении секций гравитационных плотин, затворов водопропускных сооружений и ворот шлюзов;
  - расчет волны прорыва во время крушения конструкций, которые пропускают воду, плотин гравитационного типа и шлюзовых ворот (прорывы на ГТС любого класса);
  - моделирование первичных и вторичных прорывов (каскада водохранилищ).

  Критерии анализа гидродинамической аварийной ситуации на гидротехнических сооружениях [5]:

  - гидрограф излива, трансформация и распространение его вниз по течению;

- уровень глубины в зонах, где произошло затопление;
- скоростная отметка течения в речных руслах и поймах;
- временной период прихода волны прорыва к каждому речному створу;
- длительность процесса затопления.

2 MIKE FLOOD– комбинированный пакет, использующий преимущества одномерных и двумерных технологий – разработан специально для моделирования затопления территорий [5].

Специализированный программный комплекс, разработанный компанией DHI Water & Environment, для детального моделирования зон затоплений при паводках, прорывах плотин и дамб обвалования, штормовых нагонных наводнений [5].

Совмещение результатов модельных расчетов MIKE FLOOD с ГИС технологией позволяет получать карты глубин, площадей и длительности затопления территории, а также карты сравнительного анализа.

Возможности MIKE FLOOD позволяют создавать карты затоплений, отвечающие различным периодам повторяемости паводковых событий.

Инструментарий MIKE FLOOD позволяет [5]:

- Добавлять пойменные участки, прибрежные области морей, озер и водохранилищ, а также другую плановую информацию к существующей модели MIKE HYDRO RIVER (MIKE 11).
- Заменять существующую квазидвумерную модель разветвленной речной сети, созданную в MIKE HYDRO RIVER (MIKE 11), реальной плановой модельной областью.
- Повторно использовать модельные области, созданные на основе систем MIKE HYDRO RIVER (MIKE 11)и MIKE 21, для описания дополнительных мест гидравлического взаимодействия руслового и пойменного потоков.
- Осуществлять процесс подготовки модельных данных и анализ результатов расчетов в единой «бесшовной»

компьютерной среде, при этом сохраняя привычные особенности интерфейсов для пользователей систем MIKE HYDRO RIVER (MIKE 11)и MIKE 21.

Так же существует много видов прогнозирования, которые учитывают массу параметров: запасы снега, скорость таяния, характеристика почвы и т. д.Во всех существующих программах недостатком является то что все эти программы разобщены они не имеют единую централизованную систему прогнозирования и поэтому теряется драгоценное время по заблаговременному оповещению населения о ЧС. Так же все программы проводят расчеты и делают прогнозы только на определенный участок территории, реки и т.д.

В связи с выше перечисленным для решения данных проблем необходимо создать единую информационную систему по прогнозированию наводнений, паводков и половодья, в которой будет присутствовать единая база данных со всех регионов страны, учитывающие все особенности наших регионов: климат, рельеф, характеристики почвы, разновидности рек и т.д. Основополагающей характеристикой данной информационной системы должна быть минимизация вводимой информации конечным пользователем, что в свою очередь обеспечит более быстрое получение результатов прогнозирования. Достичь такой возможности можно за счет того, что в данной системе данные будут собираться и накапливаться по мере ее поступления от пользователей или с технических средств на протяжении всего существования системы и что в конечном итоге позволит подбирать из базы статистических данных недостающий параметры, на основе тех которыми располагает пользователь. Вследствие с данной системой возможно ускорить время обработки данных и произвести быстрый прогноз о возможности возникновения ЧС и в кротчайшие сроки довести всю информацию до населения проживающих в каком-либо регионе страны.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями от 30 декабря 2008 г.).
2. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 3 (Л - П) / Ред. коллегия: П. П. Лобанов (глав. Ред.) [и др.]. Издание

третье, переработанное - М., Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1953, с. 613.

3. Учебник «Общая Гидрология» Под редакцией д-ра геогр. наук, проф. А. Д. Добровольского и д-ра геогр. наук, проф. М. И. Львовича,1991 г.
4. Применение Веб и ГИС-технологий при создании системы мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях «ГИС Амур» [Электронный источник].URL: https://www.dataplus.ru (дата обращения: 7.04.2018 г.).
5. НКФ Волга [Электронный источник].URL: http://www.volgaltd.ru (дата обращения: 7.04.2018 г.).
6. Информационное агентство России Паводки, наводнения и подтопления в России в 2012-2017 гг. Досье [Электронный источник].URL: http://tass.ru/info/4291130 (дата обращения: 7.04.2018г).
7. Проблемы прогнозирования паводков и наводнений [Электронный источник].URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-prognozirovaniya-pavodkov-i-navodneniy

PROBLEMS OF AUTOMATION OF FLOOD AND FLOOD FORECASTING

I.M. Yannikov, I.N. Vologzhanin, R.G. Badamshina
Kalashnikov State Technical University, 426069, Udmurt Republic, city of Izhevsk, ul. Studencheskaya, d. 7
e-mail: *ivanvol13@mail.ru*

This article draws attention to the annual recurring floods and floods that cause great damage to Russia. Flood forecasting and modeling programs are also considered for their advantages and disadvantages. Problems with untimely warning of the population are being solved.

Keywords: software, modeling, interface, automation, module.

УДК 658.382.3(045)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО УЧЕТА НАРУШЕНИЙ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

Д.М. Костин
Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия
e-mail: *2081976@mail.ru*

Рассмотрены пути повышения эффективности функционирования систем управления охраной труда за счёт автоматизации процессов сбора, консолидации, анализа информации о нарушениях требований охраны труда. Представлена концепция авторской автоматизированной системы персонифицированного учета нарушений требований охраны труда. Рассмотрены организационно-управленческие, содержательные и технические аспекты функционирования предложенной автоматизированной системы. Обоснованы преимущества автоматизации учёта нарушений работниками требований охраны труда.

Ключевые слова: система управления охраной труда, автоматизированные системы управления.

Автоматизация процессов обеспечения высокого уровня промышленной безопасности и охраны труда является одним из приоритетных направлений модернизации российской промышленности. Уровень трудовой дисциплины, мотивации безопасного трудового поведения работников отечественных предприятий остаётся достаточно низким, что, в числе других причин, приводит к стабильно высокому уровню производственного травматизма. Как следствие, необходимо более широко внедрять автоматизированные системы отслеживания, фиксирования нарушений требований охраны труда (ОТ), обработки и анализа сведений о них.

Нами предложена концепция автоматизированной системы персонифицированного учета нарушений требований охраны труда (АСПУН), призванная стать инструментом для обеспечения системности работы по профилактике аварийности и травматизма на производстве, одним из способов повышения мотивации работника к выбору безопасной модели производственного поведения. Концептуальными положениями, лежащими в основе работы АСПУН, является:

Во-первых, ведётся учёт любых, даже «незначительных» нарушений требований ОТ.

Во-вторых, учёт является персонифицированным, что даёт возможность объективной оценки трудового поведения конкретного работника.

В-третьих, учёт является перманентным, что позволяет оценить выбор работником безопасной модели поведения и следование ей в динамике.

Наконец, в-четвёртых, учёт и иные операции с данными, является автоматизированным, что означает простоту и высокую скорость консолидации, обработки и анализа сведений.

В основе персонифицированной системы учёта нарушений работника лежит рейтинговый принцип, формой учёта являются начисляемые баллы.

Алгоритм данной процедуры предполагает следующие поэтапные действия:

1 Непосредственные руководители знакомят работников с Положением о персональной ответственности работников за соблюдение требований ОТ и примерным перечнем нарушений правил и норм безопасности и соответствующим им количествами штрафных баллов.

2 При выявлении нарушения, уполномоченное лицо, его обнаружившее, передаёт информацию о нём и персональные данные нарушителя в подразделение предприятия, ведающее вопросами ОТ (ПОТ). Информация о нарушении заносится в личный файл работника в АСПУН, а сообщение о факте нарушения, его характере непосредственному руководителю работника-нарушителя.

3 Непосредственный руководитель нарушителя берёт с него объяснение в письменной форме и передаёт его в ПОТ.

4 Персонифицированная информация о допущенных конкретными работниками нарушениях, подкреплённая документально, накапливается, обобщается и хранится в течение всего периода деятельности работника, определяя его индивидуальный рейтинг опасного производственного поведения (ИРОПП) – величину, показывающую отношение суммы баллов, начисленных работнику за упущения и непогашенных на момент

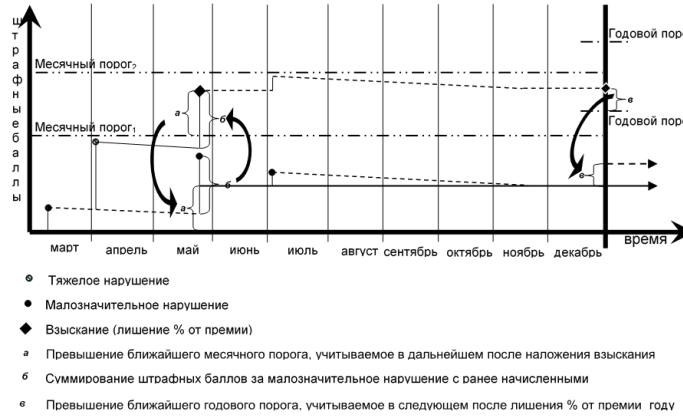


Рисунок 1 — Работа системы на примере хронологии нарушений отдельного работника

запроса, к общему количеству упущений, совершенных за время работы в организации.

Возможна еженедельная рассылка начальникам подразделений (цехов, участков, отделов) информационных бюллетеней с указанием персоналий работников, характера, количества нарушений и сумм штрафных баллов, набранных каждым работником на текущий момент. Информационные бюллетени могут быть размещены на рабочих местах, а также информационных медиа-панелях. В конце месяца вся информация о допущенных нарушениях анализируется ПОТ.

Проиллюстрируем работу предложенной системы на примере такой её функции, как автоматическое формирование и расчёт ИРОПП (рисунок 1).

Например, работник в марте совершает «малозначительное» нарушение, баллы которого не достигают критического порога. С момента занесения его в базу данных происходит равномерное начисление премиальных баллов (в соответствии с заданным коэффициентом), которые погашают баллы, начисленные за нарушение. В начале апреля работник совершает «тяжёлое» нарушение, баллы за которое суммируются с частично погашенными баллами за предыдущее нарушение, однако общая сумма не достигает крити-

ческого порога. Погашение общей суммы баллов на данном этапе происходит за счёт погашения баллов, начисленных за предыдущее малозначительное нарушение. В мае работник вновь совершает «малозначительное» нарушение, и общая сумма баллов превышает первый критический порог. Сотрудниками ПОТ руководству организации подаются данные с предложением о лишении работника определенного процента премии. Количество баллов, соответствующее порогу, погашается, но их динамический учет ведется до конца года. Баллы, на сумму которых был превышен критический порог, остаются в активе работника и учитываются в дальнейшем, но, так как они начислены за нарушение, отнесенное к категории тяжелых, погашение их не производится. В июле имеет место малозначительное нарушение, его баллы суммируются с учитываемым от предыдущего остатком и равномерно погашаются до середины ноября. Данную динамику повторяет общая сумма накопленных баллов, учитываемая в конце года.

В зависимости от количества набранных работниками пороговых сумм штрафных баллов могут применяться различные меры воздействия, закрепляемые в локальных документах организации. Например: 5 баллов — снижение размера премии за месяц (в котором достигнуто пороговое количество баллов) на 25 %; 10 баллов — снижение размера премии на 50 %; 15 баллов — лишение премии на 100 %. В последнем случае работник проходит внеочередную проверку знаний по ОТ и направляется на квалификационную комиссию для переаттестации. Работникам, не допускающим нарушений требований ОТ, за определённый период времени, начисляются премиальные баллы, имеющие отрицательное значение и при суммировании погашающие штрафные баллы, начисленные за ранее совершенные нарушения, отнесенные к категории малозначительных.

Предлагаемая концепция может быть реализована как с использованием средств пакета Microsoft office, в т.ч. таких как Access, так и сформирована в виде отдельного программного продукта или их группы.

Таким образом, в результате внедрения автоматизированной системы персонифицированного учета нарушений требований охраны труда достигаются следующие результаты.

Во-первых, автоматизированный сбор, консолидация, обработка, анализ данных об опасном производственном поведении работников существенно облегчает и повышает эффективность деятельности

специалистов ПОТ. Достаточно указать, что подсчёт ИРОПП осуществляется автоматически. Автоматизация этих процессов позволит также максимально устранить субъективный фактор («кумовство», «круговую поруку», предвзятость и проч.), а в случае фото- и видеофиксации нарушений и организации хранения сведений о них в личном файле работника неограниченное время обеспечат работодателя при возможном трудовом споре доказательствами. Наконец, руководители, включая высшее руководство, получают мгновенный доступ к сведениям о производственном поведении каждого работника предприятия, групп работников (например, молодых специалистов, пенсионеров, работников, прошедших обучение по ОТ и проч.) что повышает оперативность принятия управленческих решений.

Во-вторых, создаётся основа для выработки объективной, наглядной и динамичной картины реального функционирования СУОТ предприятия.

В-третьих, повышается уровень мотивации безопасного выполнения работ за счёт того, что работнику предоставляется время и возможность избежать дисциплинарного взыскания, выработать для себя стратегию безопасного поведения.

В-четвёртых, данная система позволяет максимально учитывать разнообразные формы опасного производственного поведения отдельного работника, формировать интегрированную статистическую базу нарушений по организации в целом. Это позволит оптимизировать процесс управления рисками в области промышленной безопасности и ОТ, повысить эффективность СУОТ.

AUTOMATED SYSTEM OF PERSONALIZED REGISTRATION OF VIOLATIONS OF LABOR PROTECTION REQUIREMENTS

D.M. Kostin
Kalashnikov State Technical University, 426069, Russia, Udmurt Republic, Izhevsk, Studencheskaya, st.7
e-mail: *2081976@mail.ru*

The ways of increasing the efficiency of OSH management systems functioning are considered by automating the processes of collection, consolidation, analysis of information on violations of labor protection requirements. The concept of the author's automated system of personified registration of violations of labor protection requirements is presented. The organizational, managerial, substantive and technical aspects of the operation of the proposed automated system are considered. The advantages of automation of accounting for violations of labor protection requirements by employees are substantiated.

Keywords: occupational safety and health management system, automated control systems.

УДК 669.162

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ГРАФИТНОЙ СПЕЛИ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА

В.В. Бодряга, Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов
Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com*

Рассматривается экологическая проблема утилизации графитной пыли на металлургических предприятиях. Исследованы свойства графитсодержащей пыли и проведен анализ существующих технологий обогащения графитовой пыли. Уловленная циклонами пыль при применении пылеподавления азотом содержит более 30 % углерода и становится товарным продуктом для графитовой промышленности.

Ключевые слова: циклон, графитовая спель, электронный микроскоп, чугун.

Введение

Доменное производство является одним из крупных загрязнителей атмосферы. Значительное количество выбросов выделяется при выпуске чугуна из доменной печи. Выброс состоит из двух основных компонентов – крупнодисперсной графитсодержащей пыли (ГСП) и мелкодисперсного бурого дыма [1–4]. Традиционным методом снижения выбросов бурого дыма является отвод выбросов от мест образования при помощи дымососа, улавливание отведённых выбросов в фильтрах и сброс очищенного газа в атмосферу [2]. Недостатком традиционного метода являются значительные капитальные и эксплуатационные затраты [5].

Кроме бурого дыма, другим заметным компонентом выбросов при переливах чугуна является крупнодисперсная графитсодержащая пыль (ГСП). Графит является ценным компонентом, который широко применяется в промышленности. В настоящее время графит либо добывают из графитовой руды, либо получают при пиролизе каменного угля.

Между тем, ресурсы графитового сырья в чёрной металлургии Украины таковы, что при сборе и утилизации всех графитсодержащих отходов можно полностью обеспечить потребности не только Украины, но и России. В связи с этим практический интерес

представляет вопрос о свойствах ГСП, методах её обогащения и утилизации, а также о влиянии подачи азота на количество и химический состав ГСП.

В зависимости от вида технологической операции и конкретных условий перелива металла количество и химический состав ГСП изменяются в широких пределах. Пыль, выделяющаяся при переливах чугуна, состоит в основном, из двух компонентов: крупнодисперсной графитной спели и мелкодисперсного бурого дыма. Соотношение этих компонентов зависит от типа технологической операции и конкретных условий её протекания, но в среднем содержание графитной спели составляет 25-35 % при заливке и 20-35 % при сливе чугуна, а остальную часть выбросов составляет бурый дым [6–8].

Графитная спель с содержанием углерода более 20 % является ценным сырьём для графитовых заводов, на которых из неё изготавливают высокотемпературные сухие смазки для авиационно-космической техники. При этом, чем выше содержание углерода, тем выше цена графитсодержащих отходов. Однако пыль сильно загрязнена металлом и в большинстве случаев идёт в отвал. Целью данной статьи является проблема изучения свойств ГСП и разработка методов её обогащения по углероду с целью последующей утилизации.

Исследование свойств графитовой пыли

В связи с этим практический интерес представляет вопрос о свойствах ГСП, методах её обогащения и утилизации.

Значительная часть исследований проводилась в миксерном отделении конвертерного цеха металлургического комбината «Азовсталь». Исследовались свойства пыли, отобранной из бункеров циклонов ЦН-15 аспирационной системы миксеров № 1 и № 2 конвертерного цеха.

Исследование ГСП под микроскопом показало, что пыль неоднородна по своему составу и содержит два вида частиц, отличающихся по своим свойствам и происхождению. Это пластины графитной спели и застывшие, частично окисленные, брызги металла. Видно, что брызги металла имеют сферическую форму, большинство брызг располагаются отдельно от плоских частиц графита, но часть брызг вкраплена в структуру пластин графитовой спели. Фотография пыли, уловленной циклонами,

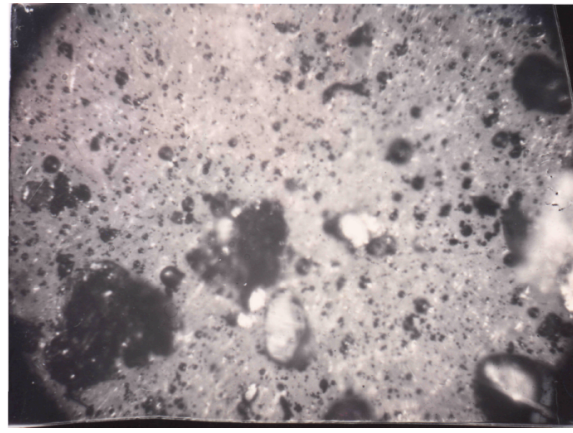


Рисунок 1 — Вид под микроскопом графитсодержащей пыли из бункеров циклонов ЦН-15 системы аспирации миксерного отделения ККЦ меткомбината «Азовсталь», увеличение в 18.5 раз.

выполнена через объектив оптического микроскопа в проходящем свете (рисунок 1).

Ситовый состав ГСП приведен в таблице 1. Пыль исследовалась также путём магнитной сепарации. Брызги чугуна в лабораторных условиях отделялись от графита при помощи магнита.

Из таблицы 1 видно, что магнитная фракция пыли составляет более 70 % по массе, а графитная спель лишь около 30 % общего количества ГСП.

При этом металлические брызги сосредоточены в мелких фракциях, преимущественно менее 50 мкм, а во фракциях более 180 мкм практически отсутствуют. Среднемедианный размер брызг металла составил 72 мкм. Пластины графитной спели, напротив, сосредоточены в крупных фракциях и полностью отсутствуют во фракциях менее 63 мкм. Среднемедианный плоскостной размер пластин графита составил около 300 мкм. Среднемедианный диаметр всей пыли, уловленной циклонами, составил 135 мкм.

Наличие значительного количества металла в ГСП делает эту пыль менее ценной для графитовых заводов, которые установили дифференцированные цены на ГСП в зависимости от содержания углерода и затрудняет её утилизацию.

Таблица 1 — Ситовый состав ГСП из бункеров циклонов ЦН-15 миксерного отделения ККЦ металлургического комбината «Азовсталь»

Фракция, мм	Доля фракции, % по массе	Содержание магнитной части (чугун), % к общему количеству пыли	Содержание немагнитной части (графит),% к общему количеству пыли
1.6-2.5	0,08	-	0,08
1.0-1.6	0,3	-	0,3
0.4-1.0	4,0	0,1	3,9
0.315-0.4	3,7	0,16	3,54
0.18-0.315	9,4	0,5	8,9
0.125-0.18	9,9	2,7	7,2
0.1-0.125	7,6	4,5	3,1
0.071-0.1	17,8	15,5	2,3
0.063-0.071	5,6	5,52	0,08
0.05-0.063	10,8	10,8	-
-0.05	30,82	30,82	-
Всего	**100 %**	**70,6 %**	**29,4 %**

В таблице 2 приведен химический состав пыли из бункеров циклонов ЦН-15 миксерного отделения ККЦ меткомбината «Азовсталь». Содержание углерода в ГСП составляет всего 11 %. Основную массу ГСП составляет окисленное железо.

Анализ результатов эксперимента по исследованию свойств ГСП

Исследованиями в промышленных условиях установлено, что при применении пылеподавления азотом концентрация крупнодисперсной графитсодержащей фракции в выбросах изменяется незначительно. Так, в миксерном отделении конвертерного цеха комбината «Азовсталь» концентрация ГСП перед циклонами при подаче азота снижалась на 10-15 %, что сопоставимо с погрешностью измерения (при снижении концентрации бурого дыма на 85 %).

Подача в ковш газообразного азота приводит к изменению химического состава графитсодержащей пыли. В таблице 2 приведены средние значения содержания различных компонентов в пыли, отобранной из бункеров циклонов ЦН-15 в миксерном отделении

Таблица 2 — Химический состав графитсодержащей пыли, уловленной циклонами ЦН-15, при сливе чугуна из миксера в ковш в миксерном отделении ККЦ меткомбината «Азовсталь»

Содержание компонентов, % по массе	$Fe_{\text{мет}}$	FeO	Fe_2O_3	CaO	SiO_2	C	Другие компоненты
При сливах без пылеподавления	3.3	8.4	73	1.7	2.2	11	0.4
При подаче азота с расходом 8500 м^3/ч	5.0	10.2	53.1	2.0	2.1	27.5	0.1
При подаче азота и отделении брызг металла магнитом	8.58	0.8	4.51	Анализ не проводился	15.5	57.7	12.91

конвертерного цеха комбината «Азовсталь» при систематической работе установки пылеподавления азотом.

Как видно из таблицы 2 применение пылеподавления азотом приводит к значительному повышению содержания углерода в ГСП за счёт снижения доли оксидов железа. Графитовые заводы охотно принимают на переработку ГСП с содержанием углерода в пыли не ниже 20 %. Графитсодержащие отходы, содержащие от 5 % до 19 % углерода, считаются некондиционными и принимаются по существенно сниженным ценам. Отходы, содержащие менее 5 % углерода, не принимаются вообще. Таким образом, улавливаемая циклонами графитсодержащая пыль, при подаче азота становится товарным продуктом, пригодным для утилизации.

Таким образом, при подаче азота произошло изменение состава ГСП. Снизилось количество мелких металлических частиц и возросла доля графитной спели. При этом общее количество ГСП изменилось незначительно, вероятно, в результате эффекта аэродинамической завесы, препятствующей выносу из ковша мелких фракций пыли.

Одновременно при подаче азота уменьшился среднемедианный размер частиц графита с 500 мкм до 175 мкм, что можно объяснить

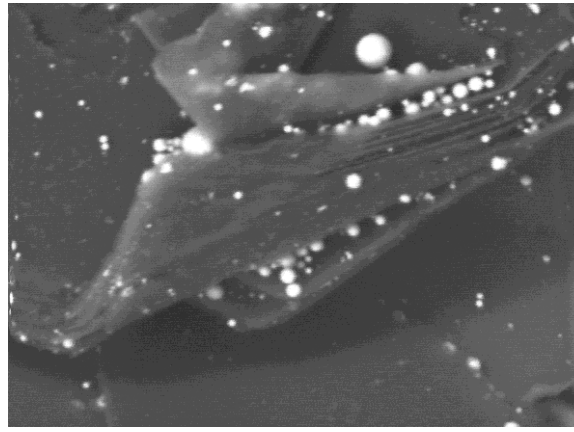


Рисунок 2 — Вид с ребра частички графитной спели. РЭМ. Контраст в отражённых электронах. Фракция 140-345 мкм. Увеличение: х1500 раз. Горизонтальный размер снимка соответствует размеру 90 мкм.

механическим разрушением крупных и относительно непрочных пластин под воздействием струй газа.

На рисунке 2 показана частица спели, снятая с ребра. Видно, что частица состоит из нескольких слоёв кристаллического графита, между которыми имеются вкрапления металла. Толщина отдельных слоёв графита составляет 0.6-0.8 мкм, общая толщина пластины, состоящей из нескольких слоёв, составила 14.8 мкм, край пластины расщеплён.

Оценка распределения вкраплений показала, что они гуще расположены в местах неровностей рельефа на поверхности пластин (поры, щели, выступы на стыке кристаллов и т.д.). В то же время в местах неровностей рельефа вкрапления металла образуют скопления, вплоть до сплошного слоя, размеры скоплений могут достигать нескольких десятков мкм. Учитывая совокупность свойств можно сделать вывод, что вкрапления железа образуются на поверхности графита в результате конденсации паров железа из газовой фазы.

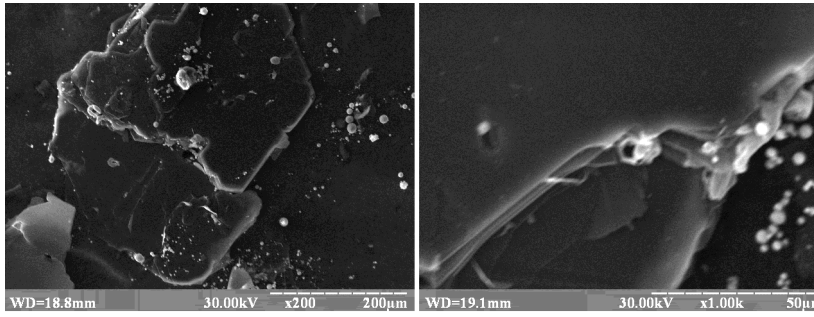


Рисунок 3 — Вид под микроскопом РЭМ-106И пылинки после второго разделения: а) увеличение в 200 раз; б) увеличение в 1000 раз.

Анализ структуры ГСП при ее расщеплении

Исследование ГСП под микроскопом проводилось с целью определения наличия в графитовой пластинке соединений железа не только на поверхности самой пластинки, но и между ее слоями, и на краях, а также в местах разлома.

Пылинку при помощи скотча расщепили несколько раз. В первом случае до второго деления, во втором – до восьмого. Затем образцы распределили на специальный углеродный скотч и поместили в микроскоп РЭМ-106И для исследования на наличие примеси железа внутри пластинки графита.

На рисунке 3а показана фотография частички графитной спели после второго деления. Из фотографии видно, большое количество вкраплений железа, которые представлены светлыми шарообразными телами.

На рисунке 3б показан снимок края частицы графита при увеличении в 1000 раз. Поскольку край пластины расщеплён, отчетливо видно наличие вкраплений железа на краях слоев пластинки. В большом количестве вкрапления железа сосредоточены в местах неровностей рельефа графитовой пластинки.

Во втором образце пылинка достигла восьмой стадии расщепления. На рисунке 4 а, б показан снимок осколка пылинки, образовавшегося при расслоении пылинки графита и находящегося от нее на небольшом расстоянии.

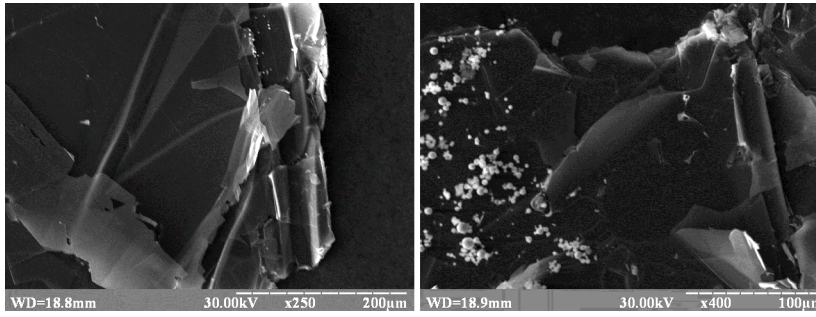


Рисунок 4 — Вид под микроскопом РЭМ-106И пылинки после восьмого разделения. а) увеличение в 250 раз; б) увеличение в 400 раз.

Видно, что на пластинке графита вкраплений железа практически не наблюдается. На основании чего можно сделать вывод, что между внутренними слоями графита вкраплений железа и его оксидов нет. Следовательно, вкрапления железа и его оксиды образуются на поверхности графита в результате конденсации их паров из газовой фазы.

Методы обогащения графитсодержащей пыли и её утилизации

Как видно из результатов исследования свойств ГСП, основной примесью к графиту являются соединения железа, которые содержатся в пыли в двух основных формах: в виде сферических брызг чугуна и в виде микроскопических вкраплений железа на поверхности графита (преимущественно в местах неровностей рельефа пластин). Поэтому и методы обогащения ГСП также можно разделить на две группы:

1 Отделение брызг металла.

2 Уменьшение количества, адсорбированного на поверхности пластин графита железа.

Отделение брызг металла можно осуществить, используя различия в свойствах графита и чугуна. Можно применить

магнитную сепарацию или отделение мелких фракций ГСП, в которых содержится основная масса брызг.

Как было показано выше, применение пылеподавления азотом приводит к повышению доли графита в ГСП и снижению количества, адсорбированного на частицах спели железа. За счёт подачи азота удаётся увеличить долю углерода в 2-3.5 раза. При этом содержание углерода в пыли тем выше, чем больше достигнутая степень пылеподавления.

Учитывая, что крупнодисперсная фракция пыли, улавливаемая циклонами ЦН-15, содержит кроме графитной спели значительное количество застывших брызг чугуна, можно дополнительно обогатить ГСП методом магнитной сепарации. В таблице 2 приведен химический состав немагнитной фракции пыли, отделённой в лабораторных условиях от ГСП, которая была уловлена циклонами в миксерном отделении конвертерного цеха меткомбината «Азовсталь» и которая содержала первоначально 27.5 % углерода (аспирационная система эксплуатировалась при систематической подаче азота на пылеподавление). При этом достигнуто повышение содержания углерода до 57.7 % (таблица 2).

Выводы

1 Определено, что уловленная циклонами пыль при применении пылеподавления азотом содержит более 30 % углерода и становится товарным продуктом для графитовой промышленности.

2 Получено, что между внутренними слоями графита вкраплений железа и его оксидов нет. Следовательно, они образуются на поверхности графита в результате конденсации их паров из газовой фазы.

3 Обогащая уловленную пыль дополнительно, можно повысить процентное содержание углерода, что повысит доходы и решает проблему ее утилизации.

Список литературы

1. Недопекин Ф.В. Процессы переноса в период образования бурого дыма при переливах чугуна - Теория и практика металлургии. – 2003 - №2 (34) - С. 26-31.

2. Недопекин Ф.В. Процессы теплопереноса в брызгах чугуна, приводящих к образованию бурого дыма - Вестник Донецкого университета, сер.А. Естественные науки - №1 – 2002 - Вып. 2 - С. 270-275.
3. Недопекин Ф.В. Исследование экологической проблемы образования бурого дыма /Ф.В. Недопекин, В.А. Кравец, В.В. Бодряга и др.// - Металлургичемкая теплотехника. Сб. научн. тр. Национ. металлург. академии Украины. – Днепропетровск: Пороги, 2004. – С.221-229.
4. Кравец В. А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна/ В.А. Кравец // Монография. - Донецк: Издательство «УкрНТЭК» - 2002-186 с.
5. Алиев Г. М.-А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. Учебник для СПТУ. - 2-е изд. - М.: Металлургия, 1980. – 368 с.
6. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве /С.Б. Старк// – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
7. Андоньев С.М. Пылегазовые выбросы предприятий чёрной металлургии/ С.М. Андоньев, Ю.С. Зайцев, О.В. Филипьев // - Харьков-Енакиево: Издательство "ЕМЗ"– 1998 – 248 с.
8. В.Г. Воронов Пылеобразование в сталеплавильных агрегатах /Воронов В.Г., Новокрещенов С.А., Селиванов С.П. и др.// Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. - 1991 - №3 - С.103-105.

ECOLOGICAL RECYCLING PROBLEM OF GRAPHITE RIPE AT PIG IRON OVERFLOW

V.V. Bodryaga, F.V. Nedopekin, V.V. Bilousov
Donetsk National University, Donetsk, Ukraine
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com*

Ecological problem of graphite dust recycling at metallurgical plants is considered. The graphite dust properties are studied. The existing of technologies enrichment of graphite dust are analyzed. Collected cyclone dust, dust control when using nitrogen contains more than 30 % of carbon and becomes marketable product for the graphite industry.

Keywords: cyclone, dag, electron microscope, pig iron.

Научное издание

Научный редактор
Колодкин Владимир Михайлович

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей
Выпуск 12

Компьютерный набор и верстка
Радикова Анна Владимировна

Авторская редакция

Подписано в печать 21.05.2018. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,53.
Тираж 100 экз. Заказ № 17-31.

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