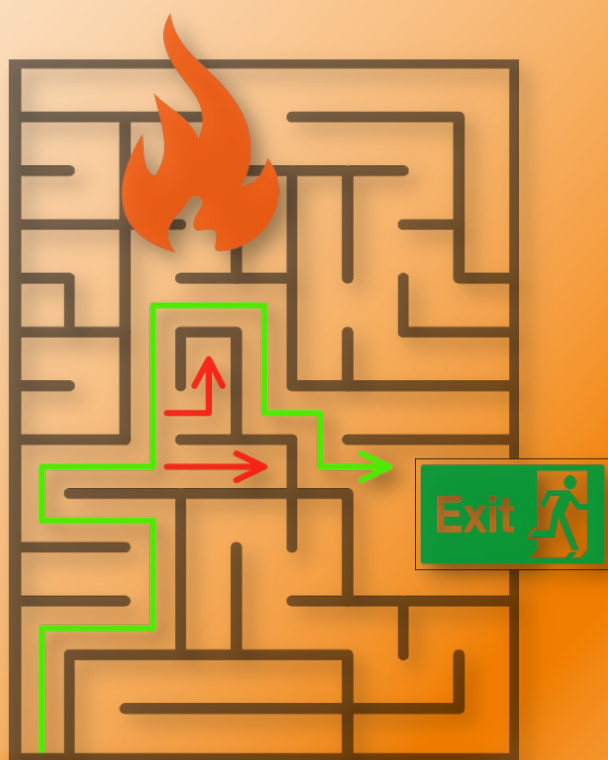


Удмуртское региональное отделение  
Общероссийской общественной организации  
“Российское научное общество анализа риска”

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

# Безопасность в техносфере

13



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

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**  
*Сборник статей*

*Выпуск 13*



Ижевск  
2019

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

**Б 40    Безопасность в техносфере:** сборник статей / науч.  
ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Издательский центр  
«Удмуртский университет», 2019. – 182 с.

**ISBN 978-5-4312-0725-9**

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

Рассмотрены вопросы цифровой трансформации конкретной системы - системы автоматического формирования указаний людям путей эвакуации из горящего здания в режиме реального времени. Конечная цель цифровой трансформации систем обеспечения безопасности – в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами обеспечить безопасность объекта защиты до требуемого уровня, используя цифрового двойника объекта.

**ISBN 978-5-4312-0725-9      УДК 614.84, 681.51, 004.031.4, 004.492**

**ББК 68.9 я 431**

© УРО ООО «Российское научное общество анализа риска», 2019

© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I Цифровые системы обеспечения безопасности</b> . . . . .                                                                         | <b>5</b>  |
| <i>В.М. Колодкин, Б.В. Чирков</i>                                                                                                    |           |
| Оценки топологической сложности зданий в модели эвакуации . . . . .                                                                  | 6         |
| <i>А.М. Сивков</i>                                                                                                                   |           |
| Нахождение распределения людей в здании . . . . .                                                                                    | 13        |
| <i>А.Н. Александрович</i>                                                                                                            |           |
| Развитие веб-сервиса оценки риска: цифровой двойник предприятия по переработке отходов I-II классов опасности . . . . .              | 26        |
| <i>Д.Е. Ушаков</i>                                                                                                                   |           |
| Исследование ограничений расстановки беспроводных узлов на базе микроконтроллера ATmega128RFA1 . . . .                               | 35        |
| <i>Б.В. Чирков, П.С. Евстафьева, К.С. Буторина</i>                                                                                   |           |
| Математическая модель формирования управляющих команд для системы управления эвакуацией . . . . .                                    | 44        |
| <i>К.С. Буторина, П.С. Евстафьева, Б.В. Чирков</i>                                                                                   |           |
| Оценка сложности зданий по методу анализа иерархий                                                                                   | 55        |
| <b>II Техносферная безопасность</b> . . . . .                                                                                        | <b>59</b> |
| <i>М.Э. Галиуллин</i>                                                                                                                |           |
| Создание API для отображения пространственных величин в картографических веб-интерфейсах . . . . .                                   | 60        |
| <i>О.А. Демин</i>                                                                                                                    |           |
| Методы обеспечения пожарной безопасности многофункциональных зданий . . . . .                                                        | 92        |
| <i>А.В. Радикова</i>                                                                                                                 |           |
| Количественная оценка риска аварий на автоматической газораспределительной станции . . . . .                                         | 102       |
| <i>Д.М. Варламова</i>                                                                                                                |           |
| Обзор программ по расчету категорий помещений по взрывопожарной опасности . . . . .                                                  | 109       |
| <i>Ф.В. Недопекин, А.В. Несова, Н.С. Шестакин</i>                                                                                    |           |
| Использование геоинформационной системы QGIS и данных дистанционного зондирования Земли для оценки состояния почв Донбасса . . . . . | 116       |



|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Н.С. Шестакин, В.В. Юрченко</i>                                                                                                |     |
| Сценарии и риски утечки диоксида углерода из геологических хранилищ на Донбассе . . . . .                                         | 123 |
| <i>Н.В. Пантелеева, С.Г. Шуклин</i>                                                                                               |     |
| Анализ использования системы пожарной безопасности в торговых центрах города Ижевска . . . . .                                    | 133 |
| <i>В.М. Афанасьев, И.Х. Сайфутдинова, А.Т. Хисматова</i>                                                                          |     |
| Учёт влияния рельефа местности при расчете зон возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте . . . . . | 143 |
| <i>В.Ф. Тимошков</i>                                                                                                              |     |
| Ситуационное моделирование тактико-специальных учений для оценки аварийных рисков и оптимизации последствий пожаров . . . . .     | 149 |
| <i>А.Н. Членов, С.И. Лобацкий</i>                                                                                                 |     |
| Применение матричного метода выбора автоматической установки тушения пожара . . . . .                                             | 153 |
| <i>Я.Н. Перминов, Н.А. Перминов</i>                                                                                               |     |
| Автоматическая система обеспечения безопасности работников театра около оркестровой ямы . . . . .                                 | 158 |
| <i>А.Т. Хисматова, А.И. Шакирова, В.М. Афанасьев</i>                                                                              |     |
| Совершенствование мероприятий по обеспечению пожаробезопасности в офисно-производственных зданиях . . . . .                       | 162 |
| <i>А.В. Кулагин, Я.Н. Перминов, А.П. Резенова</i>                                                                                 |     |
| Инженерная задача применения троса для выполнения спасательных работ . . . . .                                                    | 167 |
| <i>Т.А. Буцынская, А.Н. Членов</i>                                                                                                |     |
| О риске криминального проникновения нарушителя на охраняемый объект . . . . .                                                     | 177 |

# Раздел I

## Цифровые системы обеспечения безопасности

УДК 519.876.5

## ОЦЕНКИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ ЗДАНИЙ В МОДЕЛИ ЭВАКУАЦИИ

*В.М. Колодкин, Б.В. Чирков*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

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

*Вводятся показатели цифровой модели здания, построенной с использованием двудольного графа. На основе показателей вводится оценка топологической сложности здания. Количественная оценка топологической сложности здания является одним из факторов, который определяет время эвакуации людей из здания в условиях чрезвычайных ситуаций. Изложение иллюстрируется расчетом топологической сложности зданий учебных корпусов ВУЗа.*

**Ключевые слова:** цифровая модель здания, сложность здания, управление эвакуацией.

### Введение

Автоматическое проектирование и указание людям безопасных путей эвакуации из здания в условиях ЧС базируется на цифровой модели здания. Ранее было показано, что при автоматическом проектировании путей эвакуации в режиме реального времени, может быть использована модель здания на основе двудольного графа [1]. Представление объемной модели здания в виде графа – вынужденная мера, связанная с необходимостью ускорить процесс моделирования эвакуации людей из здания в условиях чрезвычайных ситуаций. В частности, использование цифровой модели здания в виде графа, позволило обеспечить управление эвакуацией в горящем здании в режиме реального времени: время математического моделирования при этом сокращается на два-три порядка. Конечно, при этом неизбежна потеря точности расчетов: если дискретизация пространства по пути эвакуации в пределах помещения – величина  $\sim n$ , то ошибка по времени эвакуации при замене объемной модели здания на модель здания в виде графа, приведет к увеличению ошибки по времени (верхняя оценка)

в  $\sim n$  раз. Следовательно, использование модели здания в виде двудольного графа предполагает исследование модели эвакуации и выявление связи между временем эвакуации людей из здания и свойствами здания. Выявление связи между временем эвакуации людей из здания и имманентными свойствами здания предполагает количественную оценку сложности здания.

## Цифровая модель здания на основе двудольного графа

На рисунке 1 представлен фрагмент модели здания. Модель здания на основе двудольного графа  $G = (W, V, R)$  представляется в виде геометрической схемы, в которой узлы  $W = U$  относятся к двум независимым подмножествам: подмножество помещений (вершины  $W$ ) и подмножество проемов (вершины  $V$ ). Узлы разных подмножеств соединяются ребрами –  $R$ . Каждый узел, принадлежащий подмножеству проемов  $V$  соединяется двумя ребрами с узлами подмножества помещений  $W$  (помещение соединяется с другим помещением только через проем). Все элементы графа характеризуются своими параметрами. Например, основные характеристики вершин графа, относящихся к помещениям, – площадь, количество человек в помещении в данный момент времени и т.д. Основные характеристики вершин графа, относящихся к проемам, – размеры проема. Основные характеристики ребра графа, прилежащего к вершине  $W$ , – средняя длина пути эвакуации по помещению. Необходимо иметь в виду, что при построении цифровой модели здания, помещения, длина и ширина которых значительно различаются по размерам, разбиваются на составляющие, так чтобы длина и ширина составляющих помещений, были бы сопоставимы между собой. Составляющие помещений соединяются между собой проемами со своими характеристиками (например, ширина проема отвечает ширине помещения). Разбиение обусловлено требованием повышения точности расчетов времени эвакуации.

Множество помещений разделены на уровни. К уровню 0 относится одна зона (одно фиктивное помещение), в которую входят все зоны «безопасности». Обычно это пространство вне здания и/или все зоны безопасности в здании. Номер уровня показывает минимальное количество проемов, которое отделяет помещения данного уровня от уровня 0.

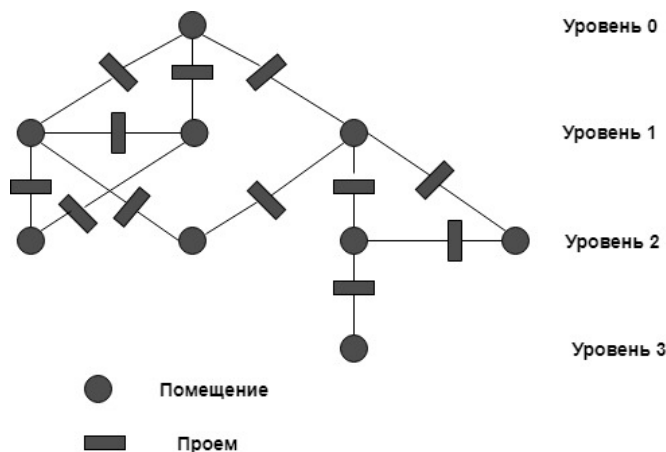


Рисунок 1 — Фрагмент модели здания

Вычислительные эксперименты по моделированию процесса эвакуации людей из зданий [1] выявили, что при прочих равных условиях временной интервал эвакуации существенно определяется имманентными свойствами здания. Учитывая, что модель здания представляется графом, для здания определены следующие основные показатели:

- Количество вершин подмножества помещений ( $W$ ) в модели здания – уровень разбиения пространства здания (исключая вершину уровня 0) –  $N_w$ .
- Количество вершин подмножества проемов ( $V$ ) в здании –  $N_v$ .
- Максимальное количество вершин подмножества помещений ( $W$ ) одного уровня (максимальная ширина графа по подмножеству помещений) –  $M_w$ .
- Количество уровней в графе (минимальное количество вершин помещений ( $W$ ) при обходе графа в глубину) –  $K_w$ .

Количественная оценка, построенная на основе данных показателей, характеризует топологическую сложность цифровой модели здания –  $C$ . При этом модель здания рассматривается как

некоторый аналог информационной конструкции [3]. Количественная оценка топологической сложности цифровой модели здания в дальнейшем рассматривается в качестве одного из параметров, влияющих на время эвакуации.

### Показатели топологической сложности модели зданий учебных корпусов ВУЗа

Показатели, относящиеся к цифровым моделям зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ» представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Показатели цифровых моделей зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ»

| Корпус                        | $P1 = N_w$ | $P2 = N_v$ | $P3 = M_w$ | $P4 = K_w$ | $C$  |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| Корпус №1                     | 419        | 466        | 42         | 24         | 1,36 |
| Корпус №2                     | 352        | 388        | 32         | 17         | 0,84 |
| Корпус №3                     | 153        | 167        | 28         | 14         | 0,32 |
| Корпус №4                     | 507        | 536        | 51         | 26         | 1,84 |
| Корпус №5                     | 316        | 374        | 54         | 14         | 0,95 |
| Корпус №6                     | 390        | 439        | 41         | 22         | 1,21 |
| Корпус №7                     | 286        | 322        | 31         | 24         | 0,81 |
| Среднее значение<br>< $P_i$ > | 346,1      | 384,6      | 39,9       | 20,1       | 1,05 |

Если  $P_{ij}$  – численное значение  $i$  – го показателя модели здания ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) для корпуса  $j$ , то нормированное значение показателя  $H_{ij}$ , определено в виде (1):

$$H_{ij} = 1 + (P_{ij} - \langle P_i \rangle) / \langle P_i \rangle, \quad (1)$$

где  $\langle P_i \rangle$  – значение показателя усредненное по всей совокупности моделей зданий.

В качестве количественной оценки топологической сложности здания  $j$  принята величина равная относительной площади фигуры, ограниченной точками  $H_{ij}$  в пространстве показателей  $H_{ij}$  при

$i = 1, 2, 3, 4$ . Оценка площади  $S_j$  для модели  $j$  – го корпуса –

$$S_j = 0,5 \cdot (H1_j \cdot H2_j + H2_j \cdot H3_j + H3_j \cdot H4_j + H4_j \cdot H1_j).$$

Площади  $S_j$  нормируются на площадь фигуры  $S_0$ , построенной при средних значениях  $P_i = \langle P_i \rangle$  в пространстве показателей  $H_i$  при  $i = 1, 2, 3, 4$ . В этом случае  $H_i = 1, S_0 = 2$ . Для расчета топологической сложности здания  $C$  имеем:

$$C_j = S_j/S_0 = 0,5 \cdot S_j.$$

Результаты расчетов количественной оценки топологической сложности  $C$  зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ», представлены в таблице 1. В таблице 2 показатели цифровых моделей корпусов представлены после ранжирования по величине топологической сложности. Корпуса университета расположены в виде ряда №3, №7, №2, №5, №6, №1, №4 по мере увеличения количественных оценок топологической сложности цифровых моделей корпусов.

Таблица 2 — Характеристики моделей зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ», ранжированные по возрастанию топологической сложности

| Корпус | P1 = Nw | P2 = Nv | P3 = Mw | P4 = Kw | C    |
|--------|---------|---------|---------|---------|------|
| №3     | 153     | 167     | 28      | 14      | 0,32 |
| №7     | 286     | 322     | 31      | 24      | 0,81 |
| №2     | 352     | 388     | 32      | 17      | 0,84 |
| №5     | 316     | 374     | 54      | 14      | 0,95 |
| №6     | 390     | 439     | 41      | 22      | 1,21 |
| №1     | 419     | 466     | 42      | 24      | 1,36 |
| №4     | 507     | 536     | 51      | 26      | 1,84 |

## Заключение

Вычислительные эксперименты по управлению эвакуацией в автоматическом режиме показывают, что время эвакуации людей в значительной степени определяется имманентными свойствами

здания. Следовательно, нужна количественная характеристика здания, которая бы характеризовала его сложность. В данной работе предлагается в качестве такой характеристики использовать оценку, построенную на базе цифровой модели здания. Оценка позволяет количественно сравнить здания по уровню сложности. Область применения оценок ограничена множеством зданий, для которых эта оценка получена.

### **Список литературы**

1. Колодкин В.М., Галиуллин М.Э. Программные алгоритмы, реализующие модель движения людских потоков в системе управления эвакуацией людей из здания // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т25, №10. — С. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.10.75-85>.
2. Колодкин В.М., Чирков Б.В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере, 2017, вып. № 4(67), С. 58-65. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5a2907cc4f32d7.65348137](https://doi.org/10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137)
3. Болбаков Р.Г. Сложность информационных конструкций // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — № 4 (16). — С. 58-63. doi: 10.21777/2312-5500-2016-4-58-63



## ASSESSMENTS OF THE TOPOLOGICAL COMPLEXITY OF BUILDINGS IN THE MODEL OF EVACUATION

*V.M. Kolodkin, B.V. Chirkov*

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

*The indicators of a digital model of a building constructed using a bipartite graph are introduced. Based on the indicators, an assessment of the topological complexity of the building is introduced. A quantitative assessment of the topological complexity of the building is one of the factors that determines the time of evacuation of people from the building in emergency situations. The presentation is illustrated by the calculation of the topological complexity of the buildings of the educational buildings of the university.*

Keywords: digital building model, building complexity, evacuation control.

УДК 621.317

## НАХОЖДЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ЗДАНИИ

*А.М. Сивков*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *amsiv@mail.ru*

*В статье описывается разработанная автором электронная система реального времени для нахождения распределения людей в здании.*

**Ключевые слова:** динамическое управление эвакуацией, распределение людей в здании, горизонтальный счётчик на инфракрасных лучах, распознавание абстрактных образов движения.

### Введение

Для динамического управления эвакуацией людей из здания необходимо в любой момент времени знать, как люди распределены по зданию. Получение этой информации возможно как прямым, так и косвенным методом.

Прямой метод предполагает наличие наблюдателя, непосредственно «заглядывающего» внутрь помещений здания. Это, например, машинное распознавание количества людей на изображениях с видеокамер, если все люди, находящиеся в здании, находятся в то же время и в поле зрения.

Стоимость такой системы «тотальных» видеонаблюдений сравнительно велика. При этом, подробная информация о количестве людей, находящихся буквально в каждом помещении здания, избыточна для цели управления эвакуацией. Для управления людскими потоками достаточно знать общее распределение людей по укрупнённым зонам, содержащим группы помещений, без несущественных подробностей. Знать, например, количество людей на каждом этаже и в каждом крыле здания. Информацию такого рода можно получить более дешёвым, косвенным методом.

Косвенный метод, в отличие от прямого, не требует «заглядывать внутрь» помещений. Наблюдения производятся только на

входах в помещения или в укрупнённые зоны здания с помощью счётчиков, считающих входящих и выходящих людей. Объединение данных, полученных со всех счётчиков, позволяет рассчитать общую картину распределения людей.

В этой статье описывается экспериментальная реализация измерительной системы реального времени косвенного типа, разработка которой явилась продолжением исследований, отображённых ранее в публикациях [1–4].

### **Состав измерительной системы**

Экспериментальная измерительная система состоит из некоторого количества однотипных счётчиков, единственного центрального узла и соединяющей их проводной линии связи. Счётчики [1] расставляются у входов в контролируемые зоны (или помещения) здания и непрерывно считают входящих и выходящих людей. Каждый счётчик является в значительной степени умным устройством, обладающим памятью, в которой он хранит результаты счёта на текущий момент. Центральный узел периодически, по очереди опрашивает счётчики для сбора данных о количестве людей, прошедших в помещения и из них. Собрав данные, центральный узел автоматически обрабатывает их для воссоздания общей картины распределения людей в здании.

Для связи счётчиков с центральным узлом используется единая линия передачи сигналов [2]. Запросы центрального узла счётчикам на передачу данных являются адресными, то есть любой запрос «слышат» одновременно все счётчики, но отвечает на него только тот счётчик, которому запрос адресован. Состав измерительной системы и схема соединения узлов показаны на рисунке 1.

### **Счётчик**

Работа счётчика основана на том, что идущий мимо него человек пересекает два параллельных горизонтальных инфракрасных луча (подобно двум финишным ленточкам). Последовательность пересечения лучей телом человека позволяет определить, входит человек в помещение или выходит из него. Конструктивно счётчик состоит из двух инфракрасных излучателей, двух приёмников

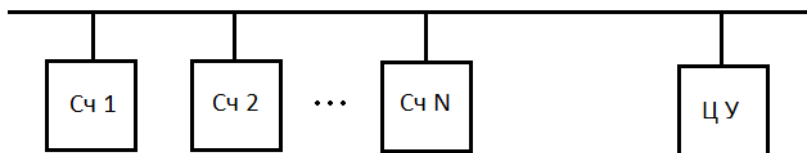


Рисунок 1 — Состав измерительной системы и схема соединения узлов. Обозначения: Сч1, Сч2, ..., СчN – счётчики; ЦУ – центральный узел

инфракрасного излучения, микроконтроллера и блока связи с центральным узлом.

Два независимых излучателя счётчика формируют два пучка инфракрасных лучей, разнесённых друг от друга по горизонтали на расстояние 5 см. Излучатели работают в импульсном режиме, поочередно, с частотой следования импульсов 500 Гц и скважностью 10 (отношение периода следования импульсов к длительности импульса). Измерение сигналов на выходе двух независимых приёмников инфракрасного излучения также производится поочередно. Таким образом, счётчик располагает двумя отдельными поочередно работающими измерительными каналами для обнаружения человека (измерительный канал состоит из излучателя, луча и приёмника).

Импульсный поочерёдный режим работы измерительных каналов счётчика необходим, в частности, потому, что каждый из двух параллельных пучков инфракрасных лучей имеет угловую ширину порядка 10 градусов, и в зоне приёмников пучки перекрывают друг друга. Несмотря на это, каждый приёмник должен принимать излучение только «своего» излучателя и не принимать излучение «чужого». Поочерёдная по времени работа двух измерительных каналов позволяет устранить проблему их перекрёстного влияния. При этом частота следования импульсов инфракрасного излучения выбрана достаточно высокой, чтобы за промежуток времени между импульсами, когда система, образно говоря, является «слепой», человек, даже бегущий, успел переместиться не более, чем на 1 см.

Принципиальная электрическая схема одного излучателя инфракрасных импульсов приведена на рисунке 2.

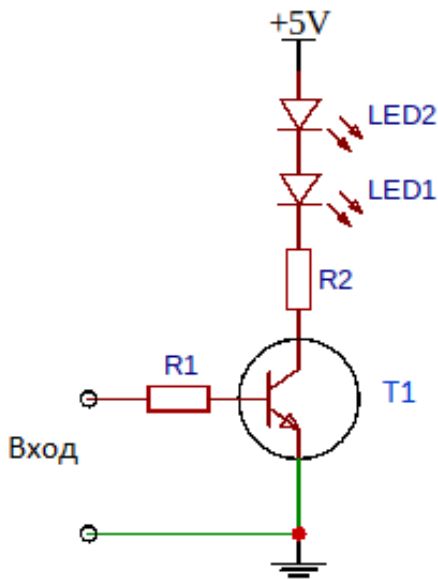


Рисунок 2 — Принципиальная электрическая схема излучателя инфракрасных импульсов. Обозначения: T1 – транзистор KT3102; LED1,LED2 – светодиоды TSAL6100; R1 – резистор 300 Ом; R2 – резистор 10 Ом

На вход электрической схемы излучателя подаются управляющие электрические импульсы с цифрового порта микроконтроллера. Транзистор T1 работает в качестве усилителя мощности в режиме ключа. В отсутствие входного управляющего импульса он закрыт. Во время действия импульса транзистор открыт и находится в состоянии насыщения. Импульсный ток коллектора этого транзистора проходит через инфракрасные светодиоды LED1, LED2, которые создают требуемое излучение. Резистор R2 ограничивает силу тока в импульсе до величины порядка 100 мА. Сдваивание светодиодов

используется для повышения энергетической эффективности излучателя.

Импульсное инфракрасное излучение, создаваемое излучателем, падает на соответствующий ему приёмник инфракрасного излучения. В счётчике используются два идентичных приёмника. Принципиальная электрическая схема одного приёмника приведена на рисунке 3.

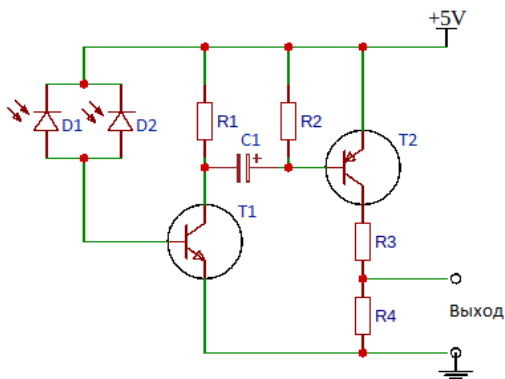


Рисунок 3 — Принципиальная электрическая схема приёмника инфракрасного излучения. Обозначения: D1, D2 – фотодиоды BVP10NF; T1 – транзистор KT3102; T2 – транзистор KT3107; C1 – электролитический конденсатор 10 мкФ; R1, R2 – резисторы 10 кОм; R3 – резистор 20 кОм; R4 – резистор 51 кОм

Сенсором приёмника служит пара инфракрасных фотодиодов D1 и D2. Сдвайвание фотодиодов используется для повышения чувствительности приёмника. Фотодиоды соединены непосредственно с базовым выводом транзистора T1 первого каскада двухкаскадного усилителя импульсных сигналов и управляют силой тока в цепи базы этого транзистора.

При отсутствии падающего на них инфракрасного излучения фотодиоды заперты, так как включены в электрическую цепь в обратном направлении. В этом состоянии их электрическое сопро-

тивление очень велико, поэтому ток базы транзистора Т1 практически равен нулю. Во время действия импульса инфракрасного излучения электрическое сопротивление фотодиодов скачкообразно уменьшается, что приводит к появлению базового и, соответственно, коллекторного тока транзистора Т1. В результате на нагрузочном сопротивлении R1 возникает импульс напряжения, который через разделительный конденсатор С1 передаётся на вход второго каскада усилителя на транзисторе Т2.

Транзистор Т2 имеет нулевую рабочую точку и в исходном состоянии (при отсутствии сигнала) заперт. При появлении импульса на выходе предыдущего каскада транзистор Т2 открывается и, в свою очередь, создаёт импульс напряжения на резисторе R4, то есть на выходе усилителя. Второй каскад усилителя приёмника имеет входной нижний порог «срабатывания» величиной порядка 0,5 В, что позволяет срезать фоновую шумовую составляющую сигнала. Электрические импульсы на выходе этого каскада также ограничены сверху напряжением источника питания усилителя, поэтому сигнал на выходе усилителя имеет дискретный характер.

Выход усилителя приёмника подключен к цифровому порту микроконтроллера типа STM32, который производит анализ полученного сигнала.

Микроконтроллер STM32 в составе счётчика предназначен для выполнения следующих функций:

- 1 Управление излучателями.
- 2 Обнаружение и анализ сигналов на выходах приёмников излучения.
- 3 Распознавание (интерпретация) абстрактных образов прохождения людей.
- 4 Счёт входящих и выходящих людей.
- 5 Обслуживание сеансов связи с центральным узлом.

Управление излучателями сводится к подаче на их входы периодических прямоугольных импульсов напряжения, имеющих длительность 0,002 сек.

Во время управляющего импульса, сразу после завершения переходных электрических процессов, микроконтроллер производит опрос цифрового порта, к которому подключен соответствующий этому излучателю приёмник, чтобы выяснить, достиг ли приёмника инфракрасный луч беспрепятственно.

Моменты перекрытия лучей посторонним телом, а также моменты их последующего освобождения образуют цепочку событий, которая трактуется как абстрактный образ прохождения человека. После полного выхода человека из измерительной зоны абстрактный образ анализируется микроконтроллером на предмет выяснения, было ли прохождение человека сквозным. Кроме сквозного прохождения возможны также различные варианты частичного «вторжения» в измерительную зону с возвратом назад. Если прохождение было сквозным, микроконтроллер выясняет, в каком направлении прошёл человек, и увеличивает значение соответствующей переменной на единицу.

В оперативной памяти микроконтроллера счётчика выделена область для запоминания количества людей, прошедших к текущему моменту через измерительную зону слева направо, и количества людей, прошедших справа налево. Именно эти два числа центральный узел периодически запрашивает по линии связи у каждого из счётчиков.

Сеанс связи центрального узла со счётчиком начинается по инициативе центрального узла. Поэтому, помимо счёта проходящих людей, задачей микроконтроллера, входящего в состав счётчика, является также непрерывное «прослушивание» проводной сети в ожидании прихода запроса на данные. Получив запрос, микроконтроллер передаёт требуемую информацию и, закончив передачу, снова переходит в режим ожидания очередного сеанса связи.

Передача данных в проводную сеть производится счётчиком через модуль сетевой развязки. Этот модуль предназначен для устранения электрического влияния счётчиков друг на друга. Проблема взаимного влияния возникает вследствие того, что все счётчики соединены с единой линией связи по параллельной схеме. Принципиальная электрическая схема модуля сетевой развязки приведена на рисунке 4.



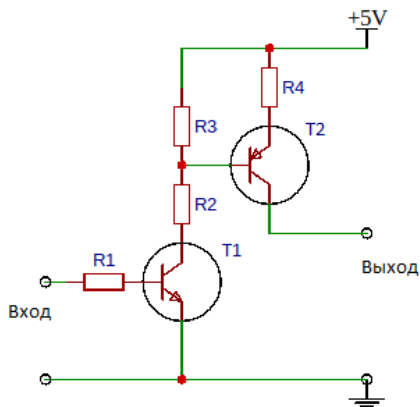


Рисунок 4 — Принципиальная электрическая схема модуля сетевой развязки. T1 – КТ3102; T2 – КТ3107; R1, R2 – 10 кОм; R3 – 20 кОм; R4 – 51 кОм

На вход модуля сетевой развязки микроконтроллер подаёт последовательность сигналов, кодирующую передаваемые центральному узлу данные. Выход модуля соединён с проводной линией связи, ведущей к центральному узлу. Входное сопротивление центрального узла составляет около 5 кОм, при том, что выходное сопротивление модуля сетевой развязки каждого счётчика на два порядка больше этой величины. Электрическая сетевая развязка счётчиков как раз и обеспечивается их высоким выходным сопротивлением в сочетании с низким входным сопротивлением центрального узла.

## Абстрактные образы

Для счёта входящих и выходящих людей каждый счётчик занимается распознаванием абстрактных образов движения людей. Абстрактный образ движения – это цепочка событий, происходящих в измерительных каналах счётчика от момента первого до момента последнего взаимодействия счётчика с проходящим человеком.

С точки зрения измерительной системы счётчика, событием является всякое изменение сигнала на выходе левого или правого измерительного канала. Событие возникает, когда человек только что прервал или только что освободил инфракрасный луч какого-либо канала.

Поскольку у счётчика два луча (и, соответственно, два канала), возможны четыре разных типа событий. Для удобства они обозначены цифрами, указанными в таблице 1 (цифры указаны в первом столбце таблицы; во втором столбце – типы событий).

Таблица 1 — Цифровое обозначение типов событий в измерительной системе счётчика

|   |                                                                             |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1 | – только что исчез сигнал левого канала (человек вошел в левый луч)         |
| 2 | – только что исчез сигнал правого канала (человек вошёл в правый луч)       |
| 3 | – только что появился сигнал левого канала (человек вышел из левого луча)   |
| 4 | – только что появился сигнал правого канала (человек вышел из правого луча) |

В измерительной системе в терминах событий возникают несколько типов абстрактных образов движения человека, то есть цепочек событий, которые приведены в таблице 2 (в первом столбце таблицы – цепочки событий, обозначенных цифрами, то есть абстрактные образы; во втором столбце – интерпретация абстрактных образов).

Если от счётчика не требуется распознавание глубины вхождения человека в измерительную зону, то каждую из цепочек событий можно сократить до двух элементов: первого события и последнего. В этом случае получается набор упрощённых абстрактных образов движения, указанных в таблице 3.

В том варианте счётчика, который описан в этой статье, характер движения человека распознаётся именно путём интерпретации очередного полученного счётчиком абстрактного образа на основе таблицы 3.

Таблица 2 — Абстрактные образы движения человека, возникающие в измерительной системе счётчика

|             |                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,2,3,4     | – «сквозное» прохождение человека через зону измерений слева направо               |
| 1,3         | – «неглубокое» вхождение человека в зону измерений слева и возвращение обратно     |
| 1,2,4,3     | – «глубокое» вхождение человека в зону измерений слева и возвращение обратно       |
| 1,2,3,1,4,3 | – «очень глубокое» вхождение человека в зону измерений слева и возвращение обратно |
| 2,1,4,3     | – «сквозное» прохождение человека через зону измерений справа налево               |
| 2,4         | – «неглубокое» вхождение человека в зону измерений справа и возвращение обратно    |
| 2,1,3,4     | – «глубокое» вхождение человека в зону измерений справа и возвращение обратно      |
| 2,1,4,2,3,4 | – «очень глубокое» вхождение человека в зону измерений слева и возвращение обратно |

Таблица 3 — Упрощённые абстрактные образы движения человека (в цепочке событий оставлены только первый и последний элементы)

|     |                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------|
| 1,4 | – «сквозное» прохождение человека через зону измерений слева направо |
| 1,3 | – вхождение человека в зону измерений слева и возвращение обратно    |
| 2,3 | – «сквозное» прохождение человека через зону измерений справа налево |
| 2,4 | – вхождение человека в зону измерений справа и возвращение обратно   |

## Центральный узел и линия связи

Назначением центрального узла является сбор информации, полученной счётчиками, и расчёт общей картины распределения людей по зданию.

Для сбора информации центральный узел периодически инициирует сеанс связи с каждым из счётчиков. Сеанс связи занимает около 0,1 секунды и состоит из двух этапов. На первом этапе центральный узел отправляет счётчику запрос на предоставление информации. На втором этапе центральный узел принимает от счётчика пакет данных, задавая темп его передачи с помощью импульсов синхронизации.

Получив пакет данных, центральный узел проверяет его целостность, чтобы убедиться, что передача данных прошла без ошибок.

Ошибки передачи данных могут возникнуть по двум причинам:

- вмешательство электромагнитных помех (для снижения общей стоимости системы использована не экранированная проводная линия связи);
- обрыв линии связи или выход из строя одного или нескольких счётчиков.

Борьба с ошибками первого типа возможна путём повторения запроса, на которые получен ответный пакет с признаками нарушения целостности. Моменты возникновения электромагнитных помех случайны, поэтому повторение запроса, как правило, приводит к успешному получению ответа.

Отсутствие ответа при неоднократных запросах говорит о наличии ошибок передачи данных второго типа. Эта ситуация требует вмешательства человека для проверки исправности сети счётчиков.

В связи с этим, для центрального узла предусмотрен специальный режим работы: режим тестирования сети. После включения этого режима на дисплей центрального узла выводятся адреса (номера) тех счётчиков, которые не реагируют на запрос о предоставлении информации.

В случае успешного получения данных от всех счётчиков центральный узел, на основе введённой в него информации о расположении помещений и счётчиков, рассчитывает распределение людей по зданию. В описанной здесь экспериментальной системе рассчитанное количество людей выводится в реальном времени на цифровой дисплей центрального узла.

### Заключение

Натурные испытания описанной системы в минимальном варианте (два счётчика и один центральный узел) показали её работоспособность и достаточную надёжность. Полученная в экспериментах относительная погрешность счёта людей составляет менее одного процента и связана с общими ограничениями двухлучевого метода счёта.

### Список литературы

1. А.М. Сивков. Двухлучевой счётчик посетителей. // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2017, № 11, С. 63-71.
2. А.М. Сивков. Протокол последовательной передачи данных. // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2018, № 12, С. 45-47.
3. А.М. Сивков, А.Н. Семакина. Об электрической схеме подключения сенсора инфракрасных лучей. // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2018, № 12, С. 53-55.
4. А.М. Сивков, Д.А. Пухова. О влиянии солнечного света на инфракрасный сенсор. // Безопасность в техносфере, Ижевск, 2018, № 12, С. 56-57.

# FINDING DISTRIBUTION OF PEOPLE IN A BUILDING

*A.M. Sivkov*

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

*The article describes the electronic real-time system developed by the author for finding the distribution of people in a building.*

Keywords: dynamic evacuation management, distribution of people in a building, horizontal counter on infrared rays, recognition of abstract images of movement.

УДК 004.94 (031)

## РАЗВИТИЕ ВЕБ-СЕРВИСА ОЦЕНКИ РИСКА: ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ I-II КЛАССОВ ОПАСНОСТИ

*А.Н. Александрович*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *Aleksandrovich.AN@mail.ru*

*В статье описываются технологии «цифровых двойников» и предлагаются возможные решения проблем в области техносферной безопасности. Дается определение концепции представления результатов виртуализации «цифровых двойников» критически важных и опасных объектов в реальном времени посредством веб-сервисов прогнозирования последствий аварий и оценки рисков.*

**Ключевые слова:** Облачный сервис, оценка рисков, техносферная безопасность, Цифровой двойник, Интернет вещей, отходы I-II классов опасности, Умный город.

В процессе реализации проекта «Облачного сервиса оценки рисков ЧС и устойчивости для территорий и хозяйствующих субъектов» специалисты, работающие в области оценки рисков и создания паспортов безопасности техногенных объектов и нормативных документов, получили единый веб-инструмент, позволяющий провести в режиме онлайн оценку опасности техногенного объекта, выявляя масштаб возможной типовой аварии (огненный шар, взрыв КВВ, сгорание воздушных смесей в помещении, пожар пролива, пожар-вспышка, струйное горение) [1]. Также с помощью картографического интерфейса возможно выполнить построение интерактивной «карты безопасности» на карте местности (изолиний потенциального риска и сравнительной карты коллективного риска) [2] (<http://rintd.ru> и <http://beta.risktools.ru>). Такие работы по прогнозированию последствий аварий в течение последних 15-ти лет проводились для различного типа критически важных и опасных объектов, в том числе на заводе по уничтожению химического оружия (УХО) в Камбарке [3], где была апробирована и внедрена

система оповещения руководителей служб, групп быстрого реагирования и населения о потенциальной или реальной опасности с использованием ситуационных моделей и сценариев, Web-сервисов и SMS-сообщений [4].

Результатами проведения комплексных расчётов с использованием облачных сервисов в области оценки рисков и прогнозирования последствий аварий на потенциально опасных техногенных объектах являются: таблицы с результатами расчётов, план-схема размещения опасного объекта на карте, потенциальный риск на карте, зоны поражения человека на карте, величина коллективного риска на объекте и т.п. При этом за последние годы в связи с тотальной цифровизацией государственных организаций и промышленных предприятий наметился качественный скачок в расширении, развитии и применении таких технологий.

Концепция «цифровых двойников» как виртуального представления физического объекта используется уже более 30 лет, в том числе в области техносферной безопасности. «Цифровые двойники» начинают использовать большие и малые предприятия и организации различных отраслей. По мере того, как данная тенденция набирает силу, многие эксперты пытаются определить, разработка и внедрение каких методологий и техник проектирования потенциально обеспечат достижение наилучших результатов в обеспечении безопасности объектов цифровизации, цифровой трансформации. Актуальными становятся исследования в области создания «цифровых двойников» (Digital Twin, DT, ЦД) – цифровых виртуальных моделей физических объектов или процессов в реальном времени, которые используются в оптимизированных процессах моделируемых объектов [5]. При этом у «цифрового двойника» всегда должен быть свой реально существующий и работающий физический «родственник», который должен каким-то образом передавать ЦД данные посредством определенного набора датчиков и сенсоров, используя платформы Промышленного или Социального Интернета Вещей (Industrial Internet of Things, IIoT, ПИВ; Social Internet of Things, SIIoT, СИВ).

В случае, если платформа ПИВ (или СИВ) не может дать достаточной информации при эксплуатации сложных объектов, то в работу вступает мультифизическая симуляция. Из платформы ИВ агрегированные Большие данные (Big Data) из облачного



репозитория попадают в виртуальную реплику объекта, симулирующую физические или физико-химические процессы, происходящие в реальном объекте. Так открываются новые перспективы и возможности для фиксации поведения реального «родственника» и выполнения различных операций (поиск причин и проблем, реализация сценариев, установка дополнительных виртуальных датчиков и сенсоров, и т.п.).

ЦД могут разрабатываться с различной целевой направленностью, например:

- киберфизические системы (Cyber-Physical-System, CPS), состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, представляющие такое образование как единое целое и обеспечивающие тесную связь и координацию между вычислительными и физическими ресурсами;
- социальные киберфизические системы (Cyber-Physical-Social Systems, CPSS), объединяющие физический, кибернетический и социальный миры и обеспечивающие взаимодействие между ними в реальном времени [6].

Множественные направления (тренды) цифровой трансформации и развития предприятий и организаций в случае гражданских задач (в отличие от военных), необходимость в надёжной коммуникации и удалённых вычислениях в последнее время привели к многочисленным обсуждениям, вопросам и «хайпу» вокруг «Умных» устройств и приложений, промышленных и социальных платформ, Интернета вещей, Интернета людей и Интернета сервисов, диалоговых систем и систем погружения/присутствия, виртуальной и дополненной реальности, нейронных сетей (Neural Networks) и сетей 5G, Блокчейн и систем оценки доверия, искусственного интеллекта и машинного обучения, Больших данных и облачных вычислений, автономных и роботизированных объектов в сочетании с «Цифровыми двойниками».

Для гражданских, социальных задач очень важно, чтобы интернет вещей мог обмениваться данными с датчиков и результатами ЦД встроенной системы объекта. Методики машинного обучения

(Искусственного интеллекта, ИИ) помогут самостоятельно принимать решения о запросе или обновлении подсистем, чтобы ЦД и физический объект или процесс оставались синхронизованными, а облачные вычисления в практической реализации решения уравнений модели, фильтрации, хранения и обработки измеренных и исторических данных, запросов различных систем и подсистем в зависимости от команд пользователя или ИИ [7].

Эксперты отмечают, что ЦД объекта должен позволить смоделировать ситуации с учётом различных факторов: от расположения помещений и оборудования, перемещения сотрудников и посетителей, проведения технологических операций и социальных мероприятий до реакции датчиков и сенсоров на изменение параметров погоды или какие-либо чрезвычайные ситуации. Подобные модели влияния ЦД зависят от типа объекта и задач заказчика.

Для построения комплексной модели ЦД используются некоторые виды численных методов моделирования физических процессов в объекте, что помогает прогнозировать реакцию объекта на эксплуатационные показатели, анализ и выявление наиболее критических элементов моделируемых процессов, например, с помощью:

- FEA-модели (Finite Element Analysis, метод конечных элементов) – анализ поведения сложных систем путём разбиения их на множество элементов (подсистем), достаточно малых, чтобы рассматривать их свойства как однородные;
- CAD-модели (Computer-Aided Design/Drafting, средства автоматизированного проектирования) – представление информации о структуре объектов, процессах, внешнем виде, материалах, размерах и других параметрах;
- FMEA-модели (Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов) – проведение анализа математических моделей отказа и надёжности систем со статистической базой данных [8].

Некоторые эксперты выделяют несколько типов ЦД:

- ЦД-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP) виртуальный аналог имеющегося в реальности физического объекта,

который включает в себя данные для описания модели, в том числе информацию по его созданию в реальности (3D-модель объекта, описание технологических процессов и услуг, требования к производству и утилизации);

- ЦД-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI) данные по описанию физического объекта в разные периоды времени, содержащие аннотированную 3D-модель, данные о материалах и компонентах, о процессах и операциях, итоги тестов и ремонтов, параметры мониторинга и данные с датчиков и сенсоров;
- Агрегированные ЦД (Digital Twin Aggregate, DTA) – единая система, объединяющая реальные прототипы и ЦД и позволяющая собирать и обмениваться данными [9].

В последнее время особо актуальна перспективная проблема безопасности ЦД в связи с использованием не только для прототипирования или моделирования критически важных и больших объектов, как в ходе их разработки, так и для изменения параметров эффективности в процессе эксплуатации во многих областях применения. В критически важных сферах применения (например, отрасли безопасности и энергетики) создание и применение моделей и ЦД требует особого контроля. Также, появление ЦД приводит к появлению нового вида угроз типа адекватности цифровой модели [10]. Так, например, вероятной версией неудачного запуска ракеты может быть ошибка в модели взлета, рассчитанной без учёта изменения одного из параметров погодных условий.

Внедрение комплексных цифровых решений к цифровой трансформации в сфере городского управления, инфраструктуры и ЖКХ проводится в агрегированных системах «Цифровой двойник города» (ЦДГ, «Умный город»). Они представляют собой комплексную аналитическую геоинформационную платформу (3D-копия), построенную по модульному принципу, которая в будущем может стать главным инструментом эффективного управления социально-экономическим и территориальным развитием города, а также поможет спрогнозировать рост населения, учесть его будущие потребности. На основании предиктивной аналитики ЦДГ позволит

определить оптимальные модели строительства, создания и оптимизации социальной и транспортной инфраструктуры, отведения и переработки мусора и отходов жизнедеятельности, прогнозирования влияния различных факторов на состояние городских жителей, выявления и прогнозирования возникновения ЧС и оценки рисков. Например, дальнейшее развитие, сформулированное в городской стратегии Москвы «Умный город 2030» [11], предусматривает решение задач, соответствующих утвержденным в начале 2019 года Минстроем России стандартом цифровизации городского хозяйства [12].

Приоритетным направлением в настоящее время является цифровизация объектов, создаваемых в рамках национального проекта «Экология». В 2019 году Правительством России принято Постановление [13] о перепрофилировании объектов по УХО в производственно-технические комплексы по утилизации отходов I и II класса опасности (чрезвычайно опасные и высокоопасные отходы). На территории России до 2023 года планируется создать несколько таких комплексов: «Щучье» (город Щучье, Курганская область), «Горный» (посёлок Горный, Саратовская область) и «Марадыковский» (посёлок Мирный, Кировская область) [14]. Также данные мероприятия будут проводиться на бывшем заводе по УХО «Камбарка» в Удмуртии. Для обеспечения безопасности населения города Камбарка и окружающей среды региона необходимо осуществить разработку и создание «цифрового двойника» данного объекта с прилегающими к нему территориями.

Таким образом, можно определить перечень основных мероприятий и концепцию развития веб-сервисов прогнозирования последствий аварий и оценки рисков, в том числе на производственно-технических комплексах по утилизации отходов I и II класса опасности, с использованием технологий создания «цифровых двойников»:

- разработка «цифровизатора» N-мерного пространства характеристик и параметров «обитания» объекта;
- подготовка объектов (3D-копий) на основе комплексной аналитической геоинформационной платформы;

- использование Интернет вещей объекта и подключение реальных датчиков и сенсоров обратной связи, установленных на объекте;
- сбор, формирование, распределение и агрегация Больших данных объекта;
- разработка библиотеки моделей, алгоритмов и сценариев;
- подключение технологий и систем искусственного интеллекта и нейронных сетей для подготовки результатов прогнозирования последствий аварий и оценки рисков;
- использование возможностей виртуальной и дополненной реальности для визуализации «цифрового двойника», реальных и прогнозируемых процессов, происходящих на объекте;
- выбор адекватных систем обеспечения безопасности «цифрового двойника».

### Список литературы

1. Галиуллин М.Э., Анашин В.О., Радикова А.В. Проект «Облачного сервиса оценки рисков ЧС и устойчивости территорий и хозяйствующих субъектов» // Безопасность в техносфере. Ижевск: Институт компьютерных исследований, – 2017. №11. С. 96-120.
2. Галиуллин М.Э. Картографическая подсистема веб-сервиса оценки риска на техногенных объектах // Безопасность в техносфере. Ижевск: Институт компьютерных исследований, – 2018. №12. С. 68-82.
3. Прогнозирование последствий аварий на объектах уничтожения химического оружия / под ред. В. М. Колодкина, В.А. Леонова. Изд-во. Российский Зелёный Крест. Институт исследования катастроф, Ижевск, 2006, 42 с.
4. Александрович А.Н. Системы оповещения населения с использованием Web-сервисов и SMS-сообщений // Безопасность в техносфере: материалы Всерос. конф. «Безопасность в техносфере» и конф.-презентации «Высокопроизводител. WEB-сервис прогнозирования последствий аварий и оценки рисков»

- / Удмурт. регион. отд-ние Общерос. обществ. орг. "Рос. науч. о-во анализа риска ГОУВПО «Удмурт. гос. ун-т», Учеб.-науч. ин-т природ. и техноген. катастроф. – Ижевск: Изд-во УдГУ, 2008. Вып. 4. С. 104-120.
5. Цифровой двойник, Интернет вещей, Большие данные // Википедия: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Дата обращения: 28.08.2019).
  6. Гончаров А.С., Саклаков В.М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии. Статья в сборнике трудов Всероссийской научно-практической конференции. elibrary.ru (2018). (Дата обращения: 28.08.2019).
  7. Ed Fontes. Цифровые двойники: не просто модный тренд. Блог COMSOL. 19.02.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/digital-twins-not-just-hype/> (Дата обращения: 28.08.2019).
  8. Ирина Пешкова. Как цифровые двойники помогают российской промышленности. 26.03.2019, Rusbase. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (Дата обращения: 28.08.2019).
  9. Виктор Потехин. Цифровой двойник (Информация и связь, Прорывные технологии). 02.03.2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://втораяиндустриализация.рф/tsifrovoe-dvoynik/> (Дата обращения: 28.08.2019).
  10. Правиков Д.И. «Цифровые двойники» как новый объект защиты в условиях формирования цифровой экономики. (Дата публикации: 15.06.2018) Материал доклада на V научно-практической конференции «Стратегическое управление в сфере национальной безопасности России: оптимальные сценарии преодоления вызовов и угроз», РАНХиГС, 24.05.2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://csef.ru/ru/nauka-i-obshchestvo/445/czifrovye-dvojniki-kak-novyy-obekt-zashhity-v-usloviyah-formirovaniya-czifrovoj-ekonomiki-8520> (Дата обращения: 15.09.2019).
  11. Концепция развития Москвы «Умный город 2030». 2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://static.ict.moscow/static/strategy/stage5/Concept.pdf> (Дата обращения: 15.09.2019).

12. Базовые и дополнительные требования к умным городам (стандарт «Умный город»). Минстрой России. 04.03.2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/docs/18039/> (Дата обращения: 15.09.2019).
13. Правительство Российской Федерации Постановление от 30.04.2019 № 540 Об осуществлении бюджетных инвестиций за счет средств федерального бюджета в объекты капитального строительства в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I-II классов опасности» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://government.ru/news/36577/> (Дата обращения: 15.09.2019).
14. Михаил Красильников. Камбарка переходит на другой класс опасности. «Коммерсантъ – Удмуртия-Online» от 05.06.2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3991982> (Дата обращения: 15.09.2019).

## **DEVELOPMENT OF RISK ASSESSMENT WEB-SERVICE: DIGITAL TWIN OF WASTE RECYCLING ENTERPRISE OF I-II HAZARD CLASSES**

*A.N. Aleksandrovich*

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

*The article describes the technology of "digital twins" and offers possible solutions to problems in the field of technosphere safety. The definition of the concept of presentation of the results of virtualization of "digital twins" of critical and dangerous objects in real time by means of web-services of forecasting of consequences of accidents and risk assessment is given.*

Keywords: Cloud service, risk assessment, technosphere security, Digital Twin, Internet of things, waste I-II hazard classes, Smart city.

УДК 004.942

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА УСТРОЙСТВ СВЯЗИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

Д.Е. Ушаков

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.

e-mail: [sleepinthewater@gmail.com](mailto:sleepinthewater@gmail.com)

*В статье рассматриваются критерии выбора устройств для создания систем оповещения и управления эвакуацией. Приводится пример выбранной конфигурации и пример программы для ЭВМ, реализующей алгоритм расстановки простой системы в здании.*

**Ключевые слова:** Интернет вещей, управление эвакуацией, эффективность управления, программно-аппаратный комплекс, микроконтроллеры

### Введение

Современный темп жизни диктует свои правила не только в хозяйственной деятельности, но и во всех отраслях жизни человека. Массовая урбанизация влечет за собой не только рост числа населения, но и изменение конструктивных особенностей всех зданий обслуживающих этих людей: здания становятся больше, проекты сложнее, но их системы оповещения и управления эвакуацией остаются прежними, по ГОСТ. Всё это побудило к разработке систем оповещения нового поколения, разработке требований к таким системам [1] и их реализация. Стоит отметить, что важную роль в этом направлении сыграло развитие микроконтроллеров, а также создание новых концепций, в частности концепции Интернета вещей в области систем мониторинга среды [2, 3]. Всё это дало толчок развитию системам нового поколения, реализующих новые концепции, принципы мониторинга среды и управления эвакуацией.

**Критерии выбора узлов системы с различными радиоузлами**



Для систем таких масштабов существует много нюансов, но на первый план выходят несколько критериев:

- 1 Надежность передачи по радиоканалу
- 2 Скорость передачи
- 3 Время работы системы до следующего обслуживания
- 4 Стоимость
- 5 Масштабируемость

### Математическая модель. Теория. Уравнение Фрииса

Самым главным критерием является надежность всей системы. Для решения этой задачи стоит исследовать радиоканал для каждого из модулей. Математической моделью для расчета расстояния в радиосвязи в общем случае берётся по уравнению Фрииса:

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad , \quad (1)$$

где  $P_R$  — мощность, полученная от приемной антенны;  $P_T$  — мощность, подаваемая на передающую антенну;  $G_R$  — коэффициент усиления приемной антенны;  $G_T$  — коэффициент усиления передающей антенны;  $d$  — расстояние;  $c$  — скорость света в вакууме  $= 299,972458 \cdot 10^6$  м/с;  $f$  — частота передачи;  $\lambda$  — длина волны,  $\lambda = c/f$ ;

Формула 1 описывает уровень сигнала в приемнике ( $P_R$ ) относительно выходной мощности передатчика  $P_T$ , расстояния  $d$ , частоты  $\lambda$  и коэффициентов усиления антенн  $G_T$  и  $G_R$ . На рисунке 1 изображен пример для сетей 2,4 ГГц и 5 ГГц теоретического затухания от расстояния:

Для более точной оценки расстояния внутри здания необходимо учитывать характеристики различных строительных материалов, которые ослабляют уровень сигнала. В таблице 1 представлены наиболее часто встречаемые материалы и их типичное ослабление уровня сигнала.

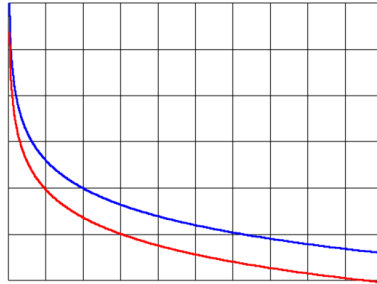


Рисунок 1 — Пример ослабление уровня сигнала от расстояния для сетей 2,4 ГГц (красный) и 5 ГГц (синий) по формуле Фрииса

Таблица 1 — Типичное ослабление для различных строительных материалов

| Строительный материал | Толщина, мм | Ослабление при частоте 500 МГц, дБ | Ослабление пи частоте 1 ГГц, дБ | Ослабление пи частоте 2,4 ГГц, дБ |
|-----------------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Прямая видимость      | 0           | 0                                  | 0                               | 0                                 |
| Кирпич                | 120         | 3,5                                | 5,5                             | 7,5                               |
| Бетон                 | 200         | 21                                 | 25                              | 32                                |
| Гипсокартон           | 12          | 0,1                                | 0,3                             | 0,6                               |
| Стекло                | 12          | 1,2                                | 2,2                             | 3,4                               |
| Железобетон           | 100         | 23                                 | 27                              | 31                                |
| Дерево (фанера)       | 9           | 1,5                                | 3                               | 4,7                               |

Связь достигается за счет передачи энергии сигнала от передатчика до приемника. Энергия полученного сигнала должна быть достаточной, чтобы отличить требуемый сигнал от всегда присутствующего шума. Это требование определяется как необходимое отношение «сигнал-шум». В спецификациях приемника иногда задается отношение  $S/N$ , при котором обеспечивается нормальный прием сигнала, однако чаще чувствительность определяется как абсолютный уровень в дБм (отрицательная величина) и обозначается как RSSI (от англ. received signal strength indicator – показатель уровня принимаемого сигнала) Измеряется приёмником

по логарифмической шкале в дБм (dBm, децибел относительно 1 милливатта).

### Практическое исследование и сравнение результатов

Для выбора основной аппаратной части большинства устройств программно-аппаратного комплекса требуется провести исследования среди выбранных модулей связи. Следует определиться с архитектурой разрабатываемой системы так, чтобы она соответствовала всем требованиям предъявленным для системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) в концепции «Интернета вещей». Для реализации системы были выбраны модули связи на базе микроконтроллера ATmega128RFA1 [4] с радиомодулем RFA1, радио модуль NRF m24L01 [5] на базе микроконтроллеров семейства STM32, а так же радиомодуль LoRa [6]. Два первых модуля работают на частоте 2.4 ГГц. LoRa умеет работать в двух режимах в диапазонах частот 433 МГц и 868 МГц, с разной разрешенной мощностью, не требующих сертификации.

Для фиксирования уровня сигнала были собран экспериментальные стенды, позволяющие использовать различные радиомодули, без перестроения всего стенда изображенный на рисунке 2

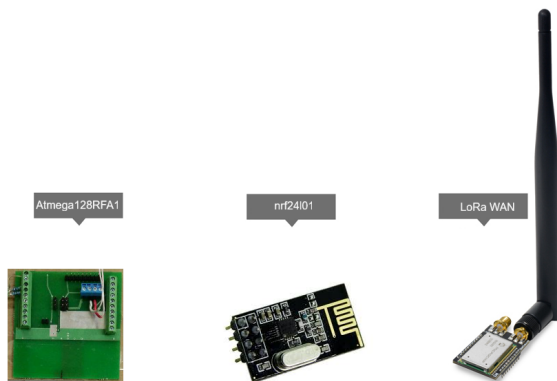


Рисунок 2 — Пример устройств тестового стенда

Каждый пакет, формируемый сервером, подписывается его порядковым номером, длиной пакета и временем отправки. Все пакеты доставляются до приемника, и возвращаются на сервер для фиксации времени. Также на приемнике и сервере установлены счетчики потерянных пакетов, где сумма пропущенных считается из номера пакета.

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 от взаимного расположения антенн узлов в пространстве на уровень сигнала. Исследования представлены в статье [7].

Радиомодуль LoRa имеет два режима работы: с частотой 433 МГц и 868 МГц. Теоретическое расстояние заявленное производителем для передачи в зоне прямой видимости более 5 км. В здании этот показатель изменяется в соответствии с формулой передачи Фрииса. Однако, LoRa имеет режим восстановления пакетов, путем отправки избыточной информации по нескольким каналам. Такой режим уменьшает время передачи информации, но гарантирует стабильность работы. [8]

Все тесты радиомодулей LoRa в здании показали, что для типового здания расстояние передачи с качественным уровнем сигнала превышает его размеры. Стоимость этих устройств и качество передачи позволяют устанавливать их исходя из полного покрытия и минимизации количества устройств и максимизации качества передачи смежных узлов LoRa-NRF.

Важно отметить, что все радиомодули показали себя подходящими для работы в данной системе. Адресное управление, достаточное расстояние для передачи данных, масштабируемость сети, наличие шифрования. В таблице 2 представлены определяющие характеристики для на выбор радиомодулей в конкретной системе.

Таблица 2 — Сводная таблица определяющих характеристик для выбора

| Радиомодуль | Расстояние,<br>м                           | Количество узлов<br>подсети, шт. | Шифрование                        | Цена за единицу, руб. | Комментарии                                        |
|-------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|
| RFA1        | 4-6                                        | 65535                            | AES-256                           | 600-1000              | Более не производятся                              |
| NRF m24L01  | 6-8                                        | Не ограничено                    | Любое                             | 3-200                 | Требуется стабилизация по питанию                  |
| LoRa        | > 1000 в здании, > 4000 в прямой видимости | 65535 на каждый и 6 каналов      | AES-256 по умолчанию, можно любое | 300-900               | При определенных настройках требуется сертификация |

Важным критерием при выборе является и то, сколько времени каждый узел способен проработать в режиме ожидания, а также режиме передачи в условиях ЧС от одного элемента питания. Радиомодули позволяют работать в четырёх режимах:

- 1 Ожидание – максимальное потребление, модуль полностью активирован и находится в режиме ожидания получения или передачи информации.
- 2 Сон – минимальное потребление, когда модуль сконфигурирован, но ожидает сигнала от контроллера на передачу, либо входящий сигнал для перехода в режим получения пакетов.
- 3 RX – средний расход, режим исключительно получения пакетов.
- 4 TX – режим исключительно отправки пакетов.

Каждый из таких режимов управляется с микроконтроллера, что позволяет минимизировать потребление энергии, а также увеличивать время работы. Так разница между самым минимальным режимом потребления (сон) до самого ёмкого режима (отправка TX) от 250 нА до 20 мА. Таким образом при стандартном элементе питания около 250 мА система способна проработать в режиме оповещения ЧС и передачи информации до 6 часов, что достаточно для обеспечения информацией на протяжении всего процесса.

В результате были выбраны радиомодули LoRa для передачи информации на большие расстояния, NRF для передачи информации внутри комнаты и передачи информации на транспортный уровень. Сеть формируется двумя уровнями: сенсорный – обеспечивает рефлексирование системы и её мониторинг, узлы построены на базе радиомодуля NRF, что позволяет снизить стоимость и увеличить скорость передачи информации внутри уровня; транспортный – обеспечивает связь между частями здания, этажами, и расчетными модулями всей системы, радиомодуль LoRa. Это позволяет конструировать сети любых размеров с большим потоком данных, адресная структура позволяет быстро находить неисправный узел, или точно определять место происхождения. Установка узлов системы производится путём расстановки их по плану здания, который находится

на планшетном компьютере мастера. Для формирования списка минимального комплекта устройств для здания была разработана программа для ЭВМ с номером заявки №2019612148. Программа позволяет быстро формировать список необходимых узлов с учетом пространственно-информационной модели здания [9], а также сокращает время монтирования при переносе плана на носимое устройство, такие как планшетный компьютер.

### Заключение

Стоит отметить, что определенные в статье критерии для оценки и узлы системы не являются конечным результатом исследования. Выбранные радиомодули являются лишь частью СОУЭ, разработанной под конкретные задачи. Они позволяют масштабировать систему, реализовывать новый функционал, но развитие технологий не стоит на месте. Необходимо постоянно совершенствовать каждый из узлов СОУЭ и программу ввода и расчета системы в здании. Для этого будут проводиться дополнительные исследования.

### Список литературы

1. Колодкин В. М., Ушаков Д. Е. Повышение эффективности системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в здании // Безопасность в техносфере. – 2018. – № 12 С. 7-19.
2. Kevin Ashton. That «Internet of Things» Thing. In the real world, things matter more than ideas // RFID Journal, 22 June 2009
3. В.К. Сарьян, Н.А. Сущенко, И.А. Дубнов, А.С. Лутохин. Прошлое, настоящее и будущее стандартизации Интернета вещей / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://niir.ru/news/zhurnal-trudyniir/articles/proshloe-nastoyashhee-i-budushhee-standartizaciiinterneta-veshhej/> (Доступен на 20.06.2019).
4. Microcontroller ATmega128RFA1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.atmel.com/devices/atmega128rfal.aspx> (дата обращения: 20.06.2019).

5. NRF m24L01 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.sparkfun.com/datasheets/RF/nRF2401rev1\\_1.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/RF/nRF2401rev1_1.pdf) (дата обращения: 20.06.2019).
6. LoRa Module Series. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://en.four-faith.com/f8110d-lora-module.html> (дата обращения: 16.01.2019)
7. Ушаков Д.Е., Чирков Б.В. Исследование ограничений расстановки беспроводных узлов на базе микроконтроллера ATmega128RFA1 // Безопасность в техносфере. – 2018. – № 12 С. 49-53.
8. LoRa Module Series. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf> (дата обращения: 16.01.2019)
9. 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.

## **SPECIAL CONSIDERATIONS FOR SELECTING THE COMMUNICATION SOLUTIONS FOR DESIGNING WIRELESS FIRE ALERT AND EVACUATION MANAGEMENT SYSTEMS**

*D.E. Ushakov*

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

*The article treats with the criteria for selecting the devices to be used in the fire alert and evacuation management systems. An example of suggested configuration is provided, as well as an example of a computer program executing the algorithm of designing a simple system in a building.*

**Keywords:** Internet of Things, evacuation management, management efficiency, software and hardware, microcontrollers.



УДК 519.688, 519.711.2, 614.84

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМАНД ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

*Б.В. Чирков, П.С. Евстафьева, К.С. Буторина*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

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

*Работа посвящена описанию модели движения людского потока в здании при пожаре, которая применяется в системе адаптивного управления эвакуацией. Особенностью системы является минимизация длительности эвакуации людей по безопасным путям. Представлен формализованный алгоритм поиска кратчайших по времени безопасных путей от каждого помещения до безопасной зоны.*

**Ключевые слова:** эвакуация, управление эвакуацией, модель движения, модель эвакуации, проектирование путей, эвакуация при пожаре, моделирование эвакуации, управляемая эвакуация, система управления эвакуацией, динамическое управление эвакуацией, адаптивная эвакуация.

### Введение

Один из наиболее эффективных способов сохранения жизни и здоровья людей при пожаре в здании — эвакуация. Эвакуация проводится как в случае реальной угрозы жизни посетителей здания, так и мнимой или устраненной. Во время эвакуации люди принимают решение о направлении движения под влиянием множества воздействий. С одной стороны, люди стремятся покинуть здание, с другой — например, пожар в здании может создать преграды в виде областей, в которых пребывание людей сопряжено с риском для их жизни и здоровья. Но эвакуация будет проведена по той или иной причине.

В настоящее время задача управления людскими потоками в здании при пожаре решается с помощью системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Тот или иной комплекс технических средств СОУЭ присутствует во всех общественных

зданиях. Однако в ряде случаев, особенно для общественных зданий со сложными объемно-планировочными решениями, СОУЭ оказывается недостаточно эффективной, что приводит к гибели людей при пожарах.

Основной причиной недостаточной эффективности является несоответствие сложности объемно-планировочных решений здания и возможностей СОУЭ. Имеющиеся системы в большинстве своем статичны, а некоторая динамичность достигается участием человека — лица принимающего решение (ЛПР). Контроль и возможность вмешаться в работу СОУЭ необходимы, но в большинстве случаев эвакуацией сможет управлять автомат.

Причина несоответствия обусловлена тем, что во время проектирования здания не учтены результаты моделирования эвакуации для конкретного объекта. Здания со сложными объемно-планировочными решениями требуют нового подхода при проектировании. Он предусматривает компьютерное моделирование различных вариантов развития процесса эвакуации, анализ результатов и последующее проектирование объемно-планировочных решений и систем обеспечения безопасности в здании.

Для разработка научных основ создания и совершенствования системы динамического управления эвакуацией, необходимо исследовать проблемы управления в режиме реального времени и рассмотреть комплекс технических средств оповещения и управления эвакуацией как техническую систему.

Разрешение проблемной ситуации, заключающейся в недостаточной эффективности системы, приводящей, в некоторых случаях, к гибели людей, основано на учете внешних по отношению к технической системе оповещения и управления эвакуацией воздействий: динамике распространения продуктов горения при пожаре; динамике движения людей в горящем здании и т. д.

Таким образом, несоответствие сложности объемно-планировочных решений здания и возможностей СОУЭ обусловило актуальность задачи разработки научных основ совершенствования методологии проектирования и системы оповещения и управления эвакуацией.

Цель данной работы заключает в представлении формализованной модели движения людского потока в здании при пожаре, которая используется в системе адаптивного управления эвакуацией

[2] для определения кратчайших по времени безопасных путей эвакуации в режиме реального времени.

### Описание модели

Модель является частью системы и предназначена для подготовки данных перед формированием управляющих команд. Она не предназначена для выяснения поведения людей и их выбора путей во время эвакуации, ее задача выделить из множества всех возможных путей в здании такие, которые обеспечат безопасность и минимум времени достижения эвакуационных выходов. Модель динамически определяет пути, а в соответствии с ними формируются команды, которые доводятся до людей в здании посредством световых и звуковых оповещателей.

Для поиска кратчайшего по времени безопасного пути эвакуации в каждый момент времени необходимо определять скорость и направление движения из каждой комнаты, а также состояние среды в ней.

Состояние среды определяется системой мониторинга опасных факторов пожара. Ввиду неполноты исследования влияния опасных факторов на скорость и направление движения людей в модели принято два состояния каждого помещения: заблокировано, т. е. опасно для людей по какому-то из факторов; не заблокировано, т. е. ни один из параметров опасных факторов пожара не достиг предельного значения. С момента изменения состояния помещения на «заблокировано», в него не могут зайти люди, но выход возможен через все доступные выходы. Таким образом, заблокированные помещения являются препятствиями.

Люди рассматриваются как сплошной однородный поток. Для определения скорости людского потока используется экспериментально установленная зависимость скорости от количества людей в ближайшем окружении, т. е. плотности [3]. По данной зависимости можно определить скорость движения людского потока на различных участках: горизонтальный, проем, лестница вверх, лестница вниз.

В процессе моделирования выделяются два типа помещений: принимающие и отдающие. Принимающее помещение, то, в которое движутся люди, отдающее — то, которое покидают люди.

Для определения скорости движения потока по горизонтальному пути —  $V_R$ , используется следующее правило (1):

$$V_R(d) = \begin{cases} V_0 \cdot \left(1 - a \ln\left(\frac{d}{d_0}\right)\right), & \text{если } d > d_0, \\ V_0, & \text{если } d \leq d_0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_0$  — величина скорости свободного движения, м/мин;  $a$  — коэффициент, определяющий степень влияния плотности потока по  $j$ -му виду пути;  $d$  — плотность людского потока на участке, чел/м<sup>2</sup>;  $d_0$  — пороговое значение плотности людского потока на участке, чел/м<sup>2</sup>.

Скорость движения потока через проем  $V_T$  определяется правилом (2):

$$V_T(d, W_T) = \begin{cases} 10 \cdot (2.5 + 3.75 \cdot W_T) / d_0, & \text{если } d \geq 9, W_T < 1.6 \\ V_0 \cdot \left(1 - a \ln\left(\frac{d}{d_0}\right)\right) \cdot m(d), & \text{если } d > d_0 \\ V_0, & \text{если } d \leq d_0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $W_T$  — ширина проема, м;  $m$  — коэффициент замедления движения в проеме. Коэффициент замедления  $m$  определяется по правилу (3):

$$m(d) = \begin{cases} 1, & \text{если } d < 5 \\ 1.25 - 0.05 \cdot d, & \text{если } d \geq 5 \end{cases}. \quad (3)$$

Скорость потока при движении по лестнице —  $V_S$ , определяется в зависимости от направления движения по лестнице:

$$V_S(d, t) = \begin{cases} V_0(t) \cdot \left(1 - a(t) \ln\left(\frac{d}{d_0(t)}\right)\right), & \text{если } d > d_0(t) \\ V_0, & \text{если } d \leq d_0(t) \end{cases}, \quad (4)$$

где  $t$  — направление движения.

В таблице 1 приведены числовые значения коэффициентов, которые использованы при определении скорости в зависимости от вида пути.

Таблица 1 — Значения коэффициентов  $V_0$ ,  $a$  и  $d_0$  в зависимости от вида пути

| Вид пути                    | $V_0$ , м/мин | $a$   | $d_0$ , чел/м <sup>2</sup> |
|-----------------------------|---------------|-------|----------------------------|
| Горизонтальный              | 100           | 0.295 | 0.51                       |
| Проем                       | 100           | 0.295 | 0.65                       |
| Наклонный вверх ( $t > 0$ ) | 50            | 0.305 | 0.67                       |
| Наклонный вниз ( $t < 0$ )  | 80            | 0.400 | 0.89                       |

Определив скорость на каждом участке, можно определить количество людей, которое покинет участок за один шаг по времени (такт) —  $\Delta N$ . Для этого необходимо вычислить количество людей, которые могут покинуть помещение за один такт — временной интервал  $\tau$ :

$$\Delta n = P \cdot \tau, \quad (5)$$

где  $\Delta n$  — количество людей, которые могут покинуть помещение, чел.;  $P$  — величина людского потока через проем шириной  $b$ , чел./мин,

Временной интервал должен удовлетворять условию  $\tau \leq \frac{\sqrt{S_{min}}}{V_0} \cdot 0.1$ , мин ( $S_{min}$  — минимальная площадь помещения в здании, м<sup>2</sup>). При этом  $\tau$  для каждого здания будет отличаться, но будет обеспечена стабильность вычислений, т. е. за один шаг люди не смогут освободить помещение. Интервал допускается задать вручную не нарушая условие. Малое значение ( $\tau < 0.001$  мин.) приводит к увеличению количества шагов и, как следствие, времени моделирования.

Вычисление величины людского потока осуществляется по следующему выражению:

$$P = d \cdot V_E \cdot b(d), \quad (6)$$

где  $b(d)$  — ширина используемого эвакуационного проема, которая зависит от количества оставшихся в помещении людей, м.

Определяется по следующему правилу (7):

$$b(d) = \begin{cases} W_T, & \text{если } d > d_{min}, \\ \sqrt{S}, & \text{если } d \leq d_{min}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $d_{min}$  — минимальная плотность людского потока на участке, чел/м<sup>2</sup> (определяется как  $d_{min} = \frac{1}{S}$ , т. е. плотность при размещении одного человека в помещении);  $S$  — площадь помещения, из которого выходит поток, м<sup>2</sup>.

Если текущая плотность ( $d$ ) в помещении превышает минимальное значение для помещения ( $d_{min}$ ), то ширина выхода из помещения принимается согласно введенным значениям. В противном случае ширина выхода принимает значение характерного размера помещения. Приведенное допущение требуется для мгновенного освобождения помещения, если в нем осталась малая часть потока. Оно является следствием необходимости работы по упрощенной модели здания для обеспечения режима реального времени.

После определения ширины проема, через который будет двигаться людской поток, вычисляется скорость его выхода из помещения ( $V_E$ ) как минимальное значение из скорости движения через дверной проем и скорости движения по горизонтальному или наклонному участку пути:

$$V_E = \min(V_T, (V_R \text{ или } V_S)). \quad (8)$$

В большинстве случаев  $V_E$  принимает значение  $V_T$ , но при высокой плотности людей в помещении  $V_T$  уже не является ограничивающим фактором и  $V_E$  принимает значение  $V_R$ .

Завершающим шагом определения количества людей, которые могут покинуть помещение является правило:

$$\Delta n = \begin{cases} \Delta n, & \text{если } N_0 > \Delta n \\ N_0, & \text{если } N_0 \leq \Delta n \end{cases}, \quad (9)$$

где  $N_0$  — количество людей в отдающем помещении, чел.

По этому правилу помещение могут покинуть все, если в нем людей меньше, чем может выйти.

Для вычисления количества человек, которые перейдут в принимающее помещение требуется вычислить его возможности, т. е. количество человек, которое оно может принять:

$$C = d_{max} \cdot S_0 - N, \quad (10)$$

где  $C$  — вместимость принимающего помещения, чел.;  $d_{max}$  — пороговое значение плотности людского потока (при расчетах принято  $d_{max} = 5$  чел/м<sup>2</sup>);  $S_0$  — площадь принимающего помещения, м<sup>2</sup> (для зоны вне здания  $S_0 = \infty$ );  $N$  — значение количества человек в принимающем помещении, чел.

Изменение количества людей в помещении ( $\Delta N$ , чел.) зависит от возможностей отдающего и принимающего помещений. Это выражается в форме следующего правила (11): если вместимость принимающего помещения больше, чем из отдающего помещения может выйти, то его покидают все люди.

$$\Delta N = \begin{cases} C, & \text{если } C \leq \Delta n \\ \Delta N, & \text{если } C > \Delta n \end{cases}. \quad (11)$$

Таким образом, величина  $\Delta N$  является количеством людей, которые покинут помещение за один такт.

Направление движения из каждого помещения определяется временем достижения эвакуационного выхода по безопасному пути. Поэтому приоритет на обработку будет выше у помещений, из которых можно быстрее добраться до эвакуационного выхода.

Время достижения выхода из помещения —  $t$ , мин, определяется по выражению (12):

$$t = \frac{\sqrt{S}}{V_E} \quad (12)$$

т. е. время, которое требуется на преодоление характерного размера помещения при текущей плотности в нем. Величина времени достижения эвакуационного выхода получила название — потенциал помещения.

Время достижения выхода из помещения является характеристикой помещения, по которой проводится минимизация. Она осуществляется на каждом шаге по времени. Ниже представлен

алгоритм эвакуации людей из здания при пожаре по безопасным путям с минимизацией времени выхода из каждого помещения.

Здание представляется в виде двудольного графа  $G$  [4]:

$$G = (X^a \cup X^b, \Gamma), X^a \cup X^b = X, X^a \cap X^b = \emptyset, \Gamma : X \rightarrow X, \quad (13)$$

где  $X^a$  — множество вершин, представляющих собой участки, составляющих пути эвакуации — горизонтальные и наклонные участки;  $X^b$  — множество вершин, посредством которых вершины множества  $X^a$  соединены между собой — двери;  $\Gamma(x)$  — правило, по которому любой вершине из множества  $X^a$  сопоставляются связанные с ней элементы из множества  $X^b$  и любому элементу из множества  $X^b$  сопоставляются связанные с ним зоны из множества  $X^a$ ,  $(\Gamma^2(x) = \Gamma[\Gamma(x)])$ :

$$\Gamma(x) = \begin{cases} \{x_1, x_2 | x_1, x_2 \in X^a\}, & \text{если } x \in X^b \\ \{x_1, x_2, \dots, x_n | x_n \in X^b\}, & \text{если } x \in X^a \end{cases} \quad (14)$$

Обход графа осуществляется по модифицированному алгоритму Дейкстры [4]. Перед описанием алгоритма необходимо определить используемые переменные:

$l(x_i)$  — потенциал вершины  $x_i$ ,

$c(x_i)$  — пометка вершины  $x_i$ ,

$d(x_i)$  — дверь, через которую следует двигаться из вершины  $x_i$ ,

$h(x_i)$  — количество людей в вершине  $x_i$ ,

$b(x_i)$  — время начала блокирования вершины  $x_i$ ,

$B$  — множество заблокированных элементов,  $B \subset X^a$ ,

$s$  — вершина — безопасная зона,  $s \in X^a$ ;  $(\exists x_i \in X^b) \Gamma(x_i) = \{s, x_1\}$ ;

$x_1 \in X^a$ ;  $l(s) = 0$ ,

$p$  — текущая вершина,

$T$  — длительность эвакуации,

$N$  — количество людей в здании,

$lD$  — количество необработанных вершин множества  $X^b$ ,

$lZ$  — количество необработанных вершин множества  $X^a$ ,

$lP$  — количество людей, в необработанных вершинах множества  $X^a$ .

**Шаг 0.**  $h(s) = 0$ ;  $T = 0$ .

**Шаг 1.**  $l(x_i) = \infty$ ;  $\forall x_i \in X^a$   $c(x_i) = 0$ ;  $\forall x_j \in X^b$   $c(x_j) = 0$ ;  $p = s$ ;  
 $lD = |X^b|$ ;  $lZ = |X^a|$ ;  $lP = 0$ .



**Шаг 2.** Если вершина не заблокирована, т. е.  $p \notin B$  и  $b(p) - t > 0$ , то для всех  $x_j \in \Gamma(p)$ , для которых  $c(x_j) = 0$ , и для всех  $x_i \in \Gamma(x_j)$ ,  $x_i \neq p$  изменить количество людей в  $x_i$  и  $p$  по

правилу  $h(x) = \begin{cases} h(x) + \Delta N, & \text{если } x = p \\ h(x) - \Delta N, & \text{если } x \in \Gamma^2(p) \end{cases}$ , изменить потенциал

достижения вершины  $s$  по правилу  $l(x_i) = l(p) + t$ , изменить пометки вершин  $c(x_i) = 1, c(x_j) = 1$ . Для обработанных вершин  $x_i \in X^a$  установить соответствующие вершины  $x_j \in X^b$ , через которые следует двигаться до вершины  $s - d(x_i) = x_j$ .

**Шаг 3.** Изменить количество необработанных вершин из множества  $X^a - Y^1\{x \in \Gamma(p) | c(x) = 0\}$ ;  $lD = lD - |Y|$ .

**Шаг 4.** Среди вершин, которые обработаны на шаге 2 найти такую, для которой  $l(\dot{x}_i) = \min(l(x_i))$ .

**Шаг 5.**  $p = \dot{x}_i$ , убрать  $\dot{x}_i$  из списка  $l$  (для исключения повторной обработки вершины).

**Шаг 6.** Если  $lZ \neq 0$ , то  $lZ = lZ - 1$ , перейти к шагу 2.

**Шаг 7.** Если  $lZ = 0$  и  $lD \neq 0$ , то  $lP = lP + h(x_i)$  для всех  $x_i \in X^a$ , для которых  $c(x_i)$ .

**Шаг 8.** Изменить длительность эвакуации  $T = T + \tau$ .

**Шаг 9.** Если  $N - (h(s) + lP) < 0.9$ , то останов, иначе перейти к шагу 1.

После завершения моделирования кратчайший путь до любого эвакуационного выхода восстанавливается движением от эвакуационного выхода по вершинам с наименьшим значением потенциала.

Из-за меняющейся обстановки в здании — скопления людей, распространение пожара — кратчайший путь до выхода также может измениться во время эвакуации.

Для получения вершин, которые остались необработанными, достаточно найти все не помеченные из множества  $X^a$ . Наличие необработанных помещений означает, что для них не строились пути эвакуации.

Для управления эвакуацией моделирование осуществляется с опережением реального времени. По результатам моделирования формируются управляющие команды для оповещателей, которые

---

<sup>1</sup>Вспомогательное множество для подсчета необработанных вершин.

формируют направления движения.

## **Заключение**

Таким образом, увеличение количества зданий со сложными объемно-планировочными решениями, зданий с массовым пребыванием людей обусловило актуальность задачи совершенствования системы оповещения и управления эвакуацией. Возможность построения эффективной и относительно дешевой СОУЭ обусловило появление на рынке высокопроизводительных микроконтроллеров.

Объединение систем подсчета количества людей по зонам [5], мониторинга пожарной обстановки в здании и модели определения путей эвакуации позволит своевременно выделить помещения, в которых оказались заблокированными люди.

## **Список литературы**

1. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Чирков Б.В., Романенко А.В., Чигвинцев Г.М. Измерительный мониторинг опасных факторов пожара и информационные параметры систем динамического управления эвакуацией. //Безопасность в техносфере, Ижевск, 2017, №11, С 6–19.
2. Чирков Б.В. Исследование системы адаптивного управления экстренной эвакуацией из здания при пожаре. //Безопасность в техносфере, Ижевск, 2017, №11, С 37–44.
3. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. д-ра техн. наук. – М. – 1983.
4. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. С. 432.
5. Сивков А.М. Двухлучевой счетчик посетителей. //Безопасность в техносфере, Ижевск, 2017, №11. С. 63-71.

## **MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION OF CONTROL COMMANDS FOR THE SYSTEM OF EVACUATION MANAGEMENT**

*B.V. Chirkov, P.S. Evstafieva, K.S. Butorina*

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

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

*The work is devoted to the description of the model of the movement of people in a building during a fire, which is used in the system of adaptive evacuation management. A feature of which is to minimize the duration of the evacuation on safe paths. A formalized algorithm for finding the shortest time safe paths from each room to the safe zone is presented.*

Keywords: evacuation, evacuation management, warning systems, patency of premises, design of roads, evacuation, evacuation control, traffic model, evacuation model, fire evacuation, evacuation simulation, controlled evacuation, evacuation control system, dynamic evacuation control, adaptive evacuation.

УДК 303.732.4

## ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЗДАНИЙ ПО МЕТОДУ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

*К.С.Буторина, П.С.Евстафьева, Б.В. Чирков*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *butorina2706@gmail.com, b.v.chirkov@gmail.com*

*Статья посвящена применению метода анализа иерархий, для оценки топологической сложности здания. Оценка сложности осуществлялась в рамках работ по созданию системы автоматического управления эвакуацией из здания.*

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, оценка топологической сложности, сложность здания, топологическая сложность

### Введение

Эвакуация людей из здания зависит как от имманентных свойств здания, так и находящихся в нем людей. В рамках работ по автоматическому управлению эвакуацией [1] определение зависимости длительности эвакуации от свойств здания предполагает количественную оценку его сложности. В качестве способа определения сложности здания применен метод анализа иерархии (МАИ) [2–4]. Он позволяет дать оценку сложности объекта. В работе рассматривались учебные корпуса ФГБОУ ВО “УдГУ”.

Из множества критериев, которые формируют сложность здания, выделены основные, которые сильнее других оказывают влияние на длительность эвакуации: этажность здания, площадь здания, количество эвакуационных выходов, витиеватость (сложность коридорных систем). На практике не существует установленной процедуры генерирования целей, критериев и видов деятельности для включения в иерархию или даже в более общую систему. Это зависит от тех целей, которые выбираются для декомпозиции сложной системы. После постановки критериев была сформирована иерархия (рисунок 1)

Согласно методу анализа иерархии необходимо установить приоритеты критериев относительно их воздействия на общую цель.

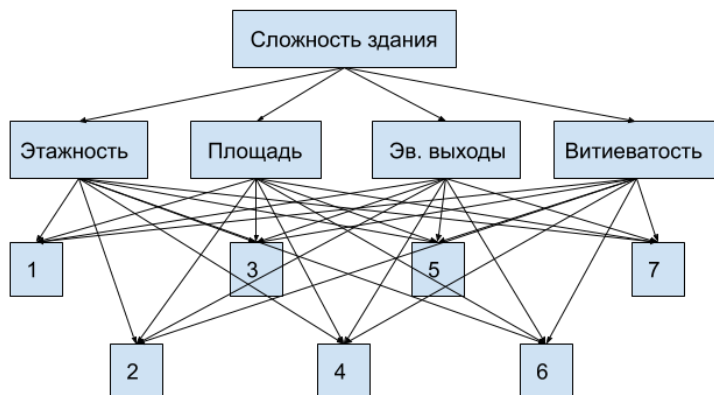


Рисунок 1 — Иерархия оценки сложности здания

Определение степени влияния критериев на сложность проводилось с помощью следующих вопросов:

- Оцените степень влияния этажности на сложность относительно (в сравнение) площади от 1 до 9.
- Оцените степень влияния этажности на сложности относительно (в сравнение) эвакуационных выходов от 1 до 9.
- Оцените степень влияния этажности на сложности относительно (в сравнении) витиеватость и от 1 до 9 .
- Оцените степень влияния площади на сложность относительно (в сравнении) эвакуационных выходов от 1 до 9.
- Оцените степень влияния площади на сложности относительно (в сравнении) витиеватость от 1 до 9.
- Оцените степень влияния эвакуационных выходов на сложности относительно (в сравнение) витиеватость от 1 до 9.

Важно отметить, что числа, используемые в шкале, являются абсолютными величинами, а не просто порядковыми числами. Это говорит о том, что шкала не позволяет проводить сравнения,

если интенсивность превышает 9 [1]. Опираясь на вопросы, была составлена матрица парных сравнений критериев (таблица 1).

Таблица 1 — Матрица парных сравнений критериев, которые влияют на длительность эвакуации

| Критерии     | Этажность | Площадь | Эв. выходы | Витиеватость |
|--------------|-----------|---------|------------|--------------|
| Этажность    | 1         | 7       | 5          | 1/4          |
| Площадь      | 1/7       | 1       | 1/3        | 1/6          |
| Эв. выходы   | 1/5       | 3       | 1          | 2            |
| Витиеватость | 4         | 6       | 1/2        | 1            |

Для составления матрицы парных сравнений зданий относительно каждого критерия были сформулированы вопросы типа «Оцените по шкале от 1 до 9 относительно этажности здания 1 и 2».

Результаты оценки сложности зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ» представлены в таблице 2. Показатели корпусов представлены после ранжирования по величине сложности.

Таблица 2 — Характеристики моделей зданий учебных корпусов ФГБОУ ВО «УдГУ», ранжированные по возрастанию топологической сложности

| Корпус | Сложность |
|--------|-----------|
| 7      | 0,321061  |
| 6      | 0,183745  |
| 5      | 0,183331  |
| 1      | 0,116034  |
| 4      | 0,085077  |
| 2      | 0,056115  |
| 3      | 0,054738  |

## Заключение

Компьютерное моделирование управляемой эвакуации показывает, что длительность эвакуации людей определяется имманент-

ными свойствами здания. Это определяет необходимость количественной характеристики здания, которая бы характеризовала его сложность. В данной работе предлагается в качестве такой характеристики использовать оценку, построенную на базе метода анализа иерархий. Оценка позволяет количественно сравнить здания по уровню сложности. Оценка является относительной, т.е. ограничена множеством зданий, для которых эта оценка осуществлялась.

### Список литературы

1. Колодкин В.М., Чирков Б.В. Система адаптивного управления экстренной эвакуацией при пожаре в здании // Безопасность в техносфере, 2017, вып. № 4(67), С. 58-65. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5a2907cc4f32d7.65348137](https://doi.org/10.12737/article_5a2907cc4f32d7.65348137)
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий //М.: Радио и связь. — 1993. — Т. 278.
3. Саати Т. Л., Андрейчикова О. Н. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений //Cloud of science. — 2015. — Т. 2. — №. 1. — С. 5-39.
4. Саати Т. Л. Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов //Cloud Of Science. — 2016. — Т. 3. — №. 2. — С. 171–262.

### ASSESSMENTS OF THE TOPOLOGICAL COMPLEXITY OF BUILDINGS IN THE MODEL OF EVACUATION

*K. S. Butorina, P. S. Evstafieva, B.V. Chirkov*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [butorina2706@gmail.com](mailto:butorina2706@gmail.com), [b.v.chirkov@gmail.com](mailto:b.v.chirkov@gmail.com)

*The article is devoted to the application of the method of analysis of hierarchies to assess the topological complexity of the building. The complexity assessment was carried out as part of the work on the creation of an automatic evacuation control system from the building.*

Keywords: method of hierarchy analysis, assessment of topological complexity, building complexity, topological complexity.

# Раздел II

## Техносферная безопасность



УДК 004.031.42

## СОЗДАНИЕ API ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕЛИЧИН В КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСАХ

*М.Э. Галиуллин*

Удмуртский Государственный Университет, г.Ижевск, Россия

e-mail: *m.a.galiullin@gmail.com*

*В статье описываются подходы к созданию и детали реализации серверного API, предназначенного для отображения вычисляемых пространственно распределенных величин в веб-интерфейсах совместно с другими географическими картами в режиме онлайн. Делается упор на визуализацию расчетных величин, связанных с техногенными рисками и авариями. Дается обоснование использования интерполяционных алгоритмов как средства быстрого вычисления значений произвольных программно рассчитываемых величин. Перечисляются, описываются спецификации и детали реализации методов API, необходимых для решения поставленной задачи. Дается краткое описание инструмента OpenAPI Specification, упрощающего работу по документированию API. Дается описание порядка использования разработанных API в клиентском коде веб-интерфейса. В заключении статьи приводится список использованных программных библиотек и утилит при реализации API, а также даются ссылки на существующие JavaScript-библиотеки, упрощающие создание картографических веб-интерфейсов.*

**Ключевые слова:** оценка риска, техногенные объекты, веб-сервис, картография, ГИС, API, OpenAPI.

### Цель работы

Результатом многих прикладных исследований в разных областях науки и деятельности является некоторая вычисленная или спрогнозированная величина, распределенная по ограниченной территории поверхности Земли. Примерами могут служить результаты в таких прикладных задачах, как прогноз загрязненности почвы, расчет уровня воздействия опасных факторов в результате аварий на промышленных объектах и уровня потенциального риска техногенных объектов, оценка уровня комфорта на урбанизированных

территориях и многие другие. Такие пространственные величины для наглядности лучше всего отображать в виде изолиний или цветового градиента совместно с другими географическими картами (физическими, схематическими, спутниковыми). Кроме того, сами расчеты могут зависеть от каких-либо картографических данных, например, от плотности проживания людей на территории или от типа почвы/грунта.

Представлять результаты для широкого круга пользователей проще всего в веб-интерфейсе браузера – это наиболее естественный в наше время способ получения информации из Интернета. Поэтому в данной работе была поставлена задача создания веб-инструмента, помогающего отображать результаты расчетов поверх географических карт, а также использовать в самих расчетах дополнительные данные, заложенные в цифровых картах.

Программное обеспечение, основанное на веб-технологиях, как правило, следует концепции разделения зон ответственности. То есть, ввод данных и отображение информации возлагается на *клиентскую* часть (на пользовательский браузер), а все остальные расчеты – обработка, анализ информации и управление данными – производятся на сервере (или одновременно на нескольких серверах). «Клиент» общается с «сервером» по сети через вызов четко определенных методов – так называемый API (Application Programming Interface) [1]. Серверная часть также не монолитна и представляет собой набор небольших сервисов (каждый со своим API), выполняющих четко ограниченный круг задач. Применительно к данной работе это означает, что уже существует доступный по сети сервис с декларированным API, решающий прикладную задачу и рассчитывающий величины, требующие отображения на карте. Но также должен существовать и другой, дополнительный сервис, занимающийся преобразованием уже рассчитанных данных в картографический формат, который клиентская сторона способна отобразить. «Клиент» может выступать в роли связующего звена, последовательно запрашивающего у соответствующих сервисов расчет, подготовку и получение отображаемых данных.

Таким образом, смыслом проделанной работы, описываемой в данной статье, является создание такого дополнительного сервиса (вместе со спецификацией его API), помогающего в онлайн режиме отображать на карте определенной местности абстрактную

программно-вычисляемую пространственную функцию  $f(x, y)$ , а также некоторые связанные с ней интегральные величины. Несмотря на универсальность предлагаемого подхода, в работе делается значительный упор на отображение величин, связанных с техногенными рисками, и основной целью данных разработок является последующее их применение в интернет-ресурсе «Оценка рисков чрезвычайных ситуаций, устойчивости территорий и хозяйствующих субъектов Российской Федерации» (<http://risktools.ru>).

### Постановка задачи

Формальная постановка задачи звучит следующим образом.

Для визуального представления в клиентском веб-интерфейсе поверх географических карт результатов расчетов численной функции  $f(x, y)$  или суммы нескольких функций  $\sum f_i(x, y)$ , зависящих от координат на поверхности Земли, выражающих такие величины как техногенные риски, опасные факторы аварий, концентрации веществ в воздухе, почве и др., необходимо описать и реализовать следующий список методов серверного API:

- 1 метод, создающий пространственные сетки (*растры*) методом интерполяции на основе набора заранее рассчитанных точек (*узлов интерполяции*) функции  $f(x, y)$ ;
- 2 метод, создающий *векторные* [2] изолинии на основе растров (с целью улучшения читаемости отображаемых результатов);
- 3 метод, позволяющий складывать величины, содержащихся в нескольких растрах;
- 4 метод, рассчитывающий скалярные интегральные значения величины, содержащейся в растре, с учетом значений *атрибутов* векторных объектов, лежащих на той же территории.

Необходимо также описать шаблон поведения клиентского картографического веб-интерфейса, использующего описанные выше API.

К отображаемой функции  $f(x, y)$  предъявляются требования ограниченности по пространству, но в целом она может иметь

различный смысл (многие из них перечислены в следующем разделе).

Разрабатываемый API должен иметь некую универсальную структуру. К самой реализации предъявляется требование высокой скорости работы, позволяющей использовать сервис в режиме онлайн. Спецификация методов API, предлагаемых к реализации, также будет дана в последующих разделах.

## Примеры расчетных величин, отображаемых на карте

Ниже дается описание примеров расчетных величин, связанных с техногенным риском, для визуализации которых требуется отображение на картах местности.

### *Типовые аварии и источники загрязнений*

Источник типовой аварии на опасном промышленном объекте сконцентрирован, как правило, в одной точке. Источник загрязнения окружающей среды (например, заводская труба, выброс/слив вредных веществ) зачастую также находится в одном месте. В таком случае величины опасных факторов меняются в пространстве (по поверхности Земли):

- в зависимости от расстояния  $r$  от центра аварии или источника загрязнения;
- (возможно) в зависимости от угла  $\phi$  с выделенным направлением  $\Theta$ , которое чаще всего задается ветром.

В некоторых случаях (например, типовая авария «пожар пролива») источник аварии или загрязнения распределен по некоторой площади произвольной формы, и соответствующие величины опасных факторов могут быть представлены некой произвольной пространственной функцией  $f(x, y)$ .

То есть, распределение некой вычисляемой величины, требующее отображения поверх географических карт (например, опасный фактор аварии, *потенциальный риск* [3], концентрация вредного вещества, и т. п.) может быть задано функцией одной или двух пространственных переменных –  $f(r)$ ,  $f(r, \phi)$  или  $f(x, y)$  – в полярных или декартовых координатах, где начало отсчета скорее всего совпадает с центром аварии.

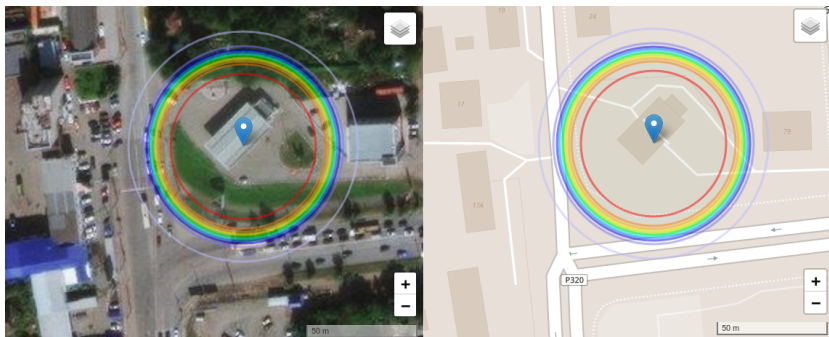


Рисунок 1 — Отображение на карте типовой аварии без учета ветра

### ***Центрально симметричный источник***

Последствия многих типовых аварий с точечным источником рассчитываются без учета ветра в виде центрально симметричной по пространству функции  $f(r)$ , которая, как правило, убывает с удалением от центра. Примерами могут служить опасные факторы (тепловая, ударная волна и т.п.) таких типовых аварий как «огненный шар» и «взрыв конденсированных взрывчатых веществ» (КВВ).

На карте местности результаты таких единичных аварий можно отобразить в виде набора радиально симметричных окружностей равных значений (изолиний), или же градиентного полупрозрачного растра, в котором цвет каждого пикселя связан с определенным диапазоном величины в соответствии с прилагаемой легендой.

Отобразить на карте функцию  $f(r)$  в виде круговых изолиний можно и не прибегая к построению растров – рисунки 1, 2. Такой подход был реализован в сервисе «Расчет типовых аварий», который встроен в сайт «Института Катастроф» — <http://rintd.ru/accidents/>.

### ***Точечный источник с выделенным направлением***

Расчеты усложняются, если при аварии с точечным источником требуется учесть направление ветра. Расчетная функция в этом случае будет зависеть уже от двух пространственных параметров, которые могут быть представлены в полярной системе координат —  $f(r, \phi)$  (где  $\phi$  — угол между направлением от источника аварии на

## Результаты расчета

x

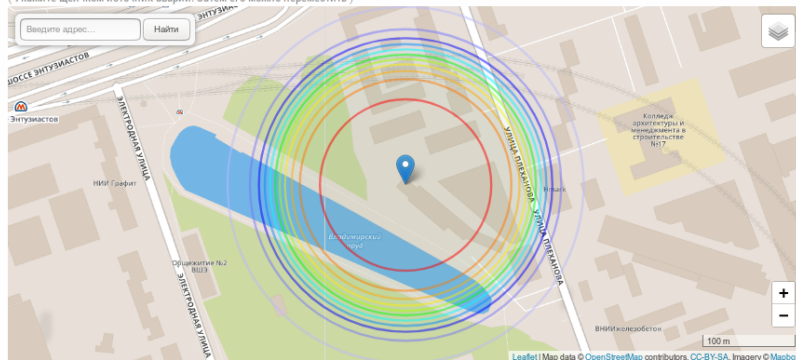
| #  | Расстояние до источника аварии, м | Вероятность поражения человека | Потенциальный риск, 1/год |
|----|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1  | 92.2                              | 0.99                           | 9.9e-5                    |
| 2  | 113.6                             | 0.9                            | 9.0e-5                    |
| 3  | 122.5                             | 0.8                            | 8.0e-5                    |
| 4  | 129                               | 0.7                            | 7.0e-5                    |
| 5  | 134.6                             | 0.6                            | 6.0e-5                    |
| 6  | 139.8                             | 0.5                            | 5.0e-5                    |
| 7  | 145                               | 0.4                            | 4.0e-5                    |
| 8  | 150.7                             | 0.3                            | 3.0e-5                    |
| 9  | 157.6                             | 0.2                            | 2.0e-5                    |
| 10 | 167.2                             | 0.1                            | 1.0e-5                    |
| 11 | 191                               | 0.01                           | 1.0e-6                    |

## Результаты промежуточных вычислений

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| Эффективный диаметр огненного шара, м | 108.32463 |
| Время существования огненного шара, с | 14.98952  |

## Результаты на карте

(Укажите щелчком источник аварии. Затем его можно переместить)



К вводу параметров...

Рисунок 2 — Расчет типовой аварии на сайте <http://rintd.ru>

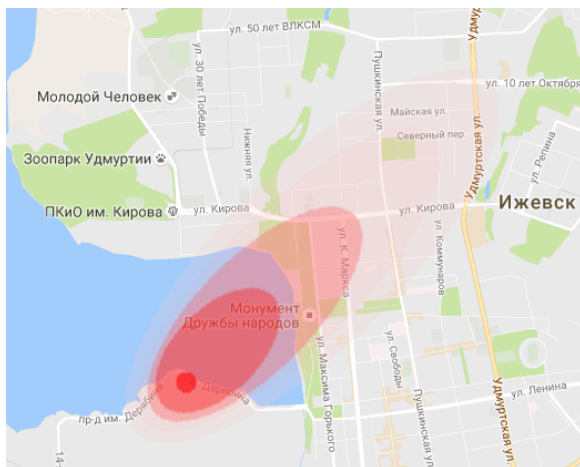


Рисунок 3 — Вариант отображения на карте некоторой расчетной функции, учитывающей направление ветра

расчетную точку и направлением ветра) или в декартовой системе –  $f(x, y)$  (в которой источник аварии находится в начале координат, а направление ветра совпадает с положительной осью X).

На карте местности результаты таких расчетов отобразятся скорее всего в виде набора «эллиптически»-подобных изолиний или градиентов, вытянутых по направлению ветра. Сам источник в этом случае будет находиться где-то в районе «фокуса эллипса» – рисунок 3.

Такие результаты уже не получится отобразить на карте в виде простых геометрических фигур.

### **Площадной источник**

Для такой аварии, как «пожар пролива», форма границ растекшегося по поверхности Земли горючего вещества имеет прямое отношение к вычисляемой функции опасного фактора  $f(x, y)$ , которая уже не будет иметь симметрии и может быть отображена на карте местности в виде градиентного растра или изолиний сложной формы.

Исключением может стать случай, когда величина опасного фактора зависит по пространству только от кратчайшего расстоя-

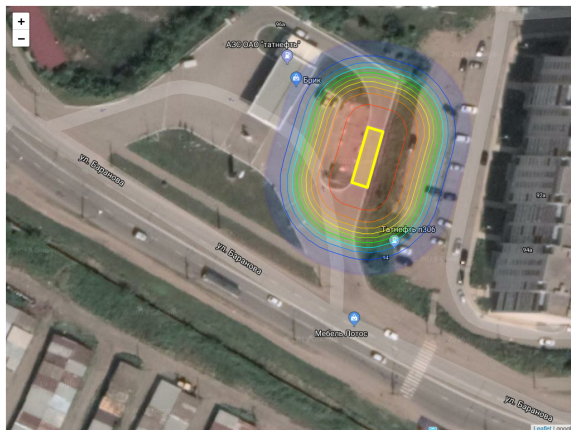


Рисунок 4 — Отображение вероятности поражения при «Пожаре пролива», зависящей от расстояния до зоны разлива топлива в месте разгрузки автоцистерны на АЗС

яния до ближайшей границы зоны аварии, то есть может быть представлена как  $f(r_m)$  – рисунок 4. При отображении на карте значения внутри зоны можно задать константной величиной, равной  $f(0)$ . Программный метод, рассчитываемый такую величину, в качестве одного из параметров может потребовать указать площадь зоны аварии –  $f(r_m, s)$ .

### Интегрированные величины

Иногда при расчете искомой величины в определенной точке пространства приходится учитывать либо протяженность опасного объекта (трубопроводы, пути транспортировки), либо спектр возможных (вероятных) величин входных данных, таких как, например, направление и скорость потоков воздуха в соответствии с *розой ветров* [4]. В таких случаях проводят интегрирование по всем возможным местам возникновения аварии на объекте и/или по всему диапазону вероятных входных расчетных параметров.

В качестве примера интегрированной величины можно привести расчет загрязнения почвы осадками выбросов заводской трубы. На



карте местности результаты таких расчетов отобразятся в виде изолиний, форма которых отчасти повторяет форму розы ветров. Сама расчетная функция будет иметь вид  $f(x, y)$  или  $f(r, \phi)$  с источником аварии, расположенным в начале координат.

Другим примером может служить расчет потенциального риска от нефтегазопровода, который может стать источником аварии в произвольной точке на всем своем протяжении (с равной вероятностью). Поэтому расчет проводят с пространственным интегрированием вдоль всей длины трубопровода. Результат интегрирования вдоль достаточно протяженных прямолинейных участков трубопровода приведет к функции потенциального риска  $f(r_m)$ , зависящей только от кратчайшего расстояния до трубопровода – рисунок 5. Даже при учете розы ветров результат будет почти аналогичным, с той лишь разницей, что функции риска по разные стороны от участка трубопровода  $f_L(r_m, \phi)$  и  $f_R(r_m, \phi)$ , где  $\phi$  – *азимут* участка, будут различными (их можно объединить, расширив диапазон параметра  $r_m$  в отрицательную сторону).

Сложнее обстоят дела с расчетом коротких участков трубопроводов. Интегрирование вдоль небольшого прямолинейного отрезка (возможно также с учетом розы ветров) приведет уже к более сложной результирующей функции двух координат  $f(x, y)$ , например, с договоренностью о расположении отрезка вдоль положительной части оси  $X$ .

### Воздействие нескольких опасных объектов

Крупные промышленные предприятия содержат на своей территории, как правило, несколько опасных объектов, находящихся в непосредственной близости друг от друга – например, котельная, склад с горючими веществами, отдельные прямолинейные участки трубопроводов, фабричные трубы и т. п. Каждый из них может стать источником аварии, поэтому при оценке риска таких предприятий учитывается суммарный вклад каждого потенциально опасного объекта. Также эти объекты могут служить совместными постоянными источниками различного рода загрязнений.

Для того чтобы дать суммарную оценку пространственного воздействия определенного фактора нескольких независимых источников опасности, обычно бывает достаточно сложить результаты

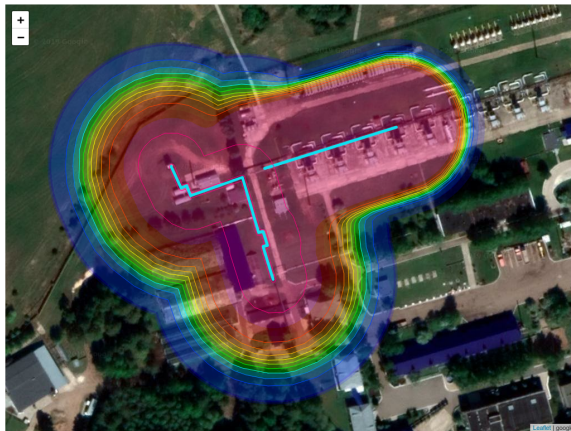


Рисунок 5 — Пример пространственного распределения интегрированного потенциального риска при возможных авариях на газопроводе, зависящего только от кратчайшего расстояния до трубопровода на ГРС

расчетов по каждому отдельному объекту. *Примечание:* необходимо помнить про сложение вероятностных величин зависимых событий.

На карте местности изолинии расчетной величины суммарного воздействия могут принять самую разную форму, как на приведенном ниже рисунке – рисунок 6.

### Коллективный риск

При оценке ущерба от возможных аварий на опасных объектах используется величина, называемая *коллективным (групповым) риском* [3, 5]. Фактически, это интегральная характеристика, количественной мерой которой выступает ожидаемое количество пораженных людей в результате возможных аварий за определённый период времени. Для ее вычисления на определенном опасном объекте следует проинтегрировать потенциальный риск и количество людей, находящихся на данной территории:

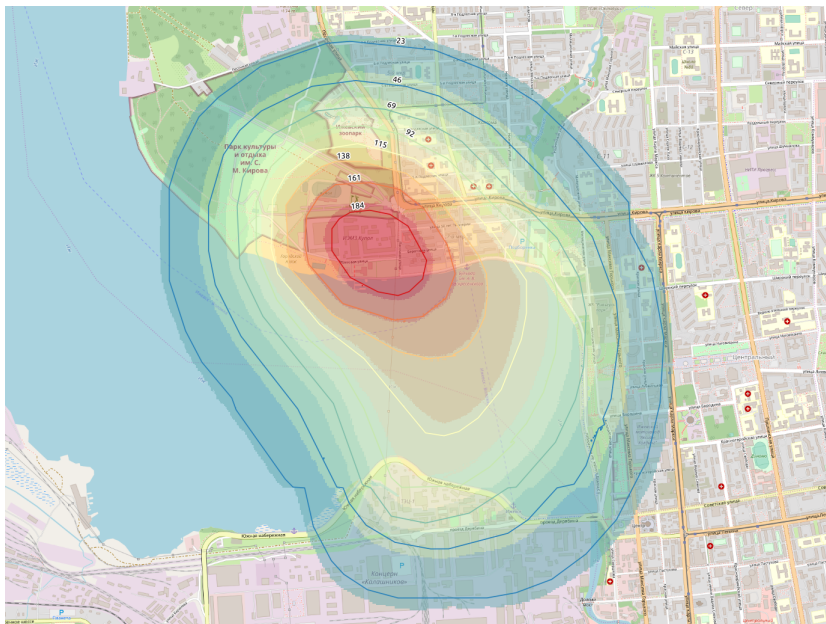


Рисунок 6 — Пример возможного отображения на карте условной величины суммарного воздействия нескольких источников опасности

$$R_{\text{колл.}} = \int R_{\text{потенц.}}(x, y) \cdot D(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где  $R_{\text{колл.}}$  — коллективный риск;  $R_{\text{потенц.}}(x, y)$  — распределение потенциального риска;  $D(x, y)$  — распределение плотности людей.

Если потенциальный риск представляет собой характеристику опасности определенной точки в пространстве на территории вокруг опасного объекта и может быть отображен на карте местности, например, в виде изолиний, то коллективный риск является скалярной величиной и используется для сравнения уровней опасности различных объектов или территорий.

Задача расчета коллективного риска — как раз тот случай, когда требуется не только отобразить некую расчетную величину на

карте местности (потенциальный риск), но скорее использовать ее совместно с другими картографическими данными для вычисления какого-то иного результата.

Технически, для расчета коллективного риска необходимо задействовать алгоритмы, совместно обрабатывающие пространственно-совмещенные растры (вычисленный и наложенный на карту потенциальный риск) и векторные объекты (геометрия плюс атрибуты), описывающие зоны и плотности нахождения людей на этой же территории – рисунок 7.

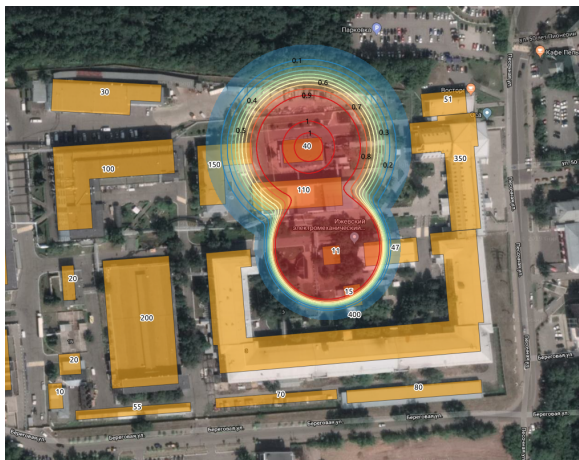


Рисунок 7 — Пространственное наложение вероятности поражения на векторные полигоны зон нахождения людей позволяет сделать оценку коллективного риска

## Интерполяция

В том случае, когда программный метод, рассчитывающий значения функции  $f(x, y)$ , предназначенные для отображения, работает достаточно быстро, все что требуется для решения поставленной в данной работе задачи – это вызвать данный метод один раз для каждой ячейки, сопоставленной с координатами  $\{x, y\}$ , в создаваемой пространственной расчетной сетке (растре). Для

последующего отображения на карте созданного таким образом растра потребуются сделать замену расчетных значений в ячейках/пикселях соответствующими значениями цветовой палитры (*RGB*-значения [6]) из подготовленной легенды. (Также на основе полученного растра можно создать набор векторных полилинейных изолиний).

Поскольку в данной работе описывается универсальный инструмент для отображения на карте различных пространственных величин, необходимо допустить, что искомая функция  $f(x, y)$  является довольно сложной и численно рассчитывается не очень быстро.

Общая скорость вычислений имеет значение, поскольку речь идет о построении отзывчивого пользовательского веб-интерфейса для работы в режиме онлайн.

Поэтому имеет смысл прибегнуть к *интерполяции* [7] функции одной  $f(r)$  или двух переменных  $f(x, y)$  по нескольким заранее вычисленным значениям (так называемым *точкам* или *узлам интерполяции*). Такой подход будет иметь смысл, если сложность вычисления интерполированного значения в произвольной точке будет намного ниже сложности прямого вычисления метода, реализующего саму функцию.

Еще одной причиной для использования интерполяции может стать техническая невозможность непосредственного подключения программного кода, рассчитывающего функцию  $f(x, y)$ , к разрабатываемым в данной работе инструментам. Это может быть связано, например, с различием программных платформ. Но всегда можно передать между различными системами набор заранее рассчитанных точек функции – узлов интерполяции – через декларированный и разработанный программный интерфейс (API).

Рассмотрим несколько различных видов интерполяции для функции одной переменной  $f(r)$ .

«*Ступенчатая*» или «*метод ближайшего соседа*» – самый простой вид интерполяции. К плюсам можно отнести простую реализацию и высокую скорость работы данного вида, а к минусам – большие ошибки и визуально просматриваемые «ступеньки» при итоговом отображении на карте местности.

*Линейная интерполяция* в значительной степени лишена недостатков предыдущего вида, но по-прежнему приводит к

достаточно большим ошибкам и не обладает гладкостью в самих узлах интерполяции.

Процесс *интерполяции многочленами* (Лагранжа, Ньютона) имеет очень важный недостаток – это возникновение осцилляций, что может привести к случайным и довольно большим ошибкам.

Для снижения погрешностей весь диапазон интерполяции можно разбить на частичные отрезки и на каждом из них функцию  $f(r)$  заменить приближенно полиномом невысокой степени. Одним из таких способов является *интерполирование сплайнами*.

Способ интерполирования сплайнами обладает рядом преимуществ, и его вполне можно использовать для получения непрерывных значений центрально симметричных пространственных функций  $f(r)$ . Важно иметь в виду, что интерполяция сплайнами не имеет *экстраполирующих свойств*, то есть не имеет смысла за пределами крайних узлов.

Результатом работы программных методов, реализующих сплайн-интерполяцию функции одной переменной  $f(r)$ , является, как правило, рассчитанный набор полиномиальных коэффициентов.

Для интерполяции функции двух пространственных  $f(x, y)$  также существует ряд способов [8], например:

- *Триангуляционная нерегулярная сетка* (TIN – линейная или кубическая Клафа-Точера) [9];
- *Метод обратных взвешенных расстояний* (IDW) [10];
- *Кригинг* [11];
- *Естественная окрестность* (*Natural Neighbor*) [12];
- Сплайны [13].

Использование того или иного метода зависит от характера, равномерности и количества узловых точек, требуемой гладкости результата и наличия вычислительных ресурсов.

В отличие от интерполяции функции одной переменной, результатом пространственной интерполяции зачастую является численная регулярная сетка (растр) – рисунок 8. В зависимости от метода интерполяции и способа его программной реализации

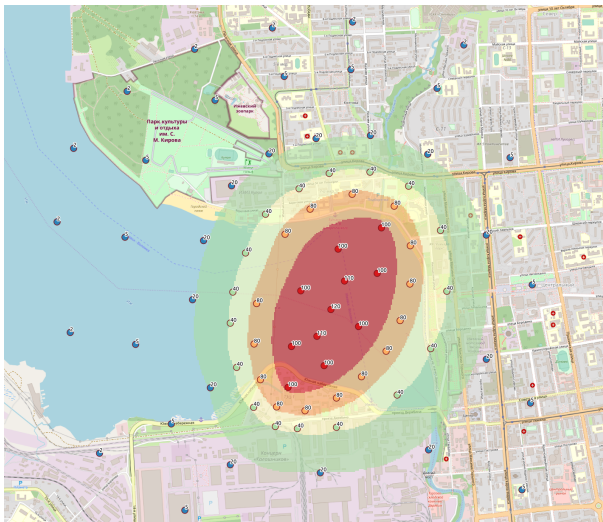


Рисунок 8 — Результат точечной пространственной интерполяции условной величины методом Кригинга (в виде растра)

структура растра может стать единственной приемлемой формой результата. Плюсом в таком подходе может служить возможность непосредственного отображения результатов интерполяции на карте местности. Минусом может стать дискретность интерполяционной сетки, но ее шаг можно изначально задавать в необходимых пределах.

### Описание методов API

Конечная цель построения и реализации описываемого здесь API — это возможность получения итогового *PNG*-изображения [14], содержащего цветное представление значений отображаемой функции (или суммы нескольких функций), а также *экстенда*, в соответствии с которым полученный рисунок может быть наложен на карту местности. Формат *PNG* позволяет использовать

полупрозрачность, но не содержит экстента – географических координат прямоугольных границ рисунка.

Здесь следует оговорить допущение, предполагающее работу с достаточно ограниченным охватом территории в отображаемой функции. Такое допущение, имеющее смысл для перечисленных выше типов прикладных задач, позволяет получать результирующий растр в одном единственном PNG-изображении. В противном бы случае пришлось прибегнуть к разбиению охвата больших территорий на плиточные сетки всевозможных масштабов, состоящие из небольших изображений, так называемых *тайлов*.

Подразумевается, что методы разрабатываемого серверного API (*backend*) вызываются из пользовательского интерфейса браузера (*frontend-a*), а сгенерированные на сервере расчетные растры остаются доступными по соответствующим идентификаторам *raster\_id* в рамках текущей пользовательской сессии. Используя известные идентификаторы *raster\_id*, можно запрашивать у backend-a через API дополнительные операции, такие как сложение растров, получение векторного слоя изолиний, а также вычисление и получение интегральных значений растра с учетом информации, содержащейся в дополнительно предоставляемых пользователем векторных данных.

Далее последовательно будут рассмотрены декларации и некоторые подробности работы методов API, реализующих на практике описанный функционал.

### Требования к программной декларации метода, реализующего целевую функцию

Итак, предположим, что уже имеется некоторый программный метод (процедура, блок программного кода), вычисляющий целевую функцию  $f(r)$ , или  $f(r, \phi)$ , или  $f(x, y)$ , которую следует отобразить на карте местности в виде изолиний или градиента цветов. Наложим дополнительные требования к спецификации (декларации) этого метода в плане определения **возвращаемых** значений, чтобы в дальнейшем иметь возможность унифицировано отображать различные целевые функции.

Рассматриваемые в данной работе обобщенные целевые функции имеют большое отношение к прогнозированию последствий аварий



и утечек вредных веществ, поэтому поведение этих функций имеет тенденцию экспоненциально уменьшаться на некотором расстоянии от источника и в дальнейшем асимптотически стремиться к нулевым значениям. Подобное поведение приводит в итоге к некой ограниченной пространственной зоне, внутри которой функция имеет значимые величины.

Как уже было сказано выше, для целей отображения целевой функции на карте местности в данной работе используется интерполяция, которая строится по  $N$  парам известных значений координат и значений данной функции (узлов интерполяции). Проблему выбора числа узлов  $N$ , диапазона и конкретных значений координат в узлах следует переложить на сам метод, реализующий целевую функцию. Например, для функции одной переменной узлы могут быть подобраны таким образом, чтобы значения расчетной функции в соседних узлах различались между собой в определенное количество раз.

Учитывая вышесказанное, программная декларация метода, реализующего целевую функцию  $f(r)$ , должна иметь вид:

$[(r_1, f_1), (r_2, f_2), \dots, (r_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ ,

где  $(r_N, f_N)$  – возвращаемые методом пары соответствующих чисел – значения координаты (в метрах) и значения функции;  $N$  – число возвращаемых пар, на которые разбит весь диапазон параметра  $r$ ;  $params$  – исходные параметры расчета самой целевой функции (например, масса взрывчатого вещества, площадь разлива, длина и азимут прямолинейного участка и т. п.).

Соответственно, декларация методов, реализующих целевые функции  $f(x, y)$  и  $f(r, \phi)$ , должна иметь вид:

$[(x_1, y_1, f_1), (x_2, y_2, f_2), \dots, (x_N, y_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ ,  
или

$[(r_1, \phi_1, f_1), (r_2, \phi_2, f_2), \dots, (r_N, \phi_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ ,  
где угол  $\phi$  задан **в радианах**.

Как уже говорилось выше, методы, рассчитывающие значения целевой функции, в большинстве случаев предполагают, что отсчет координат ведется либо от точки источника аварии/загрязнения, либо в сторону удаления по кратчайшему расстоянию от объекта (например, от протяженного участка трубопровода или от границы зоны аварии; возможно также в отрицательную сторону), либо от начала коротких отрезков трубопроводов (см. раздел

«Интегрированные величины»). Также предполагается, что при работе с полярной системой координат значение  $\phi$  обозначает угол с направлением на север по часовой стрелке, т.е. *азимут* (или, возможно, угол с некоторым выделенным направлением). А при работе с декартовой системой координат предполагается, что оси координат  $X$  и  $Y$  направлены соответственно на восток и на север (если не оговорено иное, как в случае расчета риска, связанного с короткими отрезками трубопроводов). Все расстояния измеряются в метрах, площади в квадратных метрах, а углы в радианах.

### Генерация растров методом интерполяции

Метод, генерирующий растр, не должен сразу возвращать непосредственно результат, поскольку для пользователя он может оказаться лишь промежуточным звеном. На основе созданного растра пользователь может запросить дополнительные операции.

Таким образом, декларация метода, создающего растр, должна иметь следующий вид:

```
{raster_id, [lon_min, lat_min, lon_max, lat_max]} = createRaster([(x1, y1, f1),  
(x2, y2, f2), ..., (xN, yN, fN)], dx, dy, lon0, lat0 < lon1, lat1 >),
```

где  $[(x_1, y_1, f_1), (x_2, y_2, f_2), \dots, (x_N, y_N, f_N)]$  – список рассчитанных точек  $f_i(x_i, y_i)$ , возвращенный некой функцией *myFunction()*, и используемых здесь в качестве узлов интерполяции; *dx*, *dy* – шаг создаваемого растра в метрах; *lon*<sub>0</sub>, *lat*<sub>0</sub> – долгота и широта (в системе координат *WGS'84* [15]) центра локальной системы координат расчетов, находящейся в предполагаемой проекции *LAEA* [16] (*Lambert Azimuthal Equal Area*), параметризованной *lat*<sub>0</sub> и *lon*<sub>0</sub>; *lon*<sub>1</sub>, *lat*<sub>1</sub> – опциональные параметры, используемые в том случае, когда источником опасности является короткий прямолинейный отрезок (например, короткий участок трубопровода), географически задаваемый координатами его начала и конца. Эти же параметры можно использовать для указания угла, на который следует повернуть локальную систему координат, в случае расчетных задач с выделенным направлением (см. Точечный источник с выделенным направлением); *raster\_id* – уникальный идентификатор созданного растра, находящегося в памяти сервера на протяжении всей пользовательской сессии; [*lon\_min*, *lat\_min*, *lon\_max*, *lat\_max*] – экстенд созданного растра.

Для упрощения API предполагается, что пары значений  $x_1, y_1$  принадлежат декартовой системе координат. Поэтому в случае, когда метод *myFunction()* возвращает точки в полярной системе координат, требуется самостоятельный их пересчет.

Если растр создается на основе центрально-симметричной функции одной переменной  $f(r)$ , то пары координат  $(x_i, y_i)$  заменяются в декларации метода *createRaster()* соответственно на  $r_i$ :

$$\{raster\_id, [lon_{min}, lat_{min}, lon_{max}, lat_{max}]\} = \text{createRaster}([(r_1, f_1), (r_2, f_2), \dots, (r_N, f_N)], dx, dy, lon_0, lat_0).$$

В том случае, когда отображаемая функция  $f(r)$  зависит от кратчайшего расстояния до линейного объекта (трубопровода, пути транспортировки, границы зоны разлива), декларация метода *createRaster()* будет иметь вид:

$$\{raster\_id, [lon_{min}, lat_{min}, lon_{max}, lat_{max}]\} = \text{createRaster}([(r_1, f_1), (r_2, f_2), \dots, (r_N, f_N)], dx, dy, geoJson),$$

где *geoJson* – JSON-структура [17], содержащая векторную геометрию полилинейного или полигонального объекта.

Предполагается, что создание растров происходит с использованием готовых программных библиотек, реализующих алгоритмы интерполяции сплайнами (для функций одной переменной) и алгоритмы TIN, IDW, Сплайн или Кригинг (для функций двух координат). Во втором случае указанные библиотечные методы возвращают непосредственно готовый растр по набору узлов  $x_i, y_i$ , а вот отображение интерполированной сплайном функции  $f(r)$  на сеточное пространство растра происходит следующим образом:

$$f([x, y]) = fSpline(distanceToObject(x, y)),$$

где  $[x, y]$  – ячейка растра, соответствующая паре координат  $x, y$ ; *fSpline()* – метод сплайна, уже настроенный на  $f(r)$  по заранее заданному набору узлов; *distanceToObject(x, y)* – метод, вычисляющий кратчайшее расстояние от точки  $(x, y)$  до опасного объекта (точечного или полилинейного источника аварии или загрязнения).

Следует отметить, что интерполяционные алгоритмы чаще всего не предусматривают экстраполяцию за пределы крайних узлов. Поэтому и экстенд, возвращаемый методом *createRaster()*, будет соответствовать координатам крайних узлов.

После создания растра пользователь может запросить получение его PNG-варианта, указав цветовую схему (градиент), количество ступеней градаций (0 – непрерывный градиент), а также максимальное и минимальное значение расчетной величины, соответствующие полному диапазону цветовых градаций:

```
PNG = getPNG(raster_id, < COLOR_SCHEMA >, < n_steps >,
< f_min, f_max >),
```

где параметры < COLOR\_SCHEMA >, < n\_steps >, < f\_min, f\_max > являются опциональными и могут быть принятыми по умолчанию или вычисленными автоматически. Цветовая схема может принимать значения, подобные следующим – «Spectral»>, «BlueToOrange», «BlueToRed», и т.п.

Узнать экстенд и параметры растра можно в любой момент, запросив их через вызов:

```
{[lon_min, lat_min, lon_max, lat_max], dx, dy, lon_0, lat_0, lon_1, lat_1, crs} =
getParams(raster_id),
```

где *crs* – система координат растра (WGS'84, Mercator или LAEA).

По поводу системы координат следует сделать отдельное замечание. Растры создаются в локальной системе координат. Центр аварии (или источника загрязнения) находится, как правило, в начале координат. При запросе через API растра в PNG-формате соответствующий метод перепроецирует его в систему координат WGS'84 (EPSG:4326) или Mercator [18] (EPSG:3857 [19]), с которыми работают наиболее популярные картографические JavaScript-библиотеки. Эти же библиотеки требуют указания экстенда накладываемого на карту PNG-изображения в системе координат WGS'84.

Такой порядок обращения с системами координат позволяет в случае необходимости перемещать растр на карте в другое местоположение без пересчета (то есть без повторного вызова метода *createRaster()*). Таким образом, чтобы задать новую позицию на карте для начала локальной системы координат растра, следует вызвать метод:

```
{[lon_min, lat_min, lon_max, lat_max]} = setLonLat(raster_id, lon_0, lat_0,
< lon_1, lat_1 >),
```

который вернет новый экстенд в системе координат WGS'84.

### Создания полилинейных изолиний

Плавный цветовой градиент не всегда хорошо визуализирует пространственное изменение отображаемой величины. Иногда лучшим решением оказывается «ступенчатая» заливка растра, где каждый цвет соответствует определенному диапазону значений.

Еще одним способом улучшить читаемость на карте является отображение изолиний. Чтобы запустить процесс создания изолиний из растра и затем получить их в векторном полилинейном виде, следует сделать запрос к API:

`GeoJSON = getIsolines(raster_id, value_step),`

где *value\_step* – шаг по расчетной величине между соседними изолиниями.

Метод возвращает векторные изолинии в стандартизованном формате *GeoJSON*, предназначенном для описания векторных данных. Многие JavaScript-библиотеки, работающие с картами, умеют хорошо обрабатывать и отображать данные в этом формате. В формате *GeoJSON* присутствует не только геометрия, но и дополнительные атрибуты, в частности, значение отображаемой величины, соответствующее той или иной изолинии. Эти атрибуты также можно отобразить на карте совместно с геометрией.

При первом запросе данного метода изолинии создаются и хранятся на сервере вместе с растром на протяжении всей пользовательской сессии. Система координат в изолиниях, получаемая клиентом – WGS'84, но в серверной копии изолинии могут храниться в том числе и в локальной системе координат, что позволяет не пересоздавать их при перемещении соответствующего растра в новое местоположение.

### Сложение растров

Как уже было сказано в разделе «Воздействие нескольких опасных объектов», чтобы дать суммарную оценку пространственного воздействия независимых источников опасности, необходимо просто сложить соответствующие оценки по каждому отдельному объекту. И, поскольку в данной работе предполагается интерполяция для складываемых функций  $f_i(x, y)$ , а результаты интерполяции

зачастую могут быть сохранены лишь в форме растра (см. раздел «Интерполяция»), то и складывать необходимо сами растры.

Сложение растров означает сложение величин, содержащихся в их ячейках, по координатам соответствующих друг другу. Большинство программных библиотек, работающих с «*алгеброй карт*» [20], предполагают, что складываемые растры имеют одинаковое *разрешение* (количество строк и столбцов). Поэтому метод API, возвращающий результат сложения, предварительно должен привести все слагаемые к общей системе координат, общему максимальному экстену и разрешению. Декларация метода, суммирующего растры, выглядит следующим образом:

```
{raster_id, [lon_min, lat_min, lon_max, lat_max]} = getSum(raster_id1, raster_id2, ...).
```

Метод создает новый растр в памяти сервера и возвращает его идентификатор клиенту. При необходимости дополнительные параметры нового растра можно получить с помощью запроса к методу API *getParams()*.

Существуют некоторые отличия в способе хранения просуммированного растра. В памяти сервера он хранится в проекции WGS“84 или Mercator. Одна из причин такого поведения заключена в том, что суммарный результат может охватывать значительные расстояния, для которых локальные системы координат слагаемых растров плохо подходят (ощутимо сказывается форма поверхности Земли). Другая причина заключена в отсутствии необходимости перемещать суммарный растр. В связи с этим ряд параметров, полученных для суммарных растров с помощью вызова метода *getParams()*, может не иметь смысла –  $d_x, d_y, lon_0, lat_0, lon_1, lat_1$ .

## Расчет интегральных значений с учетом атрибутов векторных объектов

Для расчета таких интегральных величин как коллективный риск, существует метод, использующий данные из векторных объектов:

```
integral_value = getVectorIntegral(raster_id, geoJson, field_name),
```

где *integral\_value* – скалярный результат интегрирования растра *raster\_id* и величины, взятой из поля *field\_name* векторных объек-

тов, переданных в формате *geoJson*, пространственно совпадающих с ячейками раstra.

Для примера, при расчете коллективного риска используется растр, содержащий в своих ячейках величину потенциального риска, которая умножается на значение плотности людей в данной точке пространства, взятое из соответствующего атрибута полигона, с которым данная ячейка пересекается (см. раздел «Коллективный риск»).

## Использование OpenAPI спецификации

Методы, реализующие серверный API (backend), как правило, доступны через *REST-запросы* [21], представляющие собой стандартные HTTP-запросы (GET, POST и т. д.) с передачей необходимых параметров. Передача и возврат сложных структур данных производится в формате XML или JSON.

Для того чтобы разработчики клиентского кода (или frontend-a) могли корректно использовать существующий API, спецификации всех его методов должны быть тщательно задокументированы. В документацию должны входить не только перечень и типы передаваемых и возвращаемых методами значений, допустимые диапазоны и перечислимые константы, но также и человеко-читаемое описание этих данных, единицы измерений численных типов и многое другое. Грамотно составить документацию на API и не сделать при этом ошибок порой бывает сложно.

К счастью, существуют открытые программные инструменты, облегчающие это процесс. *OpenAPI Specification* [22] (или *Swagger Specification*) – это множество инструментов, предоставляющих интерфейс между клиентским frontend-ом и серверным API (backend-ом). OpenAPI спецификация декларативна (сохраняется в форматах JSON/YAML/XML) и не зависит от конкретного языка программирования. Существуют веб-инструменты, позволяющие создавать спецификации. Если спроектирована спецификация для некоторого сервиса, то на ее основании можно даже сгенерировать исходный код для frontend-a и backend-a на различных языках программирования, текстовую документацию для пользователей, варианты тестирования и многое другое. На рисунке 9 представлены

скриншоты окна веб-редактора OpenAPI спецификации, расположенного на сайте <https://app.swaggerhub.com>.

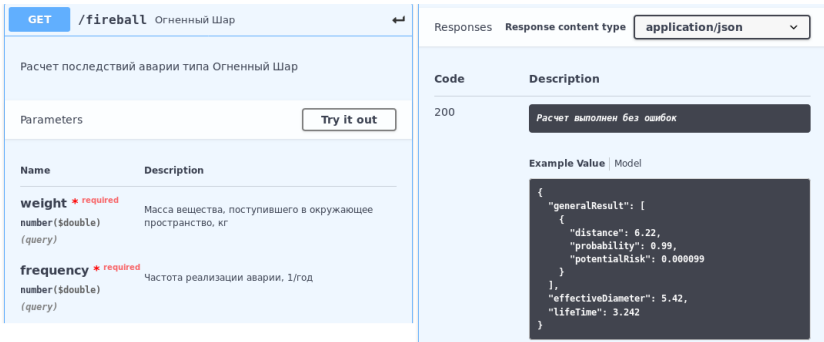


Рисунок 9 — Web-редактор OpenAPI спецификации

## Порядок использования API в пользовательском интерфейсе браузера

Представим ситуацию, когда пользователь, работающий в браузере, собирается сделать расчеты потенциального риска от нескольких рядом расположенных объектов и затем увидеть результаты на карте в виде полупрозрачной градиентной заливки и дополнительных векторных изолиний.

Предполагается, что методы, вычисляющие функции  $f(r)$  или  $f(x, y)$ , уже реализованы на сторонних сервисах, доступны через соответствующие документированные API и возвращают при вызове ограниченный набор рассчитанных значений (см. п. «Требования к программной декларации метода, реализующего целевую функцию»).

Примерный порядок действий пользователя и инициируемых этими действиями вызовов методов API следующий.

- 1 Пользователь выбирает точку на карте — предполагаемое место одного из источников аварии (параметры  $lon_0, lat_0$ ). Вместо точки пользователь может создать/нарисовать на карте полилинию, соответствующую протяженному линейному



источнику опасности – трубопроводу (*geoJson*); нарисовать полигон (*geoJson*), соответствующий зоне аварии; или прочертить отрезок (или отрезки), обозначающий короткий участок (или последовательные однородные короткие участки) трубопровода (соответственно  $lon_0, lat_0, lon_1, lat_1$  или *geoJson*). Затем он должен выбрать один из доступных для расчета типов аварии и ввести требуемые начальные параметры (например, масса вещества, тип подложки и т.п., согласно соответствующей спецификации API). Если потребуется, то геометрические параметры источника – площадь зоны, длина отрезка, направление отрезка в соответствии со сторонами света – будут вычислены автоматически.

- 2 После этого реализация *frontend*-а (JavaScript) запросит соответствующий расчет через сторонний API и в ответ получит список рассчитанных точек:

$[(x_1, y_1, f_1), (x_2, y_2, f_2), \dots, (x_N, y_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ , или

$[(r_1, \phi_1, f_1), (r_2, \phi_2, f_2), \dots, (r_N, \phi_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ , или

$[(r_1, f_1), (r_2, f_2), \dots, (r_N, f_N)] = \text{myFunction}(params)$ .

Если метод расчета возвращает точки в полярной системе координат, тогда происходит пересчет в декартову систему.

- 3 Непосредственно вслед за этим код *frontend*-а сделает следующий запрос к API по созданию растра на основе этого полученного списка точек:

$\{raster\_id, [lon_{min}, lat_{min}, lon_{max}, lat_{max}]\} = createRaster([(x_1, y_1 f_1), (x_2, y_2 f_2), \dots, (x_N, y_N f_N)], dx, dy, lon_0, lat_0, < lon_1, lat_1 >)$ , или

$\{raster\_id, [lon_{min}, lat_{min}, lon_{max}, lat_{max}]\} = createRaster([(r_1 f_1), (r_2 f_2), \dots, (r_N f_N)], dx, dy, [lon_0, lat_0][geoJson])$ ,

в котором пространственное разрешение создаваемого растра ( $dx, dy$ ) будет взято из общих настроек. *frontend*-у будут возвращены идентификатор созданного растра и его экстенд, получив которые он сразу же сделает следующий запрос к API на получение PNG-изображения:

4  $PNG = \text{getPNG}(raster\_id, << Spectral >>, 10, 0, 1)$  – получить 10 спектральных градаций в диапазоне вычисляемой величины от 0 до 1.

5 Получив изображение, frontend наносит его на карту, используя полученный ранее экстенст как географическую привязку.

6 Одновременно с запросом на получение PNG-изображения frontend сделает параллельный асинхронный запрос по созданию изолиний с шагом 0.1 по значению отображаемой величины:

$GeoJSON = \text{getIsolines}(raster\_id, 0.1),$

и, когда результат будет получен, сразу же отобразит его на карте.

7 Теперь пользователь собирается добавить еще один источник аварии, поэтому пункты 1-3 повторяются.

8 После создания второго растра frontend не запросит соответствующее ему PNG-изображение. Причина в том, что зоны потенциального риска от нескольких аварий могут пересекаться. Поэтому на данном шаге frontend запросит у API сложить новый растр с уже имеющимися:

$raster\_id, [lon_{min}, lat_{min}, lon_{max}, lat_{max}] = \text{getSum}(raster\_id_1, raster\_id_2, \dots).$

9 Только теперь будут выполнены шаги 4-6, но уже в отношении растра, содержащего сумму отдельных растров. Ранее полученные PNG-изображение и векторные изолинии будут замещены на карте новым экземпляром, показывающим уже суммарный результат.

Важно отметить отличия в указанном алгоритме действий при таких вычислениях, как расчет потенциального риска от протяженных участков трубопроводов с учетом розы ветров, а также расчет риска от нескольких последовательных коротких отрезков трубопроводов. В обоих случаях пользователь нарисует на карте полилинию в качестве источника риска.

Отличия связаны с тем, что для каждого прямолинейного участка в полилинии будут произведены отдельные запросы на вычисление методов *myFunction()* и соответственно *createRaster()*, так как входные параметры для расчетов на этих участках (такие, как длина отрезка и направление его относительно сторон света) будут различными. После этого созданные растры будут сложены и отображены на карте – шаги 8, 4-6.

- 10 Если пользователь переместил один из источников аварии, тогда код frontend-а сделает запрос к API на смену местоположения:

```
[lonmin, latmin, lonmax, latmax] = setLonLat(raster_id, lon0, lat0),
```

после чего шаги 8,9 будут повторены.

- 11 Для расчета коллективного риска на карте пользователя уже должен присутствовать векторный полигональный слой, содержащий зоны нахождения людей, с указанием количества людей в каждом полигоне в одном из атрибутов. При запуске расчета код frontend-а сделает запрос к API следующего вида:

```
integral_value = getVectorIntegral(raster_id, geoJson, field_name),
```

где *raster\_id* – идентификатор суммарного растра; *geoJson* – полигональный слой; *field\_name* – имя атрибута в полигональном слое, содержащем количество людей.

## Программная реализация API

Реализация описанного в данной работе серверного API (backend-а) выполнена на языке программирования *Scala* [23] с использованием дополнительных библиотек, таких как:

- *GeoTrellis* [24] – для работы с GIS-объектами (растрами и векторами);
- *Breeze* [25] – для работы с математическими функциями, в частности для работы со сплайнами;
- *Play* [26] – для организации REST-запросов к API.

Для части задач, в частности для построения изолиний, также используются утилиты *GDAL* [27].

Кроме описанных в предыдущих разделах методов существуют еще несколько стандартных вызовов, управляющих пользовательской сессией.

Надо отметить, что описанная реализация серверного API не предусматривает хранение пользовательских данных между сессиями, и не предоставляет дополнительные данные, такие как, например, векторные слои зон нахождения людей.

Спецификация всех существующих методов выполнена с помощью инструментов OpenAPI/Swagger.

## Программная реализация пользовательского интерфейса

Предполагаемая реализация клиентского кода, работающего в браузере пользователя с картографической информацией, предусматривает использование таких JavaScript-библиотек, как *LeafletJS* [28], *jQuery*.

Поскольку одной из целей разработки описываемого в данной работе API является последующее его внедрение в веб-сервис «Оценка рисков чрезвычайных ситуаций, устойчивости территорий и хозяйствующих субъектов Российской Федерации» (<http://risktools.ru> [29]), то и практическое его использование будет зависеть от конкретной клиентской реализации указанного сервиса.

## Заключение

В описываемой работе сделан упор на спецификацию и реализацию серверного API, способного выполнять необходимые основные операции по созданию и обработке растровых изображений, представляющих собой картографическое отображение программно-вычисляемых пространственных величин, чаще всего связанных с техногенным риском.

В работе НЕ ставились такие задачи, как:

- программная реализация вычисления самих отображаемых величин (например, функций потенциального риска при определенном типе аварии и т. п.);

- реализация конкретного веб-интерфейса, использующего данный API.

В работе сделано предположение, что уже реализован другой API, вычисляющий прикладные величины, и возвращающий клиентскому коду набор узловых точек. Один из таких API используется при расчете типовых аварий на сайте <http://rintd.ru/accidents/> [30].

Демонстрацией реализации веб-интерфейса может служить ресурс <http://beta.risktools.ru/>, в который впоследствии будут внедрены возможности, предоставляемые созданным в данной работе API.

### Список литературы

1. API // Википедия. [2019]. Дата обновления: 21.05.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99940784> (дата обращения: 22.05.2019).
2. Геоинформационная система // Википедия. [2019]. Дата обновления: 08.05.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99656780> (дата обращения: 22.05.2019).
3. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2006 No 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
4. СНиП Г. 2.01. 01–82. Строительная климатология и геофизика // М.: Стройиздат. – 1983.
5. Анашин В.О., Радикова А.В., Ранжирование территорий по уровню коллективного риска при авариях на техногенных объектах на примере автозаправочных станций // Безопасность в техносфере: сборник статей/ науч. Ред. Колодкин В.М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018 – 88–95с.
6. Палитра (компьютерная графика) // Википедия. [2018]. Дата обновления: 25.06.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=93560205> (дата обращения: 22.05.2019).

7. Калиткин Н.Н. Численные методы. 2 изд. – БХВ-Петербург, 2011.
8. Сравнение методов интерполяции [Электронный ресурс]. – <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
9. Triangulated irregular network // Википедия. [2019]. Дата обновления: 26.02.2019. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Triangulated\\_irregular\\_network&oldid=885161302](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Triangulated_irregular_network&oldid=885161302) (дата обращения: 22.05.2019).
10. WATSON D. F., PHILIP G. M. A refinement of inverse distance weighted interpolation // Geo-processing. – 1985. – Т. 2. – №. 4. – С. 315-327.
11. Как работает инструмент Кригинг (Kriging) [Электронный ресурс]. – <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
12. Sibson, R. «A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation,» chapter 2 in Interpolating Multivariate Data. New York: John Wiley & Sons, 1981. 21–36.
13. Franke R. Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines // Computers & Mathematics with Applications. – 1982. – Т. 8. – №. 4. – С. 273-281.
14. PNG // Википедия. [2018]. Дата обновления: 11.11.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=96239163> (дата обращения: 22.05.2019).
15. WGS 84 // Википедия. [2018]. Дата обновления: 20.04.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=92196407> (дата обращения: 22.05.2019).
16. Равновеликая азимутальная проекция Ламберта // Википедия. [2015]. Дата обновления: 27.05.2015. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=71065090> (дата обращения: 22.05.2019).
17. GeoJSON [Электронный ресурс]. – <https://geojson.org/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).

18. Проекция Меркатора // Википедия. [2019]. Дата обновления: 15.03.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98659509> (дата обращения: 22.05.2019).
19. Каталог географических проекций – EPSG [Электронный ресурс]. – <http://www.epsg.org/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
20. Tomlin C. D. GIS and cartographic modeling. – Esri Press, 2013.
21. REST // Википедия. [2019]. Дата обновления: 01.05.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99523599> (дата обращения: 22.05.2019).
22. OpenAPI (спецификация) // Википедия. [2019]. Дата обновления: 24.03.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98822037> (дата обращения: 22.05.2019).
23. The Scala Programming Language [Электронный ресурс]. – <https://www.scala-lang.org/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
24. GeoTrellis is a geographic data processing engine for high performance applications [Электронный ресурс]. – <https://geotrellis.io/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
25. Breeze is a numerical processing library for Scala [Электронный ресурс]. – <https://github.com/scalanlp/breeze> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
26. Play Framework [Электронный ресурс]. – <https://www.playframework.com/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
27. GDAL – Geospatial Data Abstraction Library [Электронный ресурс]. – <https://www.gdal.org/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
28. Leaflet – a JavaScript library for interactive maps [Электронный ресурс]. – <https://leafletjs.com/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).
29. Галиуллин М.Э., Картографическая подсистема веб-сервиса оценки риска на техногенных объектах // Безопасность в техносфере: сборник статей/ науч. Ред. Колодкин В.М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018 – 68-81с.

30. Расчет типовых аварий на сайте «Института Катастроф» [Электронный ресурс]. – <http://rintd.ru/accidents/> (режим доступа: свободный, дата обращения 22.05.2019).

## CREATING AN API TO DISPLAY SPATIAL VALUES IN WEB MAPPING INTERFACES

*M.A. Galiullin*

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

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

*The article describes the approaches to the creation and implementation details of the server API, designed to display the calculated spatially distributed values in web interfaces together with other geographical maps online. Emphasis is placed on the visualization of calculated values associated with technological risks and accidents. The rationale for the use of interpolation algorithms as a means of quickly calculating the values of arbitrary software-calculated values is given. Lists, describes the specifications and implementation details of the API methods needed to solve the problem. A brief description of the OpenAPI Specification tool is provided, which simplifies the work of documenting the API. A description of the use of the developed API in the client code of the web interface is given. The article concludes with a list of software libraries and utilities used to implement the API, as well as links to existing JavaScript libraries that simplify the creation of web-based cartographic interfaces.*

Keywords: risk evaluation, hazardous industrial facilities, web-service, cartography, GIS, API, OpenAPI.



УДК 699.81

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

О.А. Демин

Главное управление МЧС России по Удмуртской Республике,  
Ижевск, Россия

e-mail: o.d@bk.ru

*В статье рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности многофункциональных зданий, как одного из перспективных видов архитектурных объектов в современной городской застройке. Наиболее подробно рассмотрены основные критерии, такие как, большая площадь, множество помещений с различным функциональным назначением, неоднозначные (а порой уникальные) планировки, наличие атриумных пространств, большое количество одновременно находящихся в здании людей.*

**Ключевые слова:** строительство, проектирование, пожарная безопасность, многофункциональные здания.

Многофункциональное здание (далее – МФЦ) – один из перспективных видов архитектурных объектов в современной городской застройке. Их строительство сегодня быстро и динамично развивается, являясь востребованным объектом инвестиций, стимулируя при этом развитие новых технологий, инженерно-технических решений и архитектурно-планировочных приемов.

Строительство и эксплуатация МФЦ связано с современными тенденциями человеческого максимализма. Потребности современного человека диктуют большие свободные пространства, которые выражаются в больших торговых центрах, развлекательных учреждениях и др. Современный потребитель желает получать все необходимые услуги в одном месте, что в свою очередь рождает спрос на МФЦ.

Наибольшую пожарную опасность в крупных МФЦ создают их большие площади, множество помещений с различным функциональным назначением, неоднозначные (а порой уникальные)

планировки, применение атриумных пространств, большое количество одновременно находящихся людей и их удаленность до эвакуационных выходов.

Далее рассмотрим подробнее эти критерии.

## **Превышение нормативной площади здания**

Выбор размеров зданий и пожарных отсеков следует производить в зависимости от степени их огнестойкости, класса конструктивной и функциональной пожарной опасности, а также пожарной опасности происходящих в них технологических процессов, в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

Превышение нормативной площади застройки здания, а также этажа размещенного в пределах пожарного отсека сопровождается опасностью распространения пожара по всей площади. На большей площади размещается больше горючей нагрузки, в результате чего возникает необходимость применение повышенного количества сил и средств для тушения пожара.

Увеличение площади застройки (этажа) прямо пропорционально увеличению количества людей и увеличению расстояния от возможного очага пожара до ближайшего эвакуационного выхода.

Стремление собственников МФЦ к максимализму и эксплуатации помещений огромных площадей, вынуждает их применять дополнительные противопожарные преграды, разделяющие части здания на пожарные секции, в том числе применение дренчерных завес, зон свободных от горючей нагрузки и противопожарных штор.

## **Размещение в одном здании множества помещений различного класса функциональной пожарной опасности**

Функционально-планировочные компоненты МФЦ, объединяющие в одном здании множество помещений различного класса функциональной пожарной опасности, соединяются горизонтальными и вертикальными коммуникациями (переходами, лестницами и т.п.).

Объединение помещений различного класса функциональной пожарной опасности увеличивает вероятность возникновения пожароопасных ситуаций, из-за разнообразных технических процессов при эксплуатации помещений. При отсутствии противопожарных преград, разделяющих помещения, возможно быстрое распространение пожара.

Каждое помещение имеющее собственное функциональное назначение несет в себе опасность появления, как общей, так и специфической, присущей только этому помещению, пожароопасной ситуации. Этому способствует применение различных технологических аппаратов и различной пожарной нагрузки. МФЦ в большинстве случаев являются объектами с массовым пребыванием людей, а человек в современном обществе стал «четверной стороной» в «треугольнике пожара».

Самая большая опасность связана с реконструкцией ранее производственных, складских или других зданий под МФЦ, зачастую без разработанного в установленном порядке проекта. Указанная опасность неоднократно подтверждалась крупными резонансными пожарами (ТЦ «Зимняя вишня» в г. Кемерово 25.03.2018, ТЦ «Адмирал» в г. Казань 11.03.2015, ТЦ «Европа» в г. Уфа 22.01.2011, ТЦ «Пассаж» в г. Ухта 11.07.2005 и др.).

Решением данного вопроса является функциональное и планировочное обособление различных компонентов (функциональных зон) МФЦ, оборудование их самостоятельными эвакуационными выходами в лестничные клетки, холлы и вестибюли.

### **Применение атриумных пространств, объединяющих несколько этажей**

Применение атриумов в современных МФЦ стало нормой и неотъемлемой частью здания. Масштабы атриумов привлекают посетителей и повышают статус зданий. Но при этом и появляется опасность распространения продуктов горения во время даже незначительного пожара (дым, потеря видимости и др.) на верхние этажи, что приводит к ограничению или к невозможности свободной эвакуации людей.

Длительное время, после строительства первых зданий с атриумами, считалось, что на проектирование атриумных пространств,

объединяющих несколько этажей, нормы просто отсутствуют. На сегодняшний день требования направленные на обеспечение пожарной безопасности изложены в СП 160.1325800.2014 «Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования».

Устройство атриумов необходимо размещать в части здания, выделенной в пожарный отсек, оборудованный соответствующими системами противопожарной защиты (дымовой пожарной сигнализацией, автоматической системой пожаротушения и системой дымоудаления).

Все помещения, выходящие в атриум, должны иметь не менее двух путей эвакуации, протяженность которых не должна превышать 60 м.

К отделке внутренних поверхностей атриумов предъявляются повышенные требования, а именно необходимость применения только негорючих материалов.

С целью повышения пожарной безопасности МФЦ с многосветным пространством считаю необходимым применять дополнительные мероприятия, а именно:

- для выделения зоны многосветного пространства (атриума) от примыкающих путей эвакуации (коридоров), используемых для эвакуации людей с наземных и порой с подземных этажей, вместо спринклерной системы пожаротушения необходимо применить дренчерную, включение которой осуществляется от пожарных извещателей в зоне атриума и прилегающих к ней путей эвакуации;
- учитывая отсутствие конструктивного выделения, по периметру многосветного пространства предусмотреть дополнительные дымоприемные устройства, с целью изолирования наиболее опасного фактора пожара - дыма (потеря видимости и распространение токсичных продуктов горения) от примыкающих к атриуму путей эвакуации.

## **Проблема конструктивных решений**

Активная тенденция в строительстве больших по площади и высоте зданий требует применение облегченных строительных

конструкций, зачастую с пониженным пределом огнестойкости, применение светопрозрачных конструкций, а также конструкций не достигающих до перекрытия этажей (перегородки торговых бутиков и других общественных помещений).

Пониженный предел огнестойкости строительных конструкций приводит к быстрой деформации здания во время пожара. В случае позднего обнаружения пожара, по прибытию первого подразделения пожарной охраны, здание может потерять свою несущую способность, а следовательно усложнит или просто сделает невозможным проведение аварийно-спасательных мероприятий в здании.

Для обеспечения пожарной безопасности зданий с подобными конструкциями необходимо разрабатывать комплекс мероприятий по повышению предела огнестойкости строительных конструкций и своевременному удалению продуктов горения во время пожара из помещений и особенно из зон предназначенных для эвакуации людей.

В данной связи необходимо предусмотреть ряд ограничений способствующих обеспечению пожарной безопасности в зданиях с применением не традиционных конструктивных решений. В том числе применение огнезащитных составов для достижения «повышенной» (I – первой) степени огнестойкости здания, применения в помещениях с массовым пребыванием людей и на путях эвакуации только негорючих материалов.

### **Сложность эвакуации людей, связанная с удаленностью до эвакуационных выходов**

Современные multifunctional здания и торговые центры характеризуются большими площадями. Все чаще встречаются торговые залы, представляющие различную продукцию в едином помещении, площадь которых может быть 10000 и более м<sup>2</sup>. Размещение в торговых центрах бутиков, выходы из которых, как правило, ведет в общий вестибюль или холл.

Пожарная опасность помещений с большими площадями связана с удаленностью до эвакуационных выходов. А преодоление указанного пути, во время пожара, сопровождается опасностью

появления паники, загромождения путей эвакуации и наличия опасных факторов пожара.

Для безопасной эвакуации людей из здания и в первую очередь на путях эвакуации, наряду с автоматической пожарной сигнализацией и оповещением людей в случае пожара, необходимо применять системы дымоудаления и пожаротушения.

Система дымоудаления предназначена для своевременного удаления продуктов горения (основного и самого опасного фактора пожара) из зоны эвакуации людей, что значительно увеличивает время блокирования путей эвакуации, а следовательно предоставит людям дополнительное время для выхода из здания.

Система автоматического пожаротушения предназначена для защиты материальных ценностей, а также снижения температуры строительных конструкций в очаге пожара и ограничения распространения огня.

Для преодоления протяженных коридоров сложной (запутанной) формы должны применяться элементы фотолюминесцентных систем, материал которых обеспечивает время послесвечения 24 ч, что позволяет использовать (применять) эвакуационные знаки в течение всего темного времени суток.

### **Необходимость одновременного применения нескольких систем противопожарной защиты**

Учитывая большие размеры и сложность МФЦ требования нормативных документов по пожарной безопасности вынуждают в указанных зданиях применять одновременно несколько автоматических систем противопожарной защиты (далее – СПЗ) (например, дымоудаление, с пожаротушением и (или) применением водяных завес), что снижает их эффективность.

Так, например, применение газового и порошкового пожаротушения ограничивается для помещений с массовым пребыванием людей (50 человек и более). А для помещений с меньшим количеством людей применение указанных систем сопровождается необходимостью использования временной задержки для своевременной и безопасной эвакуации людей из помещения.

Эффективность одновременной работы порошковой (газовой) системы пожаротушения и системы дымоудаления в помещении

может снизиться до «нуля». Порошок или газ, предназначенный для защиты материальных ценностей, будет удаляться включенной системой дымоудаления.

В этой ситуации в системе пожаротушения необходимо применять либо иные огнетушащие вещества, либо прорабатывать алгоритм одновременной работы указанных систем.

На эффективность работоспособности СПЗ также влияет своевременное отключение других систем здания, таких как принудительная вентиляция, электроснабжение оборудования не связанного с работой СПЗ и др.

Одновременная работа всех СПЗ и других систем в МФЦ возможна только по четко слаженному алгоритму.

Для эффективной работы многочисленных смонтированных СПЗ в МФЦ необходим алгоритм, где учитывается их поэтапное отключение и включение.

Для обеспечения режима совместного действия СПЗ в здании МФЦ, необходимо определить следующий алгоритм отдельных элементов СПЗ, в порядке приоритета:

- включение оповещения людей о пожаре (для обеспечения начала своевременной эвакуации людей из здания);
- отключение основного электропитания здания (кроме электропитания СПЗ) (для исключения появления новых источников возгорания, а также исключения травматизма эвакуируемых людей в случае попадания воды на электроприборы);
- отключение систем приточной и вытяжной вентиляции (для исключения возможного распространения опасных факторов пожара по всему зданию);
- включение системы дымоудаления (для организации безопасной эвакуации людей по незадымляемым зонам);
- включение системы пожаротушения (для защиты (тушения и охлаждения) материальных ценностей и строительных конструкций).

Учитывая разделение здания на функциональные пожарные секции, включение СПЗ должно осуществляется в первую очередь в

горящей секции и в последствии в смежно-расположенных секциях (за исключением системы оповещения людей о пожаре – включение данной системы должно осуществляется непосредственно после сработки автоматической пожарной сигнализации).

Предлагаемый алгоритм последовательного включения системы дымоудаления обеспечит нераспространение опасных факторов пожара в смежные от очага пожара секции, а поэтапное включение дренчерной системы пожаротушения обеспечит поддержание требуемого расхода воды в зоне очага пожара, выделяя ее от смежных секций.

**В заключении** необходимо отметить, что требуемые по нормам и предлагаемые в магистерской работе дополнительные противопожарные мероприятия, в первую очередь направлены на обеспечение безопасности людей при нахождении их в здании МФЦ, а также во время эвакуации в случае пожара и только во вторую очередь для защиты строительных конструкций здания и материальных ценностей объекта.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме».
5. СП 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».
6. СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
7. СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией при пожаре. Требования пожарной безопасности».



8. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничения распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».
9. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».
10. СП 6.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности».
11. СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования».
12. СП 8.13130.2009 «Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности».
13. СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности».
14. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
15. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения».
16. СП 160.1325800.2014 «Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования».
17. СП 59.13330.2012 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.
18. СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий».
19. СП 55-101-2000 «Свод правил по проектированию и строительству ограждающие конструкции с применением гипсокартонных листов».
20. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
21. ГОСТ 12.2.143-2009 «Системы фотолюминесцентные эвакуационные».
22. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

23. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80).
24. РД 009-01-96 «Установки пожарной автоматики правила технического содержания».
25. Техническая информация (в помощь инспектору государственной противопожарной службы), разработанная ФГУ ВНИИПО МВД России (ФГБУ ВНИИПО МЧС России).

## **METHODS OF FIRE SAFETY OF MULTIFUNCTIONAL BUILDINGS**

*O.A. Demin*

The Main Department of EMERCOM of Russia in the Udmurt Republic, 426008, Russia, Republic of ANS, Izhevsk, lower.  
Kommunarov, 325  
e-mail: *o.d@bk.ru*

*The article deals with the issues of fire safety of multifunctional buildings as one of the most promising types of architectural objects in modern urban development. The main criteria, such as a large area, a lot of rooms with different functional purpose, ambiguous (and sometimes unique) layout, the presence of atrium spaces, a large number of people in the building at the same time are considered in detail.*

Keywords: construction, design, fire safety, multifunctional buildings.

УДК 004.031.42

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

*А.В. Радикова*

Удмуртский государственный университет г. Ижевск, Россия

e-mail: *anna.radikova.ar@gmail.com*

*В статье приведена количественная оценка риска аварий на автоматической газораспределительной станции (АГРС): выявлены потенциально возможные аварии на АГРС, причины и факторы, способствующие возникновению и развитию аварий на АГРС, представлены сценарии и частоты развития аварийных ситуаций и представлены последствия от воздействия поражающих факторов в виде ситуационных планов.*

**Ключевые слова:** техногенный риск, количественная оценка риска аварий, взрыв топливно-воздушной смеси, аварийный риск, газораспределительная станция, ситуационный план.

### Введение

Автоматическая газораспределительная станция (АГРС) предназначена для снижения высокого давления природного газа до заданного низкого давления и поддержания его с заданной точностью, а также для измерения расхода газа и одоризации его перед подачей потребителю. Объект представляет собой потенциальную опасность, являясь пожаро-взрывоопасным.

АГРС – блочное изделие, с размещением оборудования в трех отдельных блок-боксах, которые при монтаже устанавливаются на единый фундамент и стыкуются между собой. В результате образуется помещение АГРС, разделенное изнутри на семь изолированных отсеков: одоризации, переключений, технологический, управления (операторная) и подготовки теплоносителя. Отсеки оборудованы обособленными входами снаружи и защищены от доступа посторонних лиц и атмосферных воздействий.

Газ высокого давления поступает из магистрального газопровода на вход АГРС (отсек переключений), проходит несколько этапов

(очистка, подогрев, регулирование давления, замер газа, одоризация) и поступает в выходные газопроводы.

Для оценки вероятных зон действия поражающих факторов при аварийных ситуациях на АГРС, были использованы методы, прошедшие тщательное тестирование; были использованы нормативные документы [1–3], рекомендованные к практическому применению.

### **Количественная оценка риска на АГРС**

При оценке риска проводилось математическое (компьютерное) моделирование последствий инициирующих аварию событий [4]. В результате моделирования прогнозировались характеристики источников опасности и последствия аварий в отношении человека и окружающей природной среды.

В результате анализа можно выявить следующие виды потенциально возможных аварий на АГРС: разгерметизация установки АГРС, авария на газопроводе (в помещении АГРС и в открытом пространстве на территории объекта) в результате разгерметизации. Основными причинами перечисленных аварий служат несоблюдение операторами техники безопасности, отказ автоматики, а также износ оборудования.

Факторы, способствующие возникновению и развитию аварий на АГРС:

- 1 Наличие на объекте воспламеняющегося газа под давлением создает опасность выброса опасного вещества при аварийной разгерметизации газопровода.
- 2 Использование оборудования с дефектами или старого оборудования может привести к разгерметизации оборудования, которое приведет к возникновению и развитию аварий.

Возможные причины аварий на АГРС:

- Ошибки персонала при ведении технологического процесса (ошибки при строительстве, несвоевременное проведение диагностики и ремонта).
- Превышение давления в газопроводе сверхдопустимого.

- Отказы газопроводов, арматуры и разъемных соединений из-за дефектов изготовления, механических повреждений, коррозии.
- Механическое разрушение газопровода при строительных работах.
- Вандализм, преднамеренные действия, террористические акты.

Для объектов данного типа обычно выделяют следующие виды воздействия:

- воздействие ударной волны;
- термическое воздействие;
- токсическое воздействие.

Любой сценарий начинается с инициирующего события (утечки различной интенсивности), которое может возникнуть с некоторой частотой (таблица 1) [2]. Частота сценарного исхода определяется частотами событий, характеризующих рассматриваемый сценарий. Для нахождения частот сценарного исхода строились «деревья событий» (рисунки 1, 2, 3, 4).

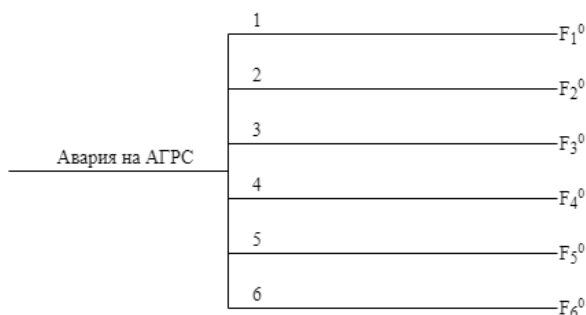


Рисунок 1 — Фрагмент дерева событий на АГРС

Таблица 1 — Частоты событий аварийных сценариев на АГРС

|   |                                                                                                 |                                              |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 | Авария на установке АГРС                                                                        | $F_1^0 = 6,20 \cdot 10^{-5} \text{Год}^{-1}$ |
| 2 | Авария на газопроводе (помещение)                                                               | $F_2^0 = 6,87 \cdot 10^{-7} \text{Год}^{-1}$ |
| 3 | Авария на газопроводе (вне помещения на территории объекта)                                     | $F_3^0 = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{Год}^{-1}$ |
| 4 | Аварии во вспомогательных помещениях и аварии, обусловленные ЧС на рядом расположенных объектах | $F_4^0 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{Год}^{-1}$ |
| 5 | Аварии, обусловленные ЧС на транспортных коммуникациях                                          | $F_5^0 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{Год}^{-1}$ |
| 6 | Авария с вентиляционной системой АГРС, вызвавшая отравление угарным газом                       | $F_6^0 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{Год}^{-1}$ |

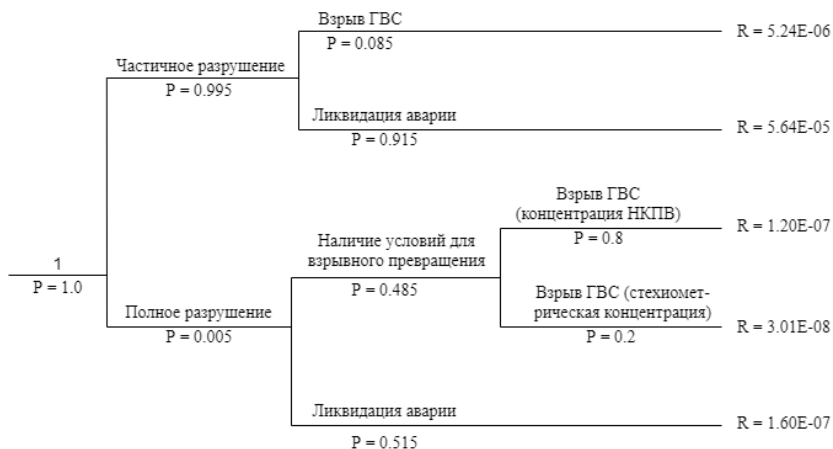


Рисунок 2 — Фрагмент дерева событий для аварии на установке АГРС



Рисунок 3 — Фрагмент дерева событий для аварии на газопроводе (в помещении АГРС)

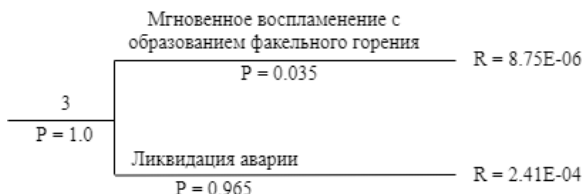


Рисунок 4 — Фрагмент дерева событий для аварии на газопроводе на территории объекта (вне помещения АГРС)

При проведении компьютерного моделирования [4] последствий аварий на объекте были получены ситуационные планы АГРС с нанесенными на них уровнями потенциального риска и вероятностями поражения человека (рисунки 5, 6).

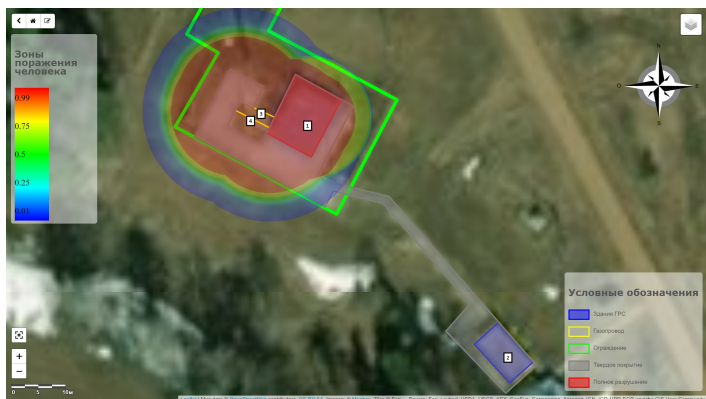


Рисунок 5 — Ситуационный план с нанесенными на него зонами последствий на АГРС)



Рисунок 6 — Ситуационный план с нанесенными на него зонами потенциального риска на АГРС



### Список литературы

1. 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».
2. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
3. 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».
4. Безопасность в техносфере [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://beta.risktools.ru/> (Дата обращения: 10.05.2019).

### QUANTITATIVE ASSESSMENT OF RISK OF ACCIDENTS AT AUTOMATIC GAS DISTRIBUTION STATION

*A. V. Radikova*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [anna.radikova.ar@gmail.com](mailto:anna.radikova.ar@gmail.com)

*The article provides a quantitative assessment of the risk of accidents at an automatic gas distribution station (AGRS): identified potential accidents at an AHD, the causes and factors contributing to the occurrence and development of accidents at an AHD, scenarios and frequencies of emergencies are presented, and the consequences of the impact of damaging factors are presented in the form situational plans.*

Keywords: industrial risk, quantitative assessment of the risk of accidents, explosion of the fuel-air mixture, emergency risk, gas distribution station, situational plan.

УДК 614.841

## ОБЗОР ПРОГРАММ ПО РАСЧЕТУ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

*Д.М. Варламова*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *dina@rintd.ru*

*Статья посвящена обзору программ, программных комплексов по расчету категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Рассмотрено пять программ по расчету категорий помещений. Представлены функциональные возможности, стоимость программ.*

**Ключевые слова:** программный комплекс, категорирование помещений, взрывопожарная и пожарная опасность.

Расчет категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности позволяет определить владельцам помещений, какие противопожарные мероприятия следует провести, чтобы обезопасить персонал и материальные ценности. Для выполнения расчета категорий разработаны нормативные документы [1,2].

Существует большое количество организаций, которые выполняют расчет категорий помещений взрывопожарной и пожарной опасности. Также для выполнения расчетов категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности разработаны программные комплексы, веб приложения. Рассмотрим программные комплексы, стоимость программ, какие данные необходимо вводить при выполнении расчетов категорий помещений, какие данные будут представлены в отчете.

- 1 Программа **FireGuard 2**, разработчик программы – АО «Современные программные технологии», г. Нижний Новгород. Программа предназначена для определения категорий помещений, зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. Стоимость данной программы составляет 47990,00 рублей, в поставку входит дистрибутив (USB-флеш носитель) и USB-ключ защиты [3].

Особенности данной программы:

- расчет категорий помещений;
- сложные горючие объекты;
- редактор материалов (около 10000 веществ), также можно добавлять новые горючие вещества, которых нет в базе данных программы.

Данная программа была доработана и разработана новая версия **FireGuard 3**, в программу добавлен расчет категорий наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (рисунок 1). Стоимость программы составляет 64890,00 рублей на 1 год. У программы FireGuard 3 есть демо-версия, есть возможность ознакомиться с программой онлайн и в течении 2 часов поработать в программе. Результаты расчета предоставляются в текстовом документе MS Word. Полное описание программы представлено в руководстве [4]. Данная программа имеет сертификат соответствия и зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ.

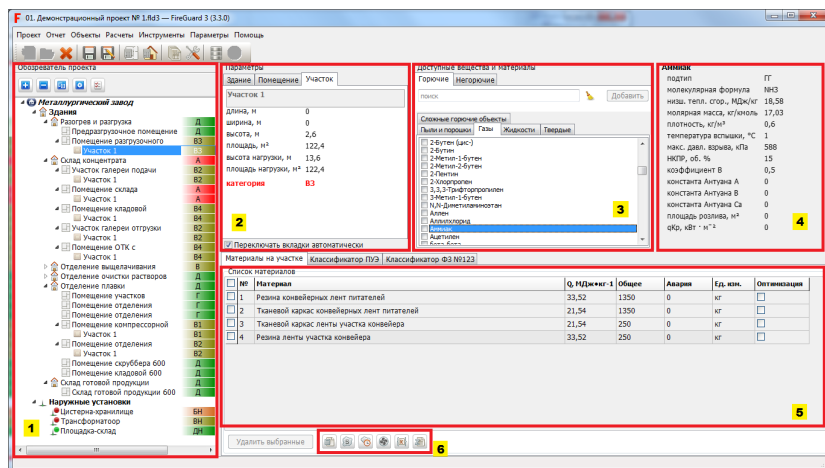


Рисунок 1 — Главное окно программы FireGuard 3

- 2 Программа **FireCategories**, разработчик программы – ИП Карькин Илья Николаевич, г. Екатеринбург. Программа предназначена для определения категорий помещений, зданий, наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Программа разработана в соответствии с нормативными документами [1, 2]. Описание программы представлено в документе [5]. Результаты расчета предоставляются также в текстовом документе MS Word. Стоимость программы составляет 27900,00 рублей (однопользовательская лицензия на 1 год). Программа состоит из базы данных веществ и материалов, также имеется возможность пополнять базу данных. Программный комплекс FireCat имеет сертификат соответствия и зарегистрирован в Фонде алгоритмов и программ для ЭВМ МЧС России в области обеспечения пожарной безопасности (рисунок 2).

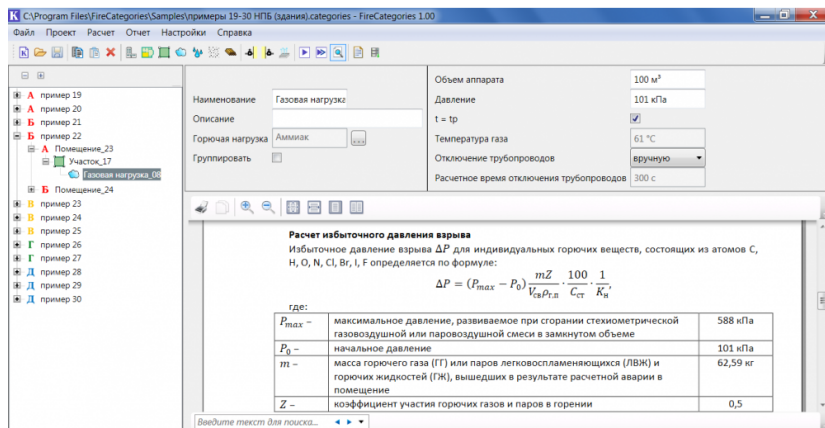


Рисунок 2 — Интерфейс программы FireCategories

- 3 **Фогард-К** – программа для определения категорий помещений и зданий [6], разработчик программы – ООО «Институт технического регулирования и независимой экспертизы» (Интернэкс), г. Москва. Программа предназначена для определения категорий помещений, зданий, наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Программа доступна

онлайн. Стоимость доступа к данной программе в течение года составляет 53900,00 рублей.

К функциональным возможностям данной программы относятся: - определение категорий либо помещений, либо зданий; - создание собственной базы горючих материалов.

Программный комплекс Фогард, в составе которого находится и программа Фогард-К имеет сертификат соответствия.

- 4 **Пакет прикладных программ «Определение категорий помещений, зданий по взрывопожарной, пожарной опасности»**, входящий в состав ПК «Русь» «Пожарная опасность» и «Промышленная опасность» [7]. Разработчиком программы является ООО Научно-производственное предприятие «Авиаинструмент», г. Киров.

«Система обеспечивает проведение расчета количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать горючие газовоздушные, паровоздушные, пылевоздушные смеси в соответствии с Приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 182 «Об утверждении свода правил «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [7]. База данных программы содержит 7121 наименование горючих веществ и материалов. После расчета генерируется расширенный отчет с отображением порядка проведения расчетов и печати промежуточных результатов расчета. Пакет прикладных программ входит в блок «Пожарная безопасность», стоимость которого составляет 95000,00 рублей. Программный комплекс предоставляется с возможностью активации на десять рабочих мест.

- 5 Также в интернете можно скачать программу для расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, реализованную в программе MS Excel. В данной программе можно выполнить расчет категорий В1-В4. При работе с данной программой пользователь может выбирать вещества из списка, вводить данные по помещению и горючим веществам в помещении. На втором листе программы есть список горючих веществ (217 наименований) и низшая теплота сгорания по каждому веществу, также есть возможность

добавлять свои материалы. После выполнения расчета отчет программой не формируется. Данная программа в свободном доступе, ее можно скачать из интернета [8].

Рассмотрев пять программ для расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности можно выделить программу FireGuard 3. Данная программа позволяет создать целый проект, в который можно добавлять здания, помещения, база данных включает порядка 10000 наименований горючих веществ. К недостаткам данной программы можно отнести ее полную стоимость, а также данная программа не имеет онлайн версию. Устанавливается на один персональный компьютер, который должен иметь следующие характеристики:

- операционная система: 32-битные/64-битные версии Windows XP Service Pack 3 и выше;
- не менее 256 Мб оперативной памяти;
- 50 Мб, свободного места на жестком диске;
- разрешение экрана: минимальное разрешение 1024 x 768.

Таким образом, проанализировав программы и программные комплексы, можно сделать вывод, что на российском рынке недостаточно программных продуктов для выполнения расчетов категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

### **Список литературы**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ (дейст. ред. от 31.07.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 28.05.2019).
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2009.

3. FireGuard 2 Программа для определения категорий помещений, зданий по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mst.su/fireguard2/>. – (Дата обращения 28.05.2019).
4. Руководство программы FireGuard 3 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docs.mst.su/fireguard3/tutorials/userguide/>. (Дата обращения: 28.05.2019).
5. FireCategories – расчет категорий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pyrosim.ru/programma-rascheta-kategorij>. – (Дата обращения: 28.05.2019).
6. Фогард-К программа для определения категорий помещений и зданий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://fogard.ru/categories/>. – (Дата обращения: 28.05.2019).
7. Пакет прикладных программ «Определение категорий помещений, зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://aieso.ru/programms\\_main\\_pb\\_kp.html#z50](http://aieso.ru/programms_main_pb_kp.html#z50). – (Дата обращения: 30.05.2019).
8. Бесплатная, простая программа в формате \*.xlsx для расчёта категории помещения по пожарной опасности В1-В4 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://pojbez.com/blog/strojchast/raschet-v1-v4-exel.html>. – (Дата обращения: 29.05.2019).

# **PROGRAM REVIEW BY CALCULATION OF ROOM CATEGORIES BY EXPLOSION AND FIRE RISK**

*D.M. Varlamova*

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

e-mail: *dina@rintd.ru*

*The article is devoted to the review of programs, software systems for calculating the categories of premises for explosion and fire hazards. Considered five programs for calculating categories of premises. Presents the functionality, the cost of programs.*

Keywords: software complex, categorization of premises, fire and explosion hazard.



УДК 528.88

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ QGIS И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ДОНБАССА

Ф.В. Недопекин, А.В. Несова, Н.С. Шеставин

Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

e-mail: f.nedopekin@gmail.com, arina.nesova@gmail.com,

n.shestavin@mail.ru

*В статье рассматриваются вопросы оценки состояния почв Донбасса за счет вычисления индексов солености почв. Предложенный алгоритм реализован в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе Quantum GIS. Проведены эксперименты с использованием изображений со спутника Landsat 8 в различных спектральных каналах. Обоснована необходимость использования индексов солености почв и данных дистанционного зондирования Земли в качестве альтернативы при проведении оперативного мониторинга состояния почв Донбасса.*

**Ключевые слова:** почва, засоление почв, индексы солености почв, дистанционное зондирование Земли, геоинформационная система, методы вегетационного индексирования.

На Донбассе находятся, и работает по настоящее время большое количество шахт и предприятий промышленного комплекса. Эти предприятия строятся вблизи мегаполисов, сельскохозяйственных угодий, и водоемов. Отходы с этих предприятий попадают в почву, что делают ее бесплодной. Для Донбасса – это довольно серьезная экологическая проблема и одним из возможных методов для борьбы с этой проблемой является, проведение оперативного мониторинга состояния почв Донбасса, а именно использование новых способов для мониторинга состояния почв, используя в работе геоинформационные системы, данные дистанционного зондирования Земли, методы вегетационного индексирования: различные индексы солености почв: SI, NDSI, VSSI, SAVI, а также нормализованного разностного вегетационного индекса – NDVI [1].

В работе была поставлена цель, оценить состояние почв в Донбассе, на определенной интересующей территории, в качестве области для исследований использовались предварительные данные, полученные из проверенных источников: водоем и сельскохозяйственные угодья рядом с поселком Горбатенко Старобешевского района Донецкой области.

Так же были поставлены задачи, которые планируются решить в работе, а именно:

- провести мониторинг почв;
- обнаружить площади почв, которые подверглись изменениям – засолению;
- выявить степень засоления.

Рассмотрим ряд факторов, влияющих на состояние почв Донбасса:

- отходы с предприятий промышленного комплекса: коксохимические, металлургические, химические, машиностроительные заводы, отопительные котельные и теплоэнергетические станции. Отходы с этих предприятий несут в себе повышенные показатели минерализации и опасных химических соединений. Например, известно, что доля антропогенного вклада в общее содержание хрома в почве превышает 60.0 %. Самые высокие концентрации этого элемента зарегистрированы в городах Мариуполь и Славянск.
- активная деформация земной поверхности, ее заболачивание в результате подтопления шахт, влияние породных отвалов – давление на грунты основания и сокращение площадей продуктивных угодий [2].

Мониторинг состояния почв Донбасса планируется провести с применением подхода, в основе которого лежит использование методов вегетационного индексирования, а именно:

- для оценки состояния почв, с применением индекса солености почв, иностранный аналог – SI;

SI представляется в виде следующей математической формулы:

$$SI(x, y) = \sqrt{R(x, y) \cdot NIR(x, y)}, \quad (1)$$

где  $R(x, y)$  – значение яркости пикселя изображения в красном диапазоне;  $NIR(x, y)$  – значение яркости пикселя изображения в ближнем инфракрасном диапазоне,  $(x, y)$  – локальные координаты пикселя.

- для прослеживания за динамикой сельскохозяйственных культур на засоленных почвах, с применением нормализованного вегетационного индекса, иностранный аналог – NDVI.

NDVI представляется в виде следующей математической формулы:

$$NDVI(x, y) = \frac{(IR(x, y) - R(x, y))}{(IR(x, y) + R(x, y))}, \quad (2)$$

где  $IR(x, y)$  – значение яркости пикселя изображения инфракрасного диапазона,  $R(x, y)$  – значение яркости пикселя изображения красного диапазона;  $(x, y)$  – локальные координаты пикселя.

Эти индексы представляет собой показатели, которые вычисляются в результате обработки мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и показывают засоленные почвы, а также позволяют оценить степень их засоления.

При помощи Интернет-сервиса LandsatLook Viewer была сделана загрузка и поиск изображений интересующей области с космического спутника Landsat 8, а также последующая обработка посредством специализированного программного обеспечения [3].

LandsatLook Viewer, представляет собой инструмент для быстрого онлайн просмотра космических изображений, а также свободного доступа к архивам изображений USGS Landsat. Этот инструмент создан для того чтобы любой пользователь в полной мере мог:

- интерактивно изучить архив Landsat, используя обычный веб-браузер;
- осуществить поиск конкретных изображений Landsat по интересующей области, дате съемки или облачности;
- сравнивать характеристики изображений и просмотр изменения во времени;
- обеспечить отображение настраиваемых информационных слоев карты в сочетании с изображениями Landsat;
- создать настроенное изображение, и экспортировать его в виде простого графического файла;
- просматривать метаданные и загружать полнополосные исходные изображения;
- выполнять поиск изображений по адресу или месту, или увеличить масштаб до определенного размера;
- просматривать и загружать видео анимации, состоящие из самых старых и новейших изображений, отображаемых в программе просмотра [4].

В качестве средства для обработки изображений была выбрана свободная кроссплатформенная геоинформационная система Quantum GIS, которая поддерживает различные операционные системы, что делает ее удобной для любого человека, а также сочетает в себе использование множества форматов изображений и широкие возможности.

Она позволила легко проанализировать наши изображения, для классифицирования земель по степени засоления, потратив на этот процесс минимальное затратное время, результат обработки с применением индекса солености представлен на рисунке 1, где малиновый цвет соответствует высокой степени засоления, желтый и салатный – средней степени засоления, а оранжевый и серый – низкой степени засоления.

Так же была проанализирована динамика сельскохозяйственных культур на угодьях подверженных засолению, с использованием

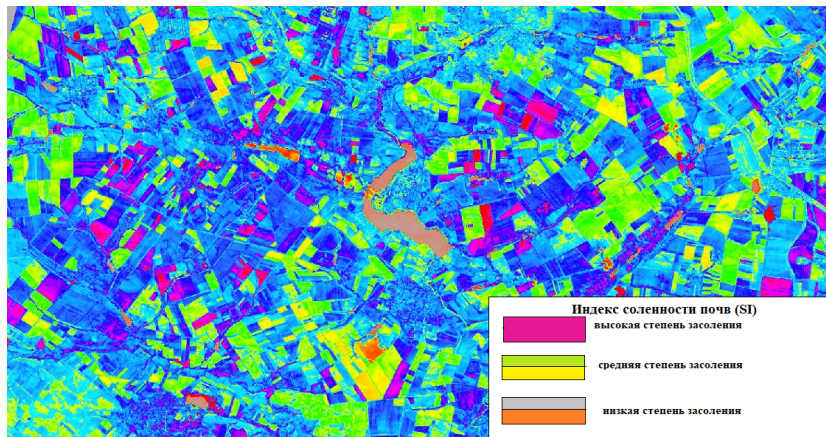


Рисунок 1 — Классифицирование земель по степени засоления с использованием индекса SI

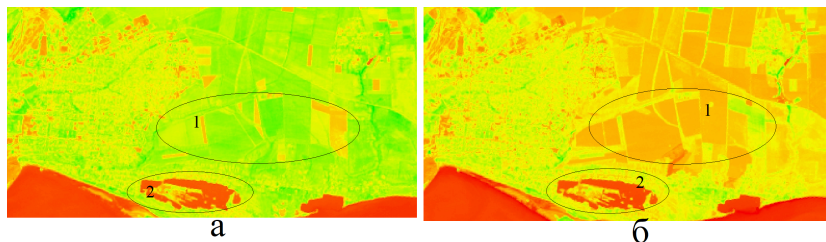


Рисунок 2 — Результат обработки изображений с использованием индекса NDVI на почвах подтвержденных засолению

стандартного нормализованного индекса NDVI, результаты представлены на рисунке 2.

На рисунке 2 показаны космические снимки в различные периоды времени июнь – август 2018 года.

Также показаны участки исследований, где 1 – соответствует сельскохозяйственным угодьям рядом с поселком Горбатенко, а 2 – соответствует водоему в этом же поселке.

В результате проведенных исследований получено, что значения засоленности почв на этой территории довольно высокие, например: нормализованный вегетационный индекс на интересующей территории равен [0.05; 0.15], что есть довольно низкими показателями здоровой растительности, когда значения хорошей вегетации на других участках равно довольно высокими [0.7; 1]. Стандартный индекс солености почв SI на этой территории был довольно высоким [143.15; 147], значения индекса солености, где преобладала здоровая плодородная почва, были равны приблизительно 0.

Подводя итоги можно сказать следующее, что предложенный метод мог бы широко применяться в мониторинге почвенного так и растительного покрова, для анализа для анализа и классифицирования изменений в плодородных почвах; для прослеживания динамики сельскохозяйственных культур на угодьях подверженных засолению; в качестве альтернативы химическим анализам почвы и растительного покрова.

Использование данных дистанционного зондирования, является мощным инструментом при обнаружении засоленных районов. Поскольку позволит разграничивать площади почвы по разным показателям солености. Это метод мог бы являться в будущем одним из главных предполагаемых решений данной проблемы. Проведенные исследования, показали, что использование индекса засоленности почв на Донбассе, является перспективным и целесообразным для этой области, главное достоинство которого оперативность полученных данных и их дешевизна.

### **Список литературы**

1. Engdawork Asfawa et al. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(3), 2018, p. 250-258.
2. Состояние почв Донбасса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecolognatural.ru/enats-266-1.html> (14.05.2019).
3. Несова А.В. Оценка состояния почв Донбасса с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Материалы Международного молодежного научного форума

«ЛОМОНОСОВ-2019» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. – М: МАКС Пресс, 2019. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader. – 1600 Мб. – 11000 экз.

4. USGS Landsat Look Viewer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://landsatlook.usgs.gov/> (14.05.2019).

## **USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM QGIS AND REMOTE SENSING DATA OF THE EARTH TO EVALUATE THE CONDITION OF THE DONBASS SOILS**

*F.V. Nedopekin, A.V. Nesova, N.St. Shestavin*

Donetsk National University, 83001 Ukraine, Donetsk,

Universitetskaya, 24

e-mail: *f.nedopekin@gmail.com, arina.nesova@gmail.com,*

*n.shestavin@mail.ru*

*The article deals with the assessment of soil conditions in Donbass by calculating soil salinity indices. The proposed algorithm is implemented in the free cross-platform geo-information system Quantum GIS. Experiments were carried out using images from the Landsat 8 satellite in various spectral channels. The necessity of using soil salinity indices and data of remote sensing of the Earth as an alternative when conducting operational monitoring of the soil status of Donbass is substantiated.*

Keywords: soil, soil salinization, soil salinity indices, remote sensing of the Earth, geoinformation system, vegetation indexing methods.

УДК 504.062.2

## СЦЕНАРИИ И РИСКИ УТЕЧКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ХРАНИЛИЩ НА ДОНБАССЕ

*Н.С. Шеставин, В.В. Юрченко*

Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

e-mail: *n.shestavin@mail.ru, vika.yurchenko.donnu@mail.ru*

*Для перспективных участков геологического хранения диоксида углерода ( $CO_2$ ) на Донбассе рассмотрены несколько сценариев возможных утечек  $CO_2$  с учетом особенностей геологических структур, пригодных для хранения сверхкритического  $CO_2$ . Оценены риски утечек  $CO_2$  из геологических хранилищ через тектонические разломы и заброшенные скважины, а также проанализированы возможности использования  $CO_2$  для повышения нефте- и газо-отдачи истощенных нефтяных и газовых месторождений Донбасса.*

**Ключевые слова:** геологическое хранение  $CO_2$ , утечка  $CO_2$ , тектонические разломы, скважины, нефтяные и газовые месторождения.

Глобальное изменение климата вызвано увеличением количества парниковых газов в атмосфере, в основном диоксида углерода ( $CO_2$ ) [1]. Значительная часть антропогенных выбросов  $CO_2$  приходится на энергетические и промышленные предприятия, которые используются сжигание ископаемого топлива, что вызывает большие экологические риски для окружающей среды [2].

Современные исследования путей смягчения последствий глобального изменения климата [3, 4] указывают на необходимость в ближайшее время существенно сократить выбросы  $CO_2$  в атмосферу путем реализации технологий улавливания и хранения углерода (УХУ). Использование технологий УХУ позволит обеспечить к 2050 году уменьшение ожидаемого среднего роста глобальной температуры атмосферы на  $2^\circ C$ . Широкомасштабная реализация технологий УХУ требует значительных материальных и финансовых ресурсов, что приведет к подорожанию электроэнергии и другой продукции в среднем на 30 % – однако в настоящее время другого эффективного способа сокращения количества  $CO_2$  в атмосфере нет.



В настоящее время уже строятся и действуют в ряде стран (Австралия, Германия, Испания и др.) несколько тепловых электростанций с установками улавливания  $CO_2$  до сжигания топлива, в процессе кислородного сжигания и после сжигания топлива. Уловленный  $CO_2$  далее переводят в жидкое сверхкритическое состояние и транспортируют к месту геологического хранения в геологических структурах на глубине более 800 м.

Использование технологий УХУ в энергетике и промышленности позволит временно смягчить последствия изменения климата до разработки благоприятных для климата источников энергии. Но при использовании технологий УХУ возникают риски утечки  $CO_2$ , которые могут оказывать негативное влияние на человека и окружающую природную среду.

Территория Донбасса обладает самым значительным потенциалом в Европе для геологического хранения  $CO_2$  [5] с целью смягчения последствий глобального изменения климата [6]. 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, но при этом следует учитывать большие экологические риски геологического хранения  $CO_2$  для территории Донбасса.

Ранее были определены геологические структуры Донбасса [7], пригодные для осуществления долговременного хранения сверхкритического  $CO_2$ , который может транспортироваться по существующей газотранспортной системе с некоторыми модернизациями, а затем закачиваться в палеозойские осадочные отложения Донбасса [8] на нескольких перспективных участках, не содержащих территорий крупных населенных пунктов, производственных участков действующих угольных шахт и областей тектонических нарушений в виде соляных штоков.

Создана географическая информационная система (ГИС) этих областей со слоями источников эмиссии  $CO_2$ , газотранспортной системы и геологических структур, пригодных для хранения сверхкритического  $CO_2$ . Затем эта ГИС дополнена слоями поверхностных и подземных водных ресурсов, различных типов почв и видов растительности, в том числе особой растительности запов [9]. Также выполнены оценки степени возможного влияния

утечек  $CO_2$  из перспективных геологических хранилищ на указанные субъекты риска.

Методами дистанционного зондирования Земли были также определены значения нормализованных вегетационных индексов [10], которые характеризуют степень поглощения  $CO_2$  растительностью перспективных участков геологического хранения  $CO_2$ .

Целью настоящего исследования является определение вероятных сценариев утечки  $CO_2$  из перспективных участков его геологического хранения и оценка рисков утечек  $CO_2$  через тектонические разломы и заброшенные скважины, а также анализ возможностей использования  $CO_2$  для повышения нефте- и газо-отдачи месторождений Донбасса.

Возможные утечки  $CO_2$  в процессах его улавливания и транспортировки будут носить аварийный характер, поэтому должны легко идентифицироваться и устраняться. Утечки  $CO_2$  из подземных хранилищ трудно предсказуемы и сложны в обнаружении. Поэтому территории, на которых будут размещаться перспективные участки геологического хранения  $CO_2$ , имеют риски негативного воздействия на человека и окружающую природную среду.

В процессе закачки и хранения  $CO_2$  могут, в основном, реализовываться три сценария утечек  $CO_2$  из мест его геологического хранения [3]:

- утечка из-за недостаточной герметичности породы-покрышки;
- утечка по заброшенным и действующим скважинам, стволам, штрекам;
- утечка через существующие разломы и трещины в горных пластах.

Возможны и другие сценарии утечек  $CO_2$  в виде комбинаций из указанных трех основных сценариев, при этом будет только усиливаться негативное воздействие на человека и окружающую природную среду.

На рисунке 1 показана упрощенная схема этих трех сценариев утечек  $CO_2$  из геологических хранилищ, где указаны следующие детали:

- 1 поверхностный слой грунта толщиной около 50-100 м;
- 2 грунтовые воды;
- 3 различные слои геологических структур, в том числе порода-покрышка высокой плотности, расположенная глубже 800 м;
- 4 водоносные или осадочные породы, которые способны накапливать сверхкритический  $CO_2$ ;
- 5 горные породы более глубоких геологических слоев, расположенные глубже зон хранения сверхкритического  $CO_2$ ;
- 6 скважина для инъекции сверхкритического  $CO_2$  в зону его хранения;
- 7 зона распространения и хранения сверхкритического  $CO_2$  под породой-покрышкой.

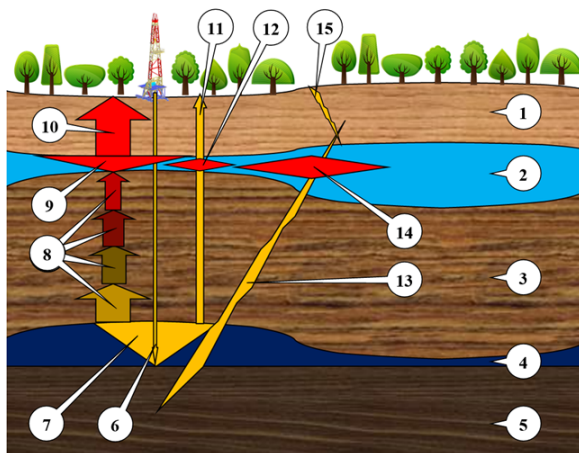


Рисунок 1 — Схема реализации утечек  $CO_2$  из геологического хранилища

Позиции 8, 9 и 10 рисунка 1 соответствуют реализации первого сценария утечки  $CO_2$  из-за недостаточной герметичности

породы-покрышки. Оценки объемов утечек  $CO_2$  по этому сценарию осуществляются методом численного моделирования термогидродинамических и механико-химических процессов [11] с учетом реальных параметров и состава горных пород, расположенных над зоной хранения  $CO_2$ . Эти процессы (8) протекают очень медленно (может пройти 100 или 1000 лет пока продукту процессов достигнут грунтовых вод или поверхности), но крайне опасны для человека и окружающей среды (сверхкритический  $CO_2$ , как жидкий, так и двухфазный, является очень эффективным растворителем горных пород и продукты таких химических реакций могут быть токсичными). А попадая в грунтовые воды (9) такие токсичные продукты могут существенно ухудшать их качество. Затем эти продукты и газообразный  $CO_2$  достигают поверхности (10) и могут негативно влиять на человека и окружающую природную среду.

Второй сценарий утечки  $CO_2$  может реализоваться в районе выработанных и действующих месторождений нефти и газа. На Донбассе таких месторождений находится множество, часть из которых продолжает эксплуатироваться [12], а часть законсервирована или заброшена, хотя там еще остались углеводороды. Для повышения нефте- и газо-отдачи пластов можно использовать инъекции  $CO_2$  в рамках проектов по реализации технологий УХУ на Донбассе.

Позиции 11 и 12 на рис. 1 соответствуют этому сценарию утечки  $CO_2$  и геологических хранилищ, при этом в процессе подъема  $CO_2$  к поверхности по заброшенным и действующим скважинам (11) он может растворяться в грунтовых водах (12), что будет оказывать воздействие на их качество.

Так как заброшенные и действующие скважины находятся вблизи или на территории нефтяных и газовых месторождений, то можно оценить риски утечки  $CO_2$  таким путем сравнив площади месторождений и участков перспективного геологического хранения  $CO_2$ .

На рисунке 2 показаны следующие нефтяные и газовые месторождения Донбасса [12]: 1 – Березовское ГКМ; 2 – Сахалинское НГКМ; 3 – Скворцовское НГКМ; 4 – Юльевское НГКМ; 5 – Мелиховское ГКМ; 6 – Ефремовское ГКМ; 7 – Коломакское ГМ; 8 – Зап.-Крестищенское ГКМ; 9 – Кегичевское ГКМ; 10 – Кобзевское ГКМ; 11 – Кременовское НГКМ; 12 –



Таблица 1 — Вероятность утечки  $CO_2$  через скважины действующих месторождений

| Номер геологического хранилища $CO_2$             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    |
|---------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Площадь перспективного участка, км <sup>2</sup>   | 4425 | 4373 | 1630 | 1594 | 3311  | 1995 | 2712 | 9641 |
| Площадь месторождений на участке, км <sup>2</sup> | 65.7 | –    | 47.3 | 45.1 | 212.9 | 16.0 | –    | 90.3 |
| Вероятность утечки $CO_2$ , %                     | 1.5  | –    | 2.9  | 2.8  | 6.4   | 0.8  | –    | 0.9  |

Таблица 2 — Вероятность утечки  $CO_2$  через скважины действующих месторождений

| Номер геологического хранилища $CO_2$             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|---------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Площадь перспективного участка, км <sup>2</sup>   | 4425 | 4373 | 1630 | 1594 | 3311 | 1995 | 2712 | 9641 |
| Площадь возможных утечек $CO_2$ , км <sup>2</sup> | 310  | 439  | 80   | 5    | 262  | 150  | 9    | 142  |
| Вероятность утечки $CO_2$ , %                     | 7.0  | 10.0 | 4.9  | 0.3  | 7.9  | 7.5  | 0.3  | 1.5  |

тектоническим структурам данной местности до грунтовых вод (14), влияя на их качество, и выходя на поверхность (15), воздействуя на растительность, животных и человека.

Для оценки вероятности реализации третьего сценария утечек  $CO_2$  из перспективных участков геологического хранения  $CO_2$  на Донбассе можно совместить расположение глубинных и региональных разломов [12] с геологическими хранилищами (рисунком 3), где показаны следующие глубинные геологические разломы: 1 – Южно-Харьковский разлом; 2 – Краснощельский разлом; 3 – Криворожско-Павловский разлом; 4 – Юрьевский разлом и 5 – Голубовско-Михайловский разлом, а также другие достоверные и предполагаемые региональные разломы на перспективных участках геологического хранения  $CO_2$ .

Если считать, что зона утечки  $CO_2$  через геологические разломы имеет в среднем ширину в 1 км, то оценку вероятности такой утечки  $CO_2$  можно представить в таблице 2.

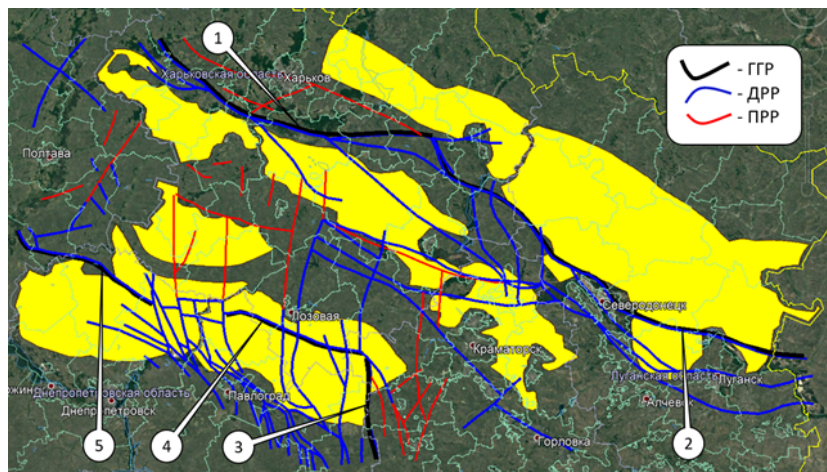


Рисунок 3 — Локализация глубинных геологических (ГГР), достоверных региональных (ДРР) и предполагаемых региональных (ПРР) разломов

Выполненное исследование сценариев и рисков утечки  $CO_2$  при его геологическом хранении на территориях Донбасса позволит предусмотреть мероприятия по соблюдению мер техносферной безопасности при реализации технологий УХУ для смягчения последствий глобальных изменений климата.

### Список литературы

1. Climate Change: The IPCC Response Strategies. – World Meteorological Organization / United Nations Environment Program: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990. – 332 p.
2. The Global Risks Report 2017, 12th Edition. – CH, Geneva: World Economic Forum. – 2017. – 78 p.
3. Специальный доклад МГЭИК: Улавливание и хранение двуокси углерода – Резюме для лиц, определяющих политику и Техническое резюме / Ред.: Берт Метц и др. – МГЭИК, 2005. – 66 с.

4. Technology Roadmap – Carbon capture and storage. – International Energy Agency, 2010. – 52 p.
5. 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.
6. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. – Washington, DC: The National Academies Press, 2019. – 510 p. – ISBN 978-0-309-48452-7.
7. Шеставин Н.С. Недопекин Ф.В., Осетров В.В., Юрченко В.В. Низко-углеродные возможности для промышленных регионов Украины: монография. – Дружковка: Юго-Восток, 2015. – 239 с. – ISBN 978-966-374-822-1.
8. Жикаляк Н.В., Осетров В.В., Шеставин Н.С. Оценка возможностей улавливания и хранения  $CO_2$  в палеозойских осадочных отложениях Донбасса // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України, Вип. 5, 2012. – С. 53-61.
9. 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.
10. Недопекин Ф.В., Шеставин Н.С., Несова А.В. Анализ потенциала поглощения диоксида углерода на перспективных участках его хранения в Донбассе // Безопасность в техносфере: сборник статей / науч. ред. В.М. Колодкин. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – С. 126-132.
11. Xiaochun Li / Coupled Thermal-Hydrodynamic-Mechanical-Chemical (THMC) Processes in CO2 Geological Storage // Institute of Rock and Soil mechanics Chinese Academy of Sciences, 2017. – 41 p.
12. Загороднов А.В. Критерии размещения нефтяных и газовых залежей в Днепроовско-Донецкой впадине с учетом соляной тектоники // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, Сер. «Геологія. Географія. Екологія», вип. 44, 2016. – С. 16-26.



## SCENARIOS AND RISKS OF CARBON DIOXIDE LEAKS FROM GEOLOGICAL STORAGE AT DONBASS

*N.St. Shestavin , V.Vl. Yurchenko*

Donetsk National University, 83001 Ukraine, Donetsk,

Universitetskaya, 24

e-mail: *n.shestavin@mail.ru, vika.yurchenko.donnu@mail.ru*

*For promising areas of geological storage of carbon dioxide ( $CO_2$ ) in the Donbass, several scenarios of possible  $CO_2$  leaks are considered, taking into account the features of geological structures suitable for storing supercritical  $CO_2$ . The risks of  $CO_2$  leaks from geological repositories through tectonic faults and abandoned wells were evaluated, and the possibilities of using  $CO_2$  to increase oil and gas efficiency in depleted oil and gas fields of Donbass were analyzed..*

Keywords: geological storage of  $CO_2$ , leakage of  $CO_2$ , tectonic faults, wells, oil and gas fields.

УДК 699.814

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТОРГОВЫХ ЦЕНТРАХ ГОРОДА ИЖЕВСКА

*Н.В. Пантелеева, С.Г. Шуклин*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *nvrapu@mail.ru, shuklin\_sg@mail.ru*

*В статье рассмотрены основные системы пожарной безопасности в зданиях торгово-развлекательных комплексов, строительство которых в последние годы активно развивается в России.*

**Ключевые слова:** торговые центры, системы пожарной безопасности.

По определению Международного совета торговых центров, торговый центр – это группа архитектурно объединенных розничных предприятий, управляемых единой компанией, обеспеченных парковкой и расположенных на специально спланированном участке [1]. Современный торговый центр – это многоэтажный торгово-развлекательный комплекс, в котором, кроме магазинов, могут находиться кафе, кинотеатр, боулинг, оборудованный эскалаторами, лифтами и парковкой для личного транспорта посетителей.

Город Ижевск – столица Удмуртской Республики, административно город разделяется на пять районов: Индустриальный, Ленинский, Октябрьский, Первомайский и Устиновский. Наиболее развитый сектор экономики города Ижевска – потребительский рынок. В городе осуществляют свою деятельность многочисленные сетевые продовольственные супермаркеты, специализированные магазины компьютеров и их комплектующих, фирменные магазины, торгово-развлекательные комплексы и бизнес-центры [2].

Более подробно остановимся на системах пожарной безопасности торговых центров города Ижевска. Площадь современных торговых центров достигает десятки и сотни тысяч квадратных метров. Так, например, площадь ТРЦ «Италмас», расположенный в самом густонаселенном районе города, Устиновском, составляет более 54 тыс. кв.м. и паркингом почти на 1 600 машиномест [3]. В подобном здании одновременно могут находиться десятки тысяч человек,

поэтому пожар или другие опасные события могут привести к гибели большого числа людей.

Опасные факторы пожара, возникающие при возгорании и представляющие опасность для людей и имущества, подразделяют на три группы:

- 1 пламя и сопутствующие ему искры;
- 2 высокая температура воздуха;
- 3 токсичные и удушающие продукты горения [4].

Современные автоматические системы пожарной безопасности самостоятельно распознают пожар, сообщают о его возникновении, тушат и помогают при эвакуации людей из здания. В торгово-развлекательных комплексах для защиты от пожаров необходимо устанавливать комплексные системы пожарной безопасности, включающие в себя приборы обнаружения, оповещатели о возникновении пожара, системы автоматического пожаротушения и противодымной защиты. Необходимость создания таких систем устанавливается Федеральным законом от 22 февраля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – № 123-ФЗ) [5]. В ст. 51 гл. 14 рассматриваемого документа отражена основная цель создания систем пожарной безопасности: обеспечение безопасности для жизни и здоровья людей и сохранности имущества при воздействии на них опасных факторов пожара, а также ограничение его последствий. Для достижения этой цели необходимы: своевременная эвакуация людей и имущества в безопасную зону; принятие мер по снижению динамики опасного воздействия пожара и по его эффективному тушению. А также требования к надежности и устойчивости системы пожарной безопасности в течение времени, необходимого для ликвидации возгорания. Пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если полностью выполнены требования пожарной безопасности и пожарный риск не превышает допустимых значений [6].

Основные регламентирующие документы – это Федеральный закон РФ № 123-ФЗ и постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме». Кроме того, специфические нормативно-технические требования к системам противопожарной

защиты прописаны в сводах правил, таких как: СП 5.13130.2009, СП 3.13130.2009, СП 1.13130.2009, СП 7.13130.2013, СП 10.13130.2009, СП 4.13130.2013. К другим регулирующим документам относятся национальные и межгосударственные стандарты, например ГОСТ 27990-88, ГОСТ 26342-84 и другие. Проектирование и монтаж установок также регламентируется рядом отраслевых приказов и распоряжений, НПБ (Нормами пожарной безопасности), ППБО (Правилами пожарной безопасности), РД (Руководящими документами) и Р (Рекомендациями), например: Р 78.36.007-99, НПБ 110-96, НПБ 104-03, НПБ 58-97, НПБ 66-97 [7].

По сведениям МЧС Удмуртской Республики, по состоянию на 31.01.2019 в результате пожаров погибли и пострадали 26 человек, суммарный материальный ущерб превысил 1 510 тыс. руб. (таблица 1). С целью предупреждения возгораний, организации оперативного и эффективного тушения при их возникновении, принятия мер по своевременному и безопасному выводу из зоны возгорания людей и создаются современные системы пожарной безопасности.

Система пожарной безопасности – это комплекс инженерных сооружений и устройств, контролирующие состояние объекта и обеспечивающие своевременное обнаружение источника возгорания, его непосредственное тушение и безопасную эвакуацию людей из здания.

В состав системы пожарной безопасности входят:

- подсистема пожарной сигнализации;
- подсистема оповещения и управления эвакуацией при пожаре;
- подсистема дымоудаления;
- подсистема водяного пожаротушения;
- подсистема газового пожаротушения;
- подсистема порошкового пожаротушения;
- подсистема сбора и обработки информации (таблица 2).

Таблица 1 — Сведения о пожарах по состоянию на 31 января 2019 года в Удмуртской Республике

| Показатель                 | Количество пожаров |      |       | Удельный вес |      |      | Ущерб,<br>тыс. руб. | Погибло<br>людей | Травмировано<br>людей |
|----------------------------|--------------------|------|-------|--------------|------|------|---------------------|------------------|-----------------------|
|                            | 2019               | 2018 | %     | абс.         | 2019 | 2018 |                     |                  |                       |
| Кол-во<br>пожаров          | 148                | 82   | 80,5  | 6            | X    | X    | 1510                | 13               | 13                    |
| Ущерб,<br>тыс. руб.        | 1510               | 1933 | -21,9 | -423,0       | X    | X    | X                   | X                | X                     |
| Погибло<br>людей           | 13                 | 10   | 30,0  | 3            | X    | X    | X                   | X                | X                     |
| в т.ч. детей               | 0                  | 0    | 0,0   | 0            | X    | X    | X                   | X                | X                     |
| Травми<br>путем вано людей | 13                 | 7    | 85,7  | 6            | X    | X    | X                   | X                | X                     |
| Объекты<br>экономики       | 12                 | 9    | 33,3  | 3            | 8,1  | 11,0 | 251                 | 0                | 0                     |
| Торговые                   | 1                  | 1    | 0,0   | 0            | 0,7  | 1,2  | 0                   | 0                | 0                     |

Таблица 2 — Характеристика систем пожарной безопасности

| № п/п | Показатель                                               | Краткая характеристика                                                                                                                                                                                                                    | Особенности использования                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                                        | 3                                                                                                                                                                                                                                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1     | подсистема пожарной сигнализации                         | обеспечивает достоверное обнаружение возгорания на его начальной стадии развития и своевременное включение системы оповещения людей о пожаре для безопасной эвакуации из здания                                                           | задачи выполняются в автоматическом режиме: обнаружение пожара, локализация очага, формирование сигнала извещения о событии, управление включением средств пожаротушения и противодымной защиты, противопожарными дверями                                              |
| 2     | подсистема оповещения и управления эвакуацией при пожаре | предназначена для своевременного оповещения людей при возникновении пожара и проведение эвакуации в безопасную зону                                                                                                                       | в состав входят сирены, световые, звуковые, речевые извещатели, светящиеся указатели рекомендуемого направления движения при эвакуации, местонахождения выхода                                                                                                         |
| 3     | подсистема дымоудаления                                  | способствует безопасной эвакуации из здания находящихся в нем людей                                                                                                                                                                       | основные функции: удаление продуктов горения (дыма) и подача свежего воздуха для дыхания людей                                                                                                                                                                         |
| 4     | подсистема водяного пожаротушения                        | обеспечивает ликвидацию или локализацию пожара на начальной стадии пожара, за счет охлаждения горящих материалов ниже температуры воспламенения и прекращения химической реакции горения, что позволяет провести успешную эвакуацию людей | состоит из системы обнаружения огня, насосной станции и трубопровода; могут быть спринклерными, оборудованными термочувствительной колбой для перекрытия воды в трубопроводе, и дренчерными, не имеющими теплового замка, а также оборудованные запорными устройствами |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2                                       | 3                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | подсистема газового пожаротушения       | защищает от пожара помещения, где использование других видов пожаротушения может привести к высокому материальному ущербу (помещения серверных, архивов); установка быстро обнаружит, потушит пожар и не допустит повторного возгорания за счет снижения концентрации кислорода | не подвергает коррозии оборудование, не разрушает и не загрязняет объекты; легко устраняемо обычным проветриванием помещения; подходит для защиты от возгорания электрооборудования; незаменимо при защите библиотек, банков                                    |
| 6 | подсистема порошкового пожаротушения    | используют для тушения электрооборудования под напряжением и других специфических типов пожаров (например, горение щелочных металлов), не вызывает замыкания в электрических сетях                                                                                              | невысокая цена; простота монтажа и широкий спектр использования; не производит разрушающего воздействия на поверхности предметов при кратковременном воздействии; блокирует поступление кислорода; легко убирается после погашения огня с помощью обычных щеток |
| 7 | подсистема сбора и обработки информации | строится на базе SCADA-системы и основана на обмене данными с аппаратными средствами пожарной безопасности                                                                                                                                                                      | задача – предоставление оператору единого графического интерфейса ко всем подсистемам пожарной безопасности и обеспечение оптимальных алгоритмов взаимодействия ее компонентов [8]                                                                              |

Основные функции системы пожарной безопасности:

- 1 профилактика возникновения пожара: размещение средств ручного пожаротушения и информирования о пожаре, знаков и таблиц, планов эвакуации, другие профилактические меры;

- 2 быстрое обнаружение возникновения чрезвычайной ситуации: появления в воздухе задымления, быстрого повышения температуры;
- 3 оповещение о факте обнаружения возгорания находящихся в контролируемом здании людей и экстренных служб;
- 4 включение входящих в состав комплекса средств пожаротушения, дымоудаления и другого оборудования.

Основные требования, предъявляемые к современным системам обеспечения пожарной безопасности объекта:

- эффективная защита находящихся на охраняемом объекте людей и имущества от воздействия перечисленных выше опасных факторов;
- защита всех входящих в комплекс средств от тех же опасных факторов, что позволит находящейся в условиях пожара системе сохранять работоспособность в течение времени, достаточного для выполнения возложенных на нее функций;
- обеспечение зданий и строений конструкционными и иными решениями, которые будут препятствовать распространению огня, использование огнезащитных веществ и огнестойких строительных конструкций;
- должны быть предусмотрены маршруты эвакуации, соответствующие требованиям действующих норм, размещены указатели и знаки, необходимые для безопасного вывода людей из опасной зоны и эффективного управления этим процессом;
- проектирование и монтаж автоматических систем сигнализации, пожаротушения, удаления дыма;
- размещение доступных для использования средств индивидуальной и коллективной защиты, огнетушителей [4].

Для снижения трагических последствий одним из обязательных требований перед вводом в эксплуатацию торговых центров является наличие системы оповещения и управления эвакуацией



(СОУЭ). Выделяют пять типов СОУЭ в зависимости от способов оповещения, разделения помещения на зоны пожарного оповещения (таблица 3).

Таблица 3 — Основные характеристики различных типов СОУЭ

| Типы СОУЭ   | Звуковое оповещение                                    | Речевое оповещение | Световое оповещение | Разделение на зоны пожарного оповещения |
|-------------|--------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| 1           | +                                                      | –                  | *                   | –                                       |
| 2           | +                                                      | –                  | +                   | –                                       |
| 3           | *                                                      | +                  | +                   | *                                       |
| 4           | *                                                      | +                  | +                   | +                                       |
| 5           | *                                                      | +                  | +                   | +                                       |
| Примечание: | (+) – требуется; (–) – не требуется; (*) – допускается |                    |                     |                                         |

Подсистема оповещения состоит из нескольких элементов, обеспечивающих быстрое реагирование на очаг возгорания:

- пожарные извещатели, реагирующие на изменение температуры, появление дыма или пламени;
- блок управления передачей сообщений;
- цифровые носители информации с записью сообщения о возникновении пожара;
- устройства оповещения (динамики, микрофоны, экраны с бегущей строкой, световая и звуковая сигнализация).

Следует отметить, что обеспечение пожарной безопасности торгового центра невозможно без установки автоматической системы пожаротушения.

Автоматическая установка пожаротушения выполняет следующие задачи:

- ликвидация открытого пламени на объекте до того, как будет достигнуто критическое значение факторов возгорания;
- ликвидация пламени до того, как будет преодолен предел огнестойкости строительных конструкций;

- ликвидация пожара до нанесения значительного вреда имуществу; ликвидация огня до разрушения имеющихся на объекте технологических установок;
- помощь в создании зоны безопасности для находящихся на объекте людей.

Таким образом, оборудование торгового центра комплексом системы пожарной безопасности снижает негативные последствия возможных возгораний: своевременное предупреждение о возникновении пожара, обеспечение безопасной эвакуации людей из здания, удаление из воздуха помещений токсических веществ, выделяемые продуктами горения, применение средств автоматического пожаротушения и осуществление обработки информации. При небольших возгораниях действий автоматической системы пожарной безопасности обычно бывает достаточно, чтобы полностью ликвидировать возгорание еще до приезда пожарных [9].

### **Список литературы**

1. Шакирова А.Ф. Особенности проектирования систем оповещения и управления эвакуацией для торгово-развлекательных комплексов Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) Выпуск №3 (июнь 2009 г.).
2. Википедия: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Дата обращения: 29.04.2019).
3. ТЦ ИТАЛМАС: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://http://www.italmas-mall.ru> (Дата обращения: 29.04.2019).
4. Sec&Safe: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://secandsafe.ru/stati/pojarnaya\\_bezopasnost/sistiemy\\_pozharnoi\\_bezopasnosti](https://secandsafe.ru/stati/pojarnaya_bezopasnost/sistiemy_pozharnoi_bezopasnosti) (Дата обращения: 29.04.2019).
5. Федеральный закон РФ от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; принят Гос. Думой 04. 07.2008 г., одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 (в ред. от 23.06.2014) // Парламентская газета 2008. № 47-49 // Собрание законодательства РФ 2008. № 30 (часть I) ст. 3579.

6. ЗАО «НПП Рогнеда»: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.rogneda.ru](http://www.rogneda.ru) (Дата обращения: 29.04.2019).
7. Справочник «Огнезащита строительных материалов и конструкций»: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.infrhim.ru/sprav/spravochnik/srav/ognezashchita\\_stroitelnykh\\_konstruktsiy](http://www.infrhim.ru/sprav/spravochnik/srav/ognezashchita_stroitelnykh_konstruktsiy) (Дата обращения: 29.04.2019).
8. Информсвязь: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://informsviaz.ru/ru/engineering-systems/security-systems/> (Дата обращения: 29.04.2019).
9. Комсомольская правда: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/pozharnaja-zashchita-ob-ektov.html> (Дата обращения: 29.04.2019).

## **ANALYSIS OF USE FIRE SAFETY SYSTEMS IN SHOPPING CENTERS OF THE CITY OF IZHEVSK**

*N. V. Panteleeva, Sh. S. Shuklin*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [nppanya@mail.ru](mailto:nppanya@mail.ru), [shuklin\\_sg@mail.ru](mailto:shuklin_sg@mail.ru)

*The article discusses the main fire safety systems in the buildings of shopping and entertainment complexes, the construction of which has been actively developed in Russia in recent years.*

Keywords: shopping centers, fire safety systems.

УДК 351.861

## УЧЁТ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ЗОН ВОЗМОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ

*В.М. Афанасьев, И.Х. Сайфутдинова, А.Т. Хисматова*  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия  
e-mail: sayfutdinova.ilsiyar@mail.ru, alina-hismatova@mail.ru

*В данной статье были проанализированы методики прогнозирования параметров зон возможного химического заражения и проведены расчеты этих параметров. Особенности данных расчетов является учёт влияния рельефа местности. Работа была проведена на примере химически опасного объекта ПАО «Нижнекамскнефтехим» в г. Нижнекамск, Республика Татарстан. В ходе работы выяснилось, что существующая методика даёт значительную погрешность в расчёте глубины зоны возможного химического заражения. Это влечёт за собой ошибки при разработке Плана Гражданской обороны и Плана действий по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера.*

**Ключевые слова:** аварийно-химически опасные вещества, заражение местности, паспорт безопасности, прогнозирование чрезвычайных ситуаций, техносфера, чрезвычайная ситуация, химически опасный объект.

Наш современный мир уже невозможно представить без быстрых темпов роста промышленного производства, вслед за ростом, которых возрастает доля опасностей, исходящих от техносферы. Технологические аварии на производстве являются одним из наиболее опасных техногенных катастроф. Наибольший рост числа среди аварий на промышленных объектах, получили химически опасные объекты. Аварии на ХОО актуальны как в мирное время, так и в военное время. Ведь в большинстве случаев они приводят к отравлению и гибели людей, тяжелым экологическим последствиям.

Потенциальная опасность объектов отражается в паспортах безопасности объектов, муниципальных районов, декларациях

промышленной безопасности. Решения по защите населения указываются в 1 разделах планов гражданской обороны (ГО) и планов действий по предупреждению и ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера. В них отдельной строкой указывается наличие химически опасных объектов и возможная обстановка, в случае возникновения аварии на них.

Основными параметрами аварии с АХОВ являются глубина и площадь зоны химического заражения.

Правильное прогнозирование величины глубины и площади возможного химического заражения имеет важное экономическое и социальное значение при планировании мероприятий по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и военного характера.

Анализ методик и методов прогнозирования параметров зон возможного химического заражения (методики РД 52.04.253–90, «Токси», графоаналитический метод) показывает, что наряду со множеством исходных данных и условий, при которых рассчитываются эти параметры, не учитывается такой существенный, на наш взгляд, фактор, как рельеф местности в районах расположения химически опасных объектов и близлежащих населенных пунктов, а также на всей глубине распространения облака, зараженного АХОВ (методика «Токси» учитывает только шероховатость поверхности). При этом предполагается, что облако зараженного воздуха распространяется по горизонтали в направлении воздушного потока.

В процесс перемещения разнородных молекул в воздухе на молекулы АХОВ действует целая система сил, в том числе сила веса, подъемная сила и сила давления потока воздуха.

Учитывая, что молекулы АХОВ имеют молекулярную массу, отличную от молекулярной массы воздуха, под действием системы сил они будут стараться распространяться или выше плоскости горизонта (аммиак), или ниже данной плоскости (хлор) (рисунок 1, рисунок 2).

Учёт влияния рельефа местности при расчете зон возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте покажем на примере прогнозирования параметров зоны возможного химического заражения при аварии на ПАО «Нижекамснефтехим».

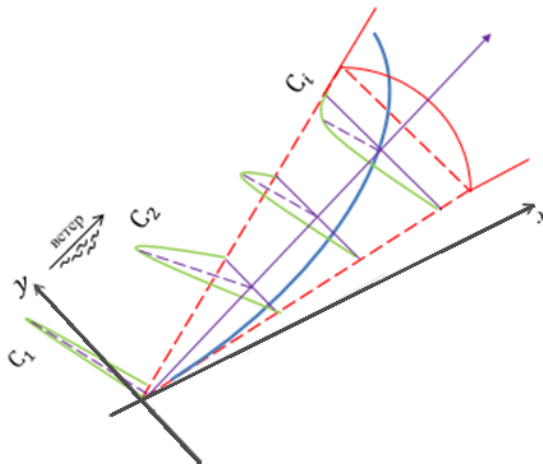


Рисунок 1 — Схема распространения облака, зараженного аммиаком (а), и изменение его приземной концентрации ( $C_i$ )

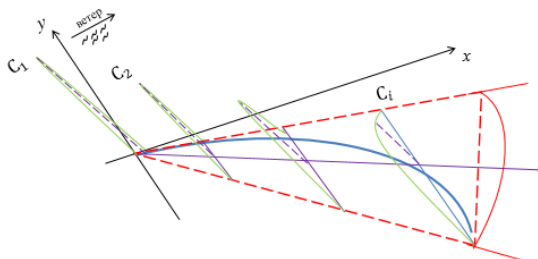


Рисунок 2 — Схема распространения облака, зараженного хлором (б), и изменение его приземной концентрации ( $C_i$ )

Промышленная площадка ПАО «Нижнекамскнефтехим» отделена от территории г. Нижнекамска 7-ми километровой санитарно-гигиенической зоной, при этом наивысшая точка города составляет высоту 135 метров над уровнем моря по Балтийской системе, а промышленной площадки – 215 метров.

Среднее количество хлора, используемого в технологических процессах на ПАО «Нижнекамскнефтехим» составляют 100 т.

Глубина зоны распространения возможного химического заражения при аварии с выбросом хлора на ПАО «Нижнекамскнефтехим» составит 13,67 км.

Наложение величины рассчитанной глубины зоны возможного химического заражения (АС) на профиль рельефа местности и использование тригонометрической формулы  $a = c \cdot \cos \beta$  (рисунок 3), позволяет определить величину горизонтальной составляющей (ВС) распространения облака зараженного воздуха по направлению к городу Нижнекамску равную 10,62 км.

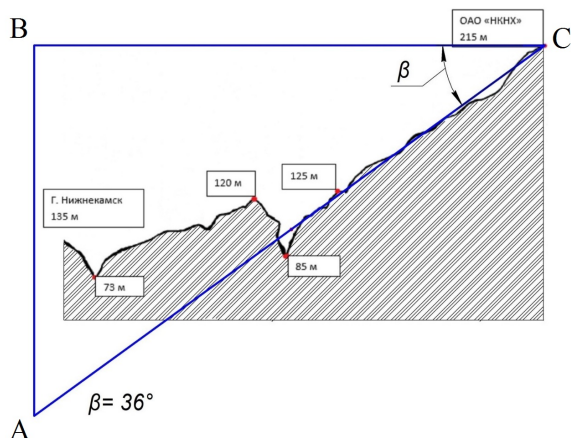
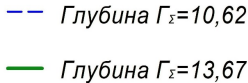


Рисунок 3 — Определение горизонтальной составляющей распространения облака зараженного воздуха

Наложение прогнозируемых зон возможного химического заражения без учета рельефа местности и с учетом рельефа на схему взаимного расположения промышленной площадки ПАО «Ниж-





3. Исаев В. С. Учебное пособие «Аварийно-химически опасные вещества (АХОВ). Методика прогнозирования и оценки химической обстановки».
4. Соболев А.А, Мельников П.А., Тютюнник А.О. «Движение частиц в воздушном потоке».
5. Сайт Академии государственной противопожарной службы: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [agps-mipb.ru/index.php/abityorientam/4-priem.html](http://agps-mipb.ru/index.php/abityorientam/4-priem.html) (Дата обращения: 21.04.2019)

### **TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF TERRAIN IN THE CALCULATION OF THE AREAS OF POSSIBLE CHEMICAL CONTAMINATION IN CASE OF ACCIDENTS ON CHEMICALLY HAZARDOUS OBJECTS**

*V.M. Afanasiev, Il.H. Sayfutdinova, Al.T. Hismatova*  
KNRTU–KAI, 420111 Russia, Kazan, st. K. Marx, 10  
e-mail: [sayfutdinova.ilsiyar@mail.ru](mailto:sayfutdinova.ilsiyar@mail.ru), [alina-hismatova@mail.ru](mailto:alina-hismatova@mail.ru)

*In this article, methods for predicting the parameters of possible chemical contamination zones were analyzed and calculations of these parameters were carried out. The features of these calculations is to take into account the influence of the terrain. The work was carried out on the example of a chemically hazardous facility of PJSC «Nizhnekamskneftekhim» in Nizhnekamsk, the Republic of Tatarstan. In the course of the work, it turned out that the existing method gives a significant error in calculating the depth of the zone of possible chemical contamination. This entails mistakes in the development of the Civil Defense Plan and the Action Plan for the prevention and elimination of natural and man-made emergencies.*

Keywords: emergency chemical substances, contamination of the area, safety data sheet, forecasting of emergency situations, technosphere, emergency situation, chemically dangerous object.

УДК 614.841

## СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКО-СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ И ОПТИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРОВ

*В.Ф. Тимошков*

Гомельский филиал УГЗ МЧС Беларуси, г. Гомель, Республика  
Беларусь

e-mail: *timoshkov.67@mail.ru*

*В статье рассматривается один из способов снижения последствий пожаров и оценки аварийных рисков. Этот процесс характеризуется ситуационным моделированием тактико-специальных учений. Показана возможность совершенствования пожаротушения, снижения материального ущерба, в результате оценки аварийных рисков и устранения недостатков, выявленных при планировании учений.*

**Ключевые слова:** ситуационное моделирование тактико-специальных учений, пожаротушение, оценка аварийных рисков, службы экстренной помощи.

Развитие и совершенствование концепции «Безопасность в техносфере» требует постоянно новых инновационных подходов. Создавая определенные уровни защиты, появляется возможность предупреждения, своевременной ликвидации пожаров и оценки аварийных рисков. Когда данный процесс замедляется, то возникает угроза в аспекте безопасности жизнедеятельности человека и общества. Сегодня мы наблюдаем на различных континентах в мировом масштабе результаты влияния техносферы. Создавая блага для комфортного проживания, человечество столкнулось и с недостатками техносферного процесса. Это различные инциденты, аварийные ситуации, катастрофы уносящие жизни людей и приводящие к огромным материальным потерям. Порой десятилетиями многие страны не могут восстановить свой жизненный потенциал, по направлениям общественно-экономической формации. Соответственно необходимо сделать заключение о том, что процесс внедрения инновационных подходов по вопросам безопасности в техносфере должен опережать или идти в «ногу» с развитием

комфортного проживания человечества и влияния на биосферу в целом [1].

Занимаясь решением данного вопроса, появляется необходимость рассмотрения его в аспекте различных направлений «Системы обеспечения безопасности». Одним из таких направлений, может быть ситуационное моделирование тактико-специальных учений (далее ТСУ). Соответственно для исследования предлагается спрогнозировать развитие пожара и оценить аварийный риск. В качестве объекта возьмем для изучения общественные здания с элементами клееных деревянных конструкций, еще их называют здания с покрытиями больших площадей. С точки зрения пожарной и промышленной безопасности эти здания требуют к себе повышенного внимания. Клееные деревянные конструкции позволяют создать объекты с кровлей «больших покрытий». Это могут быть объекты спортивного назначения, торговые рынки, выставочные залы и т.д. Одним из основных недостатком является высокая линейная скорость распространения огня по деревянным конструкциям. Соответственно свод перекрытия собран в «замок» и при неблагоприятном сценарии событий, на пожаротушение будет отведено не более 15-20 минут. Затем произойдут необратимые события, в виде обрушения кровли здания и т.д. Изучив теоретически оперативно-тактическую характеристику объекта при подготовке плана учений, выдвигаемся на запланированный объект. Выбираем время наиболее интенсивного движения на прилегающей территории к зданию. Необходимо отметить, что очень много сконцентрировано служебно-грузового и личного транспорта на стоянках и в случае пожара негде будет установить автолестницы и автоколенчатые подъемники МЧС, для подачи огнетушащих веществ на тушение и защиту пожара. Появляется риск обрушения конструкции кровли, со всеми вытекающими из этого последствиями. На основании этого разработчиками плана ТСУ принимается решение о вызове, по согласованию необходимой аварийно-спасательной техники и установке ее в наиболее перспективные места, для целей пожаротушения. Предварительно во взаимодействии со специальными службами регулируется вопрос передислокации служебно-грузового и личного транспорта на другие парковочные места. На этом первый этап, в виде изучения «реальной» оперативно-тактической характеристики и разработки тактического замысла учений завершается

подписанием планирующей документации заинтересованными сторонами. Второй этап это непосредственно, как правило, проведение «тренировочных», ТСУ. В этом компоненте мы непосредственно воссоединяем многие взаимосвязи при организации боевой работы подразделений МЧС по ликвидации условного возгорания и других оперативных служб [2]. По результатам проделанной работы подводятся итоги, как для сотрудников служб экстренной помощи (далее СЭП), так и для работников объекта. Выявленные в ходе проведения ТСУ недостатки, выразившиеся в виде невозможности подъезда аварийно-спасательной техники СЭП к месту дислокации, отсутствие заявленного внутреннего и наружного противопожарного водоснабжения, неустойчивой работы системы оповещения для эвакуации людей и т.д., являются аварийными рисками. Когда заинтересованные стороны в реальных условиях увидят наличие данных рисков, то возникает необходимость их устранения, с целью недопущения возникновения аварийных ситуаций. Так появляются шлагбаумы и другие ограждающие приемы, позволяющие установить на эти места в случае нештатной ситуации технические средства СЭП. Вносятся изменения и дополнения в планы развития объектов, например по противопожарному водоснабжению, вентиляции и т.д. Два этапа проведения ТСУ заканчиваются определением оценки аварийных рисков на данном объекте, что позволяет спрогнозировать работу по стабилизации безопасности жизнедеятельности предприятия.

Подводя итог о целесообразности использования ситуационного моделирования тактико-специальных учений в качестве одного из механизмов по прогнозированию и оценке аварийных рисков, можно сделать положительный вывод. Данный способ показывает возможность совершенствования профилактической работы, способов пожаротушения, исключения гибели людей и снижения материального ущерба. Новые, инновационные подходы помогают развивать и совершенствовать концепцию «Безопасность в техносфере».

### **Список литературы**

1. Тактика проведения аварийно-спасательных работ. Охрана труда и техника безопасности / Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск: РЦСиЭ МЧС, 2011. 318 с.

2. Тимошков, В.Ф. Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта / В.Ф. Тимошков // сб. тез. IX Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 18 – 20 декабря 2018 г. / УО «Полоц. гос. ун-т» ; под общ. ред. В.К. Липского ; редкол.: В.К. Липский (пред.) [и др.]. – Новополоцк : Полоцкий государственный университет, 2018. – С. 82-83.

## **CASE STUDIES, SPECIAL TACTICAL EXERCISES TO ASSESS EMERGENCY RISKS AND TO OPTIMIZE FIRES**

*V.F. Timoshkov*

Gomel branch of EMERCOM of Belarus, 246023 Gomel, Republic of Belarus, Rechitskiy prospect, 35 a

e-mail: *timoshkov.67@mail.ru*

*The article discusses one of the ways to reduce the effects of fires and assess emergency risks. This process is characterized by situational modeling of tactical and special exercises. The possibility of improving fire extinguishing, reducing material damage, as a result of the assessment of emergency risks and elimination of deficiencies identified in the planning of the exercise.*

Keywords: situational modeling of tactical and special exercises, fire fighting, emergency risk assessment, emergency services.

УДК 614.842.4

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЧНОГО МЕТОДА ВЫБОРА АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

А.Н. Членов, С.И. Лобацкий

Академия Государственной противопожарной службы МЧС

России, г. Москва, Россия

e-mail: [chlenov@mail.ru](mailto:chlenov@mail.ru), [sergey.lobatskiy@gmail.com](mailto:sergey.lobatskiy@gmail.com)

*Предложена методика применения матричного метода для выбора автоматической установки тушения пожара. Принцип формирования матрицы заключается в том, что преимущества той или иной установки оцениваются по наиболее важным показателям. При этом учитываются особенности тушения пожара на конкретном объекте. Рассмотренный метод может быть полезен на начальной стадии проектирования при определении наиболее эффективного вида автоматической установки тушения пожара для заданных условий использования.*

**Ключевые слова:** автоматическая установка, пожаротушение, матричный метод, проектирование установки тушения пожара, выбор способа пожаротушения.

В настоящее время основой для выбора автоматической установки тушения пожара (АУПТ) при проектировании является комплекс действующих нормативных документов и рекомендаций [1–3]. Такой метод приводит к наиболее достоверному результату, хотя и является достаточно трудоёмким и относительно более длительным.

Для оперативного выбора АУПТ может быть использован «матричный» метод. Концепция формирования матрицы заключается в том, что преимущества той или иной АУПТ оцениваются по наиболее важным показателям (степени воздействия огнетушащих веществ (ОВВ) на людей, проницаемости ОВВ для загроможденных помещений, минимальных побочных повреждений защищаемого оборудования, прямых и побочных повреждений защищаемого объекта при подаче ОВВ, эффективности пожаротушения и т.п.). Различным комбинациям параметров придаётся численное значение

по определённой шкале, высокие значения соответствуют положительной степени данного параметра. Первоначально составляется базовая матрица, в которой оценка АУПТ производится исходя из общих условий применения без учёта особенностей тушения пожара на объекте. Затем определяются коэффициенты значимости, которые оценивают важность каждого параметра в конкретных условиях использования. Итоговую матрицу составляют, умножая базовые значения параметров на коэффициенты значимости. Сумма значений параметров итоговой матрицы для каждого варианта АУПТ является характеристикой предпочтительности применения данной АУПТ в конкретных условиях.

Базовая матрица для оценки различных АУПТ приведена в таблице 1.

В качестве параметров в таблице выбраны:

- 1 – относительная масса/объём системы;
- 2 – ограничение повреждений оборудования (материалов) при выпуске огнетушащих веществ;
- 3 – проникающая способность ОТВ;
- 4 – возможный риск для персонала (токсичность, асфиксия и т.п.);
- 5 – потеря ориентации для персонала при выпуске ОТВ;
- 6 – возможность тушения электрооборудования под напряжением;
- 7 – эффективность при тушении пожаров подкласса:
  - 7.1 – А1;
  - 7.2 – А2;
  - 7.3 – В1;
  - 7.4 – В2;
  - 7.5 – С;
  - 7.6 – D.

Из таблицы 1 следует, например, что для тушения пожаров на объектах, оснащённых электрооборудованием, наибольшее количество баллов имеют порошковые системы.

Таблица 1 — Экспертная оценка значимости видов АУПТ

| №<br>п/п | Вид АУПТ                           | Параметры |   |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|----------|------------------------------------|-----------|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          |                                    | 1         | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7   |     |     |     |     |     |
|          |                                    |           |   |    |    |    |    | 7.1 | 7.2 | 7.3 | 7.4 | 7.5 | 7.6 |
| 1        | Сплинклерные системы               | 2         | 5 | 0  | 10 | 10 | 0  | 10  | 10  | 5   | 3   | 0   | 0   |
| 2        | Дренчерные системы                 | 1         | 5 | 0  | 10 | 10 | 0  | 10  | 10  | 5   | 3   | 0   | 0   |
| 3        | Системы тонкораспыленной воды      | 4         | 9 | 6  | 10 | 10 | 4  | 8   | 8   | 8   | 5   | 0   | 0   |
| 4        | Системы воздушно-механической пены | 1         | 5 | 8  | 7  | 8  | 0  | 7   | 8   | 10  | 0   | 0   | 0   |
| 5        | Газовые хладон. системы            | 3         | 9 | 10 | 4  | 10 | 10 | 8   | 9   | 8   | 8   | 3   | 0   |
| 6        | Газовые системы на основе CO_2     | 2         | 9 | 10 | 0  | 6  | 10 | 8   | 9   | 8   | 8   | 3   | 0   |
| 7        | Газовые системы на основе N_2, Ar  | 1         | 9 | 10 | 0  | 6  | 10 | 8   | 9   | 8   | 8   | 3   | 0   |
| 8        | Газовые системы на основе инертнов | 1         | 9 | 10 | 4  | 10 | 10 | 8   | 9   | 8   | 8   | 3   | 0   |
| 9        | Порошковые системы                 | 6         | 4 | 4  | 6  | 0  | 10 | 9   | 10  | 9   | 10  | 10  | 10  |
| 10       | Газоаэрозольные                    | 10        | 5 | 8  | 4  | 0  | 10 | 0   | 9   | 8   | 8   | 2   | 0   |



Для учёта относительной стоимости при выборе установки пожаротушения можно принять цены, приведённые в справочных материалах. Следует, однако, отметить, что цены, как правило, указаны без учёта затрат на приобретение технических средств пожарной сигнализации и управления АУПТ. Значительный разброс цен объясняется также их зависимостью от местных условий наличия или отсутствия насосной станции или станции газового пожаротушения, количества одновременно защищаемых помещений, соотношения их объёмов и др.

**Примечание:** максимальное значение коэффициента значимости установлено 10 баллов.

Таким образом, выбор установки производится с учётом характеристик АУПТ в целом, а не только ОТВ, что является несомненным достоинством "матричного" метода. Недостаток метода заключается в том, что его результат зависит от опыта и интуиции эксперта, заполняющего матрицы. Этот недостаток устраняется при проведении оценки несколькими квалифицированными экспертами. При этом в методе непосредственно не учитываются затраты на изготовление, монтаж, наладку и эксплуатацию АУПТ, так как эти показатели для различных фирм-изготовителей могут отличаться в несколько раз [4, 5].

Рассмотренный метод может быть полезен на начальной стадии проектирования при определении наиболее близких вариантов АУПТ для последующего применения на конкретном объекте.

### Список литературы

1. СП 5.13130.2009. Свод правил «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».
2. Антоненко А.А., Буцынская Т.А., Членов А.Н. Нормативное обеспечение систем комплексной безопасности объектов // Технологии техносферной безопасности, 2010, вып. 2 (30), 7 с.
3. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Демехин Ф.В., Дровникова И.Г., Орлов П.А. Новые возможности управления в системе пожарной безопасности // Пожарная безопасность, 2008, № 4, с. 96-101.

4. Членов А.Н., Демехин Ф.И. Метод оценки влияния качества пожарной сигнализации на эффективность автоматизированной системы противопожарной защиты промышленного предприятия // Технологии техносферной безопасности, 2008, вып. 5 (21), 4 с.
5. Членов А.Н., Климов А.В. Методика оценки эффективности системы безопасности объектов дистанционного банковского обслуживания // Технологии техносферной безопасности, 2015, вып. 2 (60), с. 205-211.

### APPLICATION OF THE MATRIX METHOD OF SELECTING THE AUTOMATIC INSTALLATION OF FIRE EXTINGUISHING

*A.N. Chlenov , S.I. Lobatskiy*

Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, 129366, Moscow, Russia, Borisa Galushkina Str., 4

e-mail: *chlenov@mail.ru, sergey.lobatskiy@gmail.com*

*The proposed method of applying the matrix method to select the automatic installation of extinguishing the fire. The principle of matrix formation is that the advantages of a particular installation are evaluated by the most important indicators. This takes into account the peculiarities of extinguishing the fire at a specific object. The considered method can be useful at the initial design stage in determining the most effective type of automatic fire extinguishing installation for the given conditions of use.*

Keywords: automatic installation, fire extinguishing, matrix method, design of a fire extinguishing installation, choice of fire extinguishing method.

УДК 725.8.053.4:681.5(045)

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ТЕАТРА ОКОЛО ОРКЕСТРОВОЙ ЯМЫ

Я.Н. Перминов, Н.А. Перминов

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: roserid@mail.ru, na\_perminov@mail.ru

*В статье обсуждается индивидуальный риск падения человека в оркестровую яму. Приведены примеры производственных травм, связанных с ямой. Изложены критерии подбора средств спасения человека от результата падения. Авторами предложено применение автоматической системы спасения падающего человека, сводящей риск смертельного исхода или нанесения вреда здоровью до минимума: испуга и синяков. Описана конструкция автоматической системы и последовательность действия элементов системы в случае приведения её падающим человеком в действие.*

**Ключевые слова:** спасение, сетка, защитно-улавливающая, катушка соленоида, фотоэлемент.

Проблемы, связанные в отношении обеспечения безопасности работников театра с оркестровой ямой, представляющие опасность для окружающих – следующие:

- 1 яма не имеет ограждения со стороны сцены и существует вероятность случайного падения движущегося по сцене человека в яму;
- 2 размеры ямы ограничены по своей величине, что не позволяет размещать в ней габаритные средства спасения;
- 3 находящиеся на сцене люди, понимая, что где-то рядом есть неогороженная яма, чувствуют себя скованно, что весьма отрицательно сказывается на игре артистов или оформительской деятельности работников сцены.

Перечисленные выше проблемы требуют своего рассмотрения и решения в ближайшем будущем, так как несчастные случаи

в театрах, связанные с падением в оркестровую яму, редко, но случаются. Например, по словам сотрудников театра оперы и балета Удмуртской республики, в нём только в 2016 году их было два.

Первый случай: осветитель при световой репетиции (при моргании света на сцене) оступился и упал в оркестровую яму, получив при этом значительные травмы головы.

Второй случай: на детском спектакле «Чиполлино» артист кордебалета, закружившись в танце в группе танцоров, должен был по сценарию уйти за кулисы, но, потеряв ориентацию в пространстве, упал со сцены прямо в оркестровую яму на глазах у зрителей. При этом артист повредил ногу и ударился головой.

Для улавливания людей, падающих с высоты при проведении работ на краю возвышения или стены, не имеющих ограждения применяются такие средства спасательной техники, как горизонтальные страховочно-улавливающие сетки [1]. Использование такой сетки для оркестровой ямы обуславливается следующими критериями:

- 1 достаточная прочность, обеспечивающая удерживание человека при улавливании;
- 2 незаметность для зрителей расположения сетки в яме;
- 3 отсутствие создания неудобств оркестрантам, работающим в яме;
- 4 быть легко и быстро устанавливаемой и легко и быстро съёмной.

Конструкция наиболее простого варианта горизонтально-улавливающей сетки для оркестровой ямы, отвечающей вышеперечисленным требованиям, изложены в статье [2]. У этого варианта есть один недостаток, общий для многих горизонтальных защитно-улавливающих сеток: они стационарны, то есть их вручную устанавливают, когда она нужна и убирают, когда в ней нет необходимости.

Мы предлагаем применять динамичную конструкцию горизонтально-улавливающей сетки для оркестровой ямы, когда она в исходном состоянии находится в сложенном положении под уровнем пола сцены вдоль ямы, и раскрывается на необходимую

ширину по всей длине ямы только в момент падения человека по команде, поданной двумя фотоэлементами в момент пересечения человеком линии действия их лучей над полом сцены вдоль рядом с её краем.

В исходном положении установленная сетка представляет собой следующую конструкцию. Вдоль обоих коротких краёв оркестровой ямы на уровне от двух до двух с половиной метров от пола ямы, но ниже уровня сцены, жёстко прикреплены по своим концам к бетонным перекрытиям в горизонтальном положении по одному трубчатому гладкому направляющему элементу длиной около двух метров. По этим элементам имеет возможность скользить, раскрываясь в рабочее положение, соединённая с ними стальными кольцами, нанизанными на элементы, горизонтально-улавливающая сетка, которая в исходном положении закреплена в нескольких местах вдоль края сцены ниже уровня пола в сложенном скомканным рулоном состоянии. Количество колец кратно количеству ячеек сетки: 1/1 или 1/2 в зависимости от размера ячейки. Крепление сетки в рулон к стене в нескольких местах осуществляется легко рвущейся нитью, разрыв которой в момент раскрывания сетки в рабочее положение обеспечит сетке возможность сделать это беспрепятственно. Параллельно направляющим элементам под каждым из них в оркестровой яме к стене сцены закреплён соленоид с подвижным сердечником, к наружному концу которого сверху жёстко в вертикальном положении прикреплено крайнее стальное кольцо.

В рабочее положение сетку приводит включение соленоида, сердечник которого растягивает сетку за крайнее кольцо на всю ширину, в результате чего сетка растягивается и ловит падающего со сцены человека, предотвращая несчастный случай. Включение соленоидов в нужный момент обеспечивается двумя фотоэлементами, установленными на сцене с направлением лучей в виде лежащей буквы Х вдоль края ямы. Когда луч фотоэлемента пересекает что-либо, он даёт сигнал соленоиду на срабатывание, что позволяет сетке развернуться быстрее, чем падающий человек упадёт в яму.

Дальнейшая работа над темой предполагает разработку конструкции соленоида, позволяющей сердечнику выскакивать из

катушки на достаточную длину, так как электротехническая промышленность таких разновидностей не производит.

### Список литературы

1. Перминов, Н. А. Обеспечение безопасности путей эвакуации людей со сцен зрительных залов учреждений культуры в условиях задымления / Н. А. Перминов // Безопасность в техносфере : сб. ст. / Удмурт. регион. отд-ние Общерос. обществ. орг. «Российское научное общество анализа риска», ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» ; науч. ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Удмуртский университет, 2017. – Вып. 11. – С. 88-90.
2. Большакова, К. А. Разработка защитного устройства для оркестровой ямы учреждений культуры / К. А. Большакова ; науч. рук. Н. А. Перминов // Итоговая студенческая научная конференция (45 ; Апрель, 2017) XLV итоговая студенческая научная конференция : материалы конф. (апр. 2017 г.) / Итоговая студенческая научная конференция (45 ; Апрель, 2017), М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» ; отв. ред. А. М. Макаров. – Ижевск : Удмуртский университет, 2017. – С. 89-90.

### AUTOMATIC SYSTEM THE SAFETY OF THEATER EMPLOYEES ABOUT TH ORCHESTRA PIT

*Ya.N. Perminov , N.A. Perminov*

Udmurt State University , 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: [roserid@mail.ru](mailto:roserid@mail.ru), [na\\_perminov@mail.ru](mailto:na_perminov@mail.ru)

*The article discusses the individual risk of a person falling into the orchestra pit. Examples of occupational injuries associated with the pit are given. Set out criteria for the selection of the means of salvation of man from the fall. The authors propose the use of an automatic system to save a falling person, reducing the risk of death or harm to health to a minimum: fright and bruises. The design of the automatic system and the sequence of action of the system elements in the case of bringing it falling man in action are described.*

Keywords: rescue, grid, protective-trapping; solenoid coil, photocell.

УДК 351.862

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ В ОФИСНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕНТРАХ

*А.Т. Хисматова, А.И. Шакирова, В.М. Афанасьев*

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия  
e-mail: *alina-hismatova@mail.ru, alsugal92@mail.ru*

*В данной работе ставится задача и обосновывается необходимость оптимизации методики расчёта численности личного состава противопожарных служб предприятий, требуемого для выполнения задач по предупреждению, недопущению и ликвидации пожаров в многофункциональных офисно-производственных комплексах. Существующие в настоящее время методики довольно сложны и не исключают человеческого фактора при проведении расчетов. Исходя из этого, авторы статьи предлагают компьютерную программу, позволяющую более точно и упрощенно производить сложные вычисления.*

**Ключевые слова:** офисно-производственные центры, пожаробезопасность, методика расчета, пожар, чрезвычайная ситуация, безопасность, компьютерная программа, надзорные службы.

Проблема риска возникновения пожаров в многофункциональных центрах непосредственно связана со стремительной индустриализацией, с одной стороны, и с непредвидимыми (негативными) последствиями модернизации, с другой.

Стоит только вспомнить прогремевшие на всю Россию пожары в торгово-офисных помещениях «Адмирал» и технополисе «Новая Тура», причинами которых является несоблюдение и отсутствие должного контроля за элементарными правилами техники безопасности. Исходя из этого, актуальность нашего проекта не вызывает сомнений, так как ежегодно увеличивается количество и масштабы площадей данного типа и, соответственно, возрастает риск возникновения чрезвычайной ситуации (пожара) по причине нехватки квалифицированных специалистов, которые могут заранее предвидеть и предотвратить пожар.

В современном мире возрастают опасности, продуцируемые техносферой и выходят на новый уровень как техногенные, так и социальные риски. Стремление человека получать максимальную прибыль при минимальных затратах приобретает невообразимо катастрофический характер. При возникновении вопроса: «На чем сэкономить?», ответ, к сожалению, не заставляет себя ждать: «На безопасности!». Казалось бы, установить датчики дыма, сигнализации, камеры видеонаблюдения и поручить следить за всем этим одного человека на весь многофункциональный комплекс достаточная мера обеспечения безопасности? Но нет. Существуют определенного рода свод норм и правил, определяющий необходимое количество надзорно-профилактического персонала, в должностные обязанности которого входит контроль за выполнением элементарных правил техники безопасности и проведение разъяснительно-инструктажной деятельности.

Вот лишь несколько крупнейших катастроф в России за последние 10 лет, наглядно показывающие последствия пренебрежения данными нормативными документами:

- 1 03.02.2007 года сильный пожар полностью уничтожил московский развлекательный центр «Слава». Площадь пожара составила свыше 1000 м<sup>2</sup>.
- 2 Серьезный пожар в Москве в январе 2016 на улице Стромынка загорелось промышленное здание, в результате чего погибло 12 человек.
- 3 Май 2013 года – крупный пожар торгово-ярмарочного комплекса технополиса «Новая Тура», Казань. Погибших нет, 13 человек в шоковом состоянии обратились за медпомощью, один был госпитализирован в кардиологию. Возгорание произошло в двух складских ячейках на площади чуть более 20 м<sup>2</sup>. Огонь быстро распространился на соседние помещения, и к вечеру огнем пожара были охвачены уже 6 из 8 боксов комплекса на общей площади 21 тыс. м<sup>2</sup>.
- 4 Март 2015 года – молниеносно развивающийся пожар 4 степени тяжести в торгово-офисном центре «Адмирал». В результате пожара погибло 17 человек (тела 13 потерпевших



обнаружены в ходе расчистки завалов, четверо скончались в больнице), более 70 получили ожоги и травмы. Пострадали 3 сотрудника МЧС.

Кажется, данные примеры уже доказали всем, необходимость соблюдения правил техники безопасности и острую потребность в квалифицированных кадрах, способных проводить надзорно-профилактическую деятельность.

Стремительное увеличение количества и масштабов офисно-производственных площадей ведет к пропорциональному росту возникновения чрезвычайных ситуаций (пожара), основной причиной которых является нехватка квалифицированных специалистов.

В настоящее время существуют установленные и утвержденные нормативные документы, позволяющие производить расчеты по необходимому оснащению помещений сотрудниками надзорных служб, служб пожаротушения и пожарной охраны, однако в ходе работ по данному направлению, нами наглядно были обнаружены некоторые недостатки в существующих программах [1]:

- 1 По прошествии времени, а, следовательно, по увеличению площадей и количества осматриваемых помещений НЕ предусмотрено производство перерасчета необходимого штата сотрудников.
- 2 НЕ учитываются категории и классы опасностей помещений, то есть расчеты производятся по упрощенному, типизированному методу.
- 3 При распределении помещений арендаторам, НЕ учитывается их «соседство» друг с другом.
- 4 На большинстве таких предприятия НЕ создана добровольная пожарная дружина на случаи возникновения чрезвычайных ситуаций (пожара) [2,3].

Исходя из этого, для решения данной проблемы становится задача необходимости создать, во-первых, научную группу, которая проведет тестовые испытания и изучит теоретический принцип работы программы по расчету необходимого надзорно-профилактического штата сотрудников непосредственно для многофункциональных

комплексов, во-вторых, группу программистов, которые проведут внедрение и последующий контроль по использованию компьютерной программы, позволяющей производить точный и независимый расчёт численности надзорно- профилактического штата, требуемого для выполнения задачи по предупреждению и недопущению пожаров на арендуемых офисно- производственных площадях, а также производить перерасчет данных показателей с учетом изменений вводных данных во времени [4].

Инновационность данного проекта заключается, в оптимизации методики расчета необходимой численности штата сотрудников, с учетом указанных недостатков, и внедрения разработанной компьютерной программы, позволяющей оптимизировать работу и исключить человеческий фактор при расчетах [5, 6].

Целевой аудиторией нашего проекта являются все владельцы многофункциональных комплексов, заинтересованные в организации безопасного режима труда и сохранности жизней своих подчиненных и Министерство по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям республики Татарстан.

### **Список литературы**

1. Свод правил – СП 232.1311500.2015 «Пожарная охрана предприятий. Общие требования» утвержденных приказом МЧС России от 03.07.2015 г.
2. О.А. Степущенко, Е.В. Муравьева, Е.И. Халикова, Д.Ш. Сибгатуллина. «Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город» как фактор снижения риска возникновения ЧС». Безопасность жизнедеятельности №5. 2017, с. 47-52.
3. Муравьева Е.В., Романовский В.Л. «Метод анализа риска «Древовидные структуры» – как метод понимания взаимосвязи опасностей в системе» «Предупреждение. Спасение. Помощь». Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции, 16 марта 2016 года. – Химки: ФГБОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2016.
4. Романовский, В.Л. Прикладная техносферная рискология. Экологические аспекты / В. Л. Романовский, Е. В. Муравьева: монография. – Казань: РИЦ «Школа», 2010.

5. Сумин Е.В., Халкин Т.А. Роль научно-технического творчества молодежи в построении инновационной инфраструктуры // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. Академик М. Ф. Решетнёв – 2010. – № 6. -S.194-198.
6. Авен Т. Как определить и интерпретировать вероятность в условиях риска и безопасности / Reniers, G. // Scopus, January 2013, Pages 223-231.

## IMPROVEMENT OF FIRE SAFETY MEASURES IN OFFICE AND PRODUCTION CENTERS

*Al. T. Hismatova, Al. Il. Shakirova, V.M. Afanasiev*  
KNRTU–KAI, 420111 Russia, Kazan, st. K. Marx, 10  
e-mail: *alina-hismatova@mail.ru, alsugal92@mail.ru*

*This paper sets the task and justifies the need to optimize the methodology for calculating the number of personnel of the fire-fighting services of enterprises required to perform the tasks of preventing, suppressing and eliminating fires in multifunctional office-industrial complexes. The currently existing methods are quite complex and do not exclude the human factor in the calculations. On this basis, the authors of the article propose a computer program that makes it possible to perform complex calculations more accurately and simplified.*

Keywords: office and production centers, fire safety, calculation method, fire, emergency, security, computer program, supervisory services.

УДК 253.62

## ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАДАЧА ПРИМЕНЕНИЯ ТРОСА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

А.В. Кулагин, Я.Н. Перминов, А.П. Резенова

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: rekfuby2@rambler.ru, annarezenova.00@mail.ru

*В статье предлагается инженерный метод, основанный на проверке выполнения прочности стального каната или троса, который выдержит вес спасателя со спасательным снаряжением в штатной и во внештатной ситуации, при проведении аварийно-спасательных работ. Предлагается энергетический способ Верещагина решения задачи, без учета применения автоматизированного средства перемещения спасателя.*

**Ключевые слова:** инженерная задача, прочность, спасательные работы, стальной трос, способ Верещагина, статически неопределимая система.

Сформируем задачу, гипотетически: спасателю необходимо преодолеть некоторое расстояние между стенами двух зданий по тросу или высокопрочной веревке, например стальному канату «Грозотрос», выпущенному на производстве ОАО «Северсталь-метиз» г. Орел, марки МЗ-В-ОЖ-Н-Р будучи прикрепленному карабинами пожарного, на специально оборудованном неавтоматизированном устройстве для перемещения. Все проводимые работы и технические характеристики проводятся согласно [1, 2]. Точки крепления к стенам считаем жесткими заделками. Зададимся весом спасателя  $Q = 1000$ , длиной перемещения, исходя из длины бухты  $l = 5$ , предполагаемый диаметр троса  $d = 22 - 25$ , удовлетворяющий условиям прочности троса и работы спасателя.

Система является статически неопределимой (рисунок 1). Т.е. невозможно определить реакции связей с помощью одних только уравнений статики, и нам требуются дополнительные уравнения, характеризующие заранее известные перемещения системы. Применим метод сил [3].

Для того, чтобы система стала статически определимой, отбрасываем лишние связи и заменяем их реакциями связей. Нагрузим систему опорными реакциями  $x_1$ ,  $x_2$  и опорным моментом

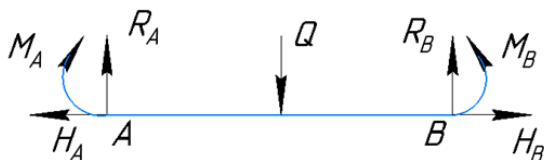


Рисунок 1 — Схема статически неопределимой системы

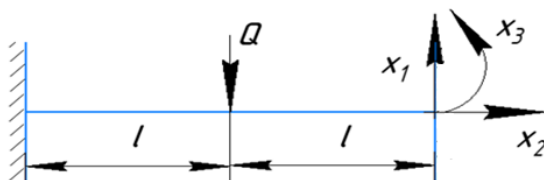


Рисунок 2 — Эквивалентная система

$x_3$ , в направлении их предполагаемого направления. Тем самым, получаем эквивалентную систему (рисунок 2).

Таким образом, условие равенства эквивалентной и заданной систем математически сводится к решению системы 3-х линейных канонических уравнений:

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \Delta_1p = 0; \quad (1)$$

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \Delta_2p = 0; \quad (2)$$

$$\delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \Delta_3p = 0. \quad (3)$$

где  $\delta$  и  $\Delta$  — главные и побочные коэффициенты, характеризующие перемещения.

Первая цифра в обозначении коэффициента характеризует точку приложения нагрузки. Вторая цифра характеризует направление перемещения. Так как действие происходит в горизонтальной плоскости, реакция  $x_2 = 0$ , и канонические уравнения примут вид:

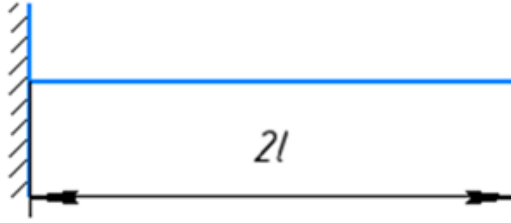


Рисунок 3 — Основная система

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{13}x_3 + \Delta_1p = 0; \quad (4)$$

$$\delta_{31}x_1 + \delta_{33}x_3 + \Delta_3p = 0. \quad (5)$$

Раскрытие статической неопределимости методом сил начинается с отбрасывания дополнительных связей. В результате получаем основную систему (рисунок 3).

Для определения коэффициентов  $\delta$  и  $\Delta$ , используем способ Верещагина, будем нагружать поочередно основную систему опорной реакцией  $x_1$ , опорным моментом  $x_3$  и силой  $Q$ , действующей вертикально вниз.

Нагружаем систему опорной реакцией  $x_1 = 1$  (рисунок 4).

$$M_{x1} = x_1z_1 = 1 \cdot Z_1|_0^{2l}, \quad (6)$$

$$z_1 = 0, M_{x1} = 1 \cdot 0 = 0; \quad (7)$$

$$z_2 = 2l, M_{x1} = 1 \cdot 2l = 2l. \quad (8)$$

Находим коэффициент  $\delta_{11}$ :

$$\delta_{11} = \frac{\Omega \cdot \xi_{1C}}{EI_{изг}}, \quad (9)$$

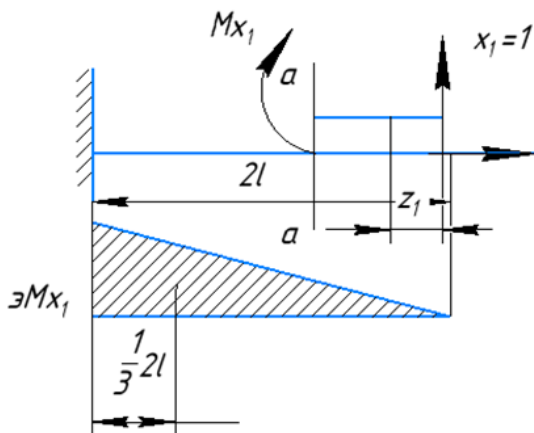


Рисунок 4 — Эпюры моментов при нагрузке системы опорной реакцией  $x_1 = 1$  для определения коэффициента  $\delta_{11}$ .

где  $\Omega$  — площадь грузовой эпюры;  $\xi_{1C}$  — ордината центра тяжести эпюры единичных моментов;  $EI_{изг}$  — жесткость поперечного сечения каната при изгибе.

$$\delta_{11} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 2l \cdot 2l \cdot \frac{2}{3} \cdot 2l}{EI_{изг}} = \frac{8}{3} \frac{l^3}{EI_{изг}}. \quad (10)$$

Нагружаем систему опорным моментом  $x_3 = 1$  (рисунок 5).

$$M_{x_3} = x_3 = 1. \quad (11)$$

Находим коэффициент  $\delta_{31}$  (рисунок 6).

$$\delta_{31} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 2l \cdot 2l \cdot 1}{EI_{изг}} = \frac{2 \cdot l^2}{EI_{изг}}; \quad (12)$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{2 \cdot l^2}{EI_{изг}}. \quad (13)$$

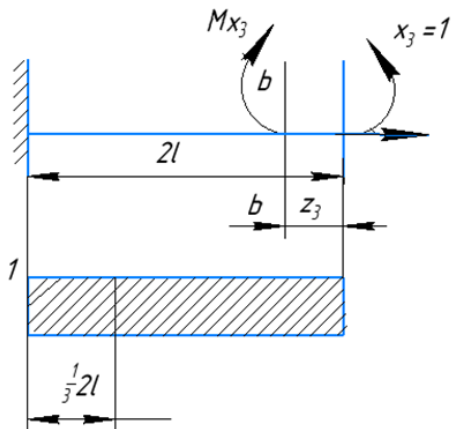


Рисунок 5 — Эпюры моментов при нагрузке системы опорным моментом  $x_3 = 1$

Нагружаем систему силой  $Q$ , действующей вертикально вниз (рисунок 7).

$$M_{xp} = -Q \cdot z_4 \Big| \frac{2l}{0}, \quad (14)$$

$$z_1 = 0, M_{x1p} = 0; \quad (15)$$

$$z_2 = l, M_{x2p} = -Ql. \quad (16)$$

Находим коэффициент  $\delta_{33}$ :

$$\delta_{33} = \frac{2l \cdot 1 \cdot 1}{EI_{изг}} = \frac{2l}{EI_{изг}}. \quad (17)$$

Находим коэффициенты  $\Delta_{1p}$  и  $\Delta_{3p}$ . Для этого понадобятся эпюры моментов  $M_{x1}, M_{x3}, M_{xp}$  (рисунки 8, 9).

$$\Delta_{1p} = \frac{\frac{1}{2} \cdot l \cdot (-Ql) \cdot \frac{2}{3}l}{EI_{изг}} + \frac{\frac{1}{2} \cdot l \cdot (-Ql) \cdot 1l}{EI_{изг}} = -\frac{5}{6} \frac{Ql^3}{EI_{изг}}. \quad (18)$$



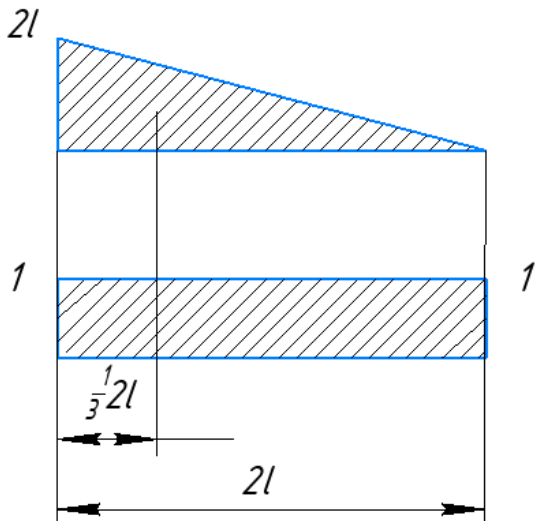


Рисунок 6 — Эпюра моментов при нагрузке системы опорной реакцией  $x_1 = 1$  и опорным моментом  $x_3 = 1$  для определения коэффициента  $\delta_{31}$

$$\Delta_{3p} = \frac{\frac{1}{2} \cdot l \cdot (-Ql) \cdot 1}{EI_{изг}} = -\frac{Ql^2}{2EI_{изг}}. \quad (19)$$

Определяем  $x_1$  и  $x_3$ , подставляя в канонические уравнения побочные и грузовые коэффициенты.

$$x_1 = \frac{Q}{2}; \quad (20)$$

$$x_3 = \frac{Ql}{4} - lx_1 = \frac{Ql}{4} - \frac{Ql}{2} = -\frac{Ql}{4}. \quad (21)$$

Статическая неопределимость раскрыта. Заменяем эквивалентную схему с учетом найденных опорных реакций и момента  $x_1 = \frac{Q}{2}$  и  $x_3 = -\frac{Ql}{4}$  (рисунок 10).

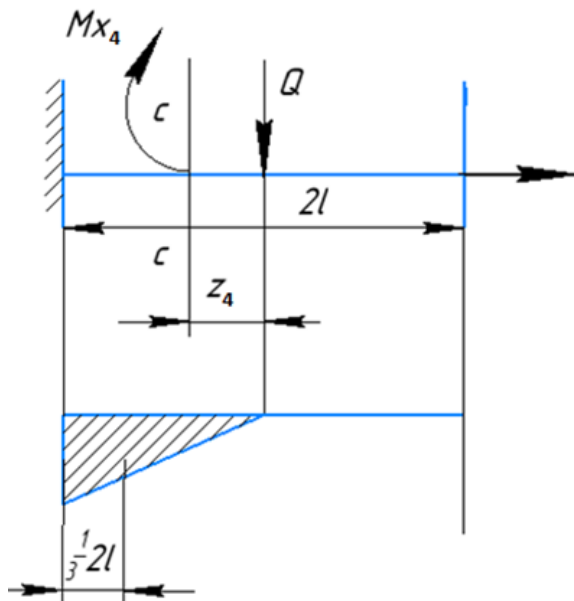


Рисунок 7 — Эпюра момента при нагрузке системы силой  $Q$ , для определения коэффициента  $\delta_{33}$

$$M_{x1} = \frac{Q}{2} z_1 \Big|_0^l - \frac{Ql}{4}; \quad (22)$$

$$z_1 = 0, M_{x1} = -\frac{Ql}{4}; \quad (23)$$

$$z_1 = l, M_{x1} = \frac{Ql}{2} - \frac{Ql}{4} = \frac{Ql}{4}. \quad (24)$$

$$M_{x2} = -\frac{Ql}{4} + \frac{Q}{2} (l + z_2) \Big|_0^l - Qz_2 \Big|_0^l; \quad (25)$$

$$z_2 = 0, M_{x2} = -\frac{Ql}{4} + \frac{Ql}{2} = \frac{Ql}{4}; \quad (26)$$

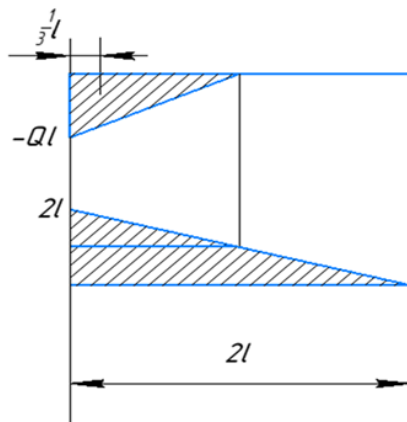


Рисунок 8 — Эпюры моментов  $M_{xp}$  и  $M_{x1}$  для определения коэффициента  $\Delta_{1p}$

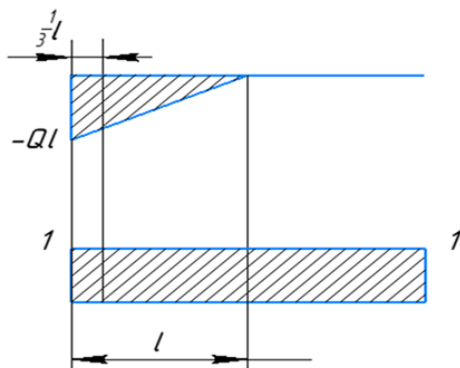


Рисунок 9 — Эпюры моментов  $M_{xp}$  и  $M_{x3}$  для определения коэффициента  $\Delta_{3p}$

$$z_2 = l, M_{x2} = -\frac{Ql}{4} + Ql - Ql = -\frac{Ql}{4}. \quad (27)$$

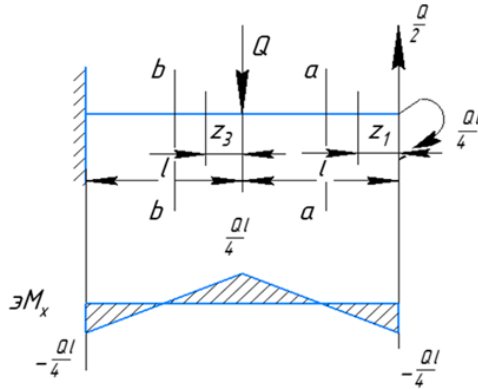


Рисунок 10 — Эквивалентная система с учетом найденных коэффициентов уравнений

Из условия симметрии геометрии и нагружения балки опасное сечение находится в одной из заделок при  $M_{max} = -\frac{Ql}{4}$ .

Составляем условие гарантированной прочности:

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_{изг}} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{n_T}, \quad (28)$$

где  $W_{изг}$  — осевой момент сопротивления сечения троса,  $\sigma_T$  — предел текучести материала,  $n_T$  — коэффициент запаса прочности материала.

$$\sigma_{max} = \frac{\left| -\frac{Ql}{4} \right|}{0.1 \cdot d^3} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{n_{ext}}. \quad (29)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{n_T \cdot Q \cdot l}{4 \cdot 0.1 \cdot \sigma_T}} \geq \sqrt[3]{\frac{1.5 \cdot 1000 \cdot 5000}{0.4 \cdot 1770}} \geq 22.5. \quad (30)$$

Задача решена в статической постановке и окончательной выбор размеров бухты троса, элементов крепежа и автоматизации процесса перемещения спасателя можно решить при помощи, например способа динамического программирования и оптимизационного моделирования [4].

## Список литературы

1. Одинцов Л.Г. и другие. Высотные и аварийно-спасательные работы на гражданских и промышленных объектах. Справочник спасателя, книга 12. – М.: Федеральный центр науки и высоких технологий ВНИИ ГОЧС, 2006. 160 с.
2. ГОСТ Р 22.9.22-2014 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные средства. Классификация. Национальный стандарт Российской Федерации.
3. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 560 с.
4. Романовская А.М., Мендзив М.В. Динамическое программирование: Учебное пособие.– Омск: Омский институт (филиал) РГТЭУ, 2010. 58 с.

## ENGINEERING PROBLEM APPLICATION OF ROPE RESCUE OPERATIONS

*A. V. Kulagin, Ya. N. Perminov, A. P. Rezenova*

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

e-mail: *rekfuby2@rambler.ru, annarezenova.00@mail.ru*

*The article proposes an engineering method based on the verification of the strength of a steel rope or cable, which will withstand the weight of the rescuer with rescue equipment in the normal and emergency situations, during rescue operations. The energy method of Vereshchagin solution of the problem is proposed, without taking into account the use of an automated means of moving the rescuer.*

Keywords: engineering task, strength, rescue operations, steel cable, Vereshchagin method, statically indeterminate system.

УДК 336.71

## О РИСКЕ КРИМИНАЛЬНОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ НА ОХРАНЯЕМЫЙ ОБЪЕКТ

Т.А. Буцынская, А.Н. Членов

Академия Государственной противопожарной службы МЧС

России, г. Москва, Россия

e-mail: butcinskaya@mail.ru, chlenov@mail.ru

*В докладе обсуждается риск криминального проникновения нарушителя на охраняемый объект. Данный параметр даёт комплексную оценку опасности совершения противоправных действий на объекте. Он характеризуется вероятностью проникновения, не обнаруживаемого системой охраны. Представлено математическое выражение для количественной оценки риска. Полученные значения риска криминального проникновения могут быть использованы при проектировании охранной сигнализации, а также организации физической защиты объекта.*

**Ключевые слова:** риск, криминальное проникновение, система охраны, нарушитель, охраняемый объект.

Следствием криминального проникновения (КП) на объект человека (группы лиц) является нанесение материального ущерба в виде кражи, порчи имущества, поджога, террористического акта и других противоправных действий. Поэтому вероятность обнаружения нарушителя в процессе проникновения является мерой обеспечения безопасности охраняемого объекта.

Риск КП можно определить, как количественную меру возможности реализации противоправных действий на охраняемом объекте и их последствий для людей и материальных ценностей.

Расчётная величина риска КП  $Q$  для определенного сценария проникновения на охраняемые объекты различных категорий важности (А1, А2, Б1, Б2), устанавливаемых нормативно ГОСТ Р 56102.1-2014 «Системы централизованного наблюдения. Часть 1. Общие положения», может быть определена с помощью выражения:

$$Q_{\text{нп}} = P_{\text{нп}} \cdot (1 - P_{\text{эо}}) \cdot (1 - P_{\text{дп}}), \quad (1)$$

где  $P_{пп}$  – оценка вероятности попытки проникновения на охраняемый объект;  $P_{зо}$  – оценка вероятности эффективного обнаружения КП охранной сигнализацией;  $P_{дп}$  – оценка вероятности противодействия КП дополнительными подсистемами, входящими систему охраны объекта, воздействующими на факторы КП.

Для конкретного объекта при учёте его конструктивных особенностей, а также имеющейся информации о вероятности реализации конкретных сценариев выбирается тот, для которого достигается наихудшее (максимальное) значение риска КП.

$P_{пп}$  может быть определена на основании статистических данных как частота попыток проникновения на охраняемый объект данного вида (категории) в течение года [1].

Оценка вероятности эффективного обнаружения  $P_{зо}$  КП охранной сигнализацией должна определяться с учётом вероятности работоспособного состояния охранной сигнализации на период обнаружения, а также вероятности достоверного обнаружения с учётом возможного воздействия помех и противодействия нарушителя.

Для типового состава системы охраны, соответствующего ГОСТ Р 53704-2009 «Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования»,  $P_{дп}$  может быть представлена в виде:

$$P_{дп} = 1 - (1 - P_{в}) \cdot (1 - P_{т}) \cdot (1 - P_{д}), \quad (2)$$

где  $P_{в}, P_{т}, P_{д}$  – оценка вероятности противодействия КП подсистемами видеонаблюдения, технической укреплённости и инженерной защиты, а также контроля доступом соответственно [2].

Если для объекта максимальное значение риска КП из всех возможных сценариев будет  $Q_{пп}$ , то условие соответствия риска КП требуемому [3], то есть условие эффективности системы обнаружения, выражается неравенством:

$$Q_{пп} \leq Q_{пп}, \quad (3)$$

где  $Q_{пп}$  – нормативное значение риска КП;  $Q_{пп}$  – расчётная величина риска КП.

Следует отметить, что в настоящее время как официально принятого понятия риска КП, так и его нормативного уровня не установлено [4].

Таким образом, с учётом (1) условие эффективности системы обнаружения КП будет:

$$P_{\text{пп}} \cdot (1 - P_{\text{эо}}) (1 - P_{\text{дп}}) \leq Q_{\text{нп}}. \quad (4)$$

В случае, если на объекте используется только система охранной сигнализации, условие (4) может быть представлено в виде:

$$P_{\text{эо}} \geq (1 - Q_{\text{нп}}/P_{\text{пп}}). \quad (5)$$

Это является необходимым и достаточным условием эффективности системы обнаружения КП.

Графическое представление практической реализации условия (4) для конкретных выбранных значений параметров показано на рисунке 1.

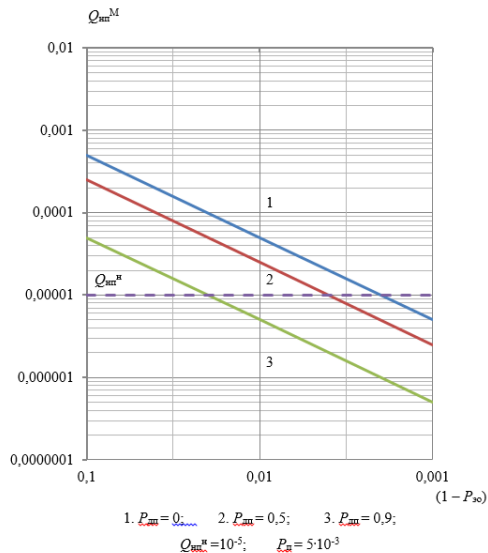


Рисунок 1 — Зависимость риска криминального проникновения от вероятности эффективного обнаружения

$$Q_{\text{нп}} = f \cdot (1 - P_{\text{эо}})$$



Из рисунка 1 следует, что практическое снижение уровня риска КП до нормативного значения может быть достигнуто увеличением вероятности эффективного обнаружения нарушителя охранной сигнализацией  $P_{\text{эо}}$ , а также усилением положительного влияния дополнительных систем, входящих в систему охраны.

Существующие на сегодняшний день теоретические и экспериментальные методы позволяют провести количественную оценку риска КП на этапе проектирования системы охраны.

Таким образом, введение параметра риска КП позволяет дать комплексную оценку опасности совершения противоправных действий на охраняемом объекте.

Результаты и выводы, полученные при определении риска КП, могут быть использованы при проектировании системы охраны объекта для обоснования параметров применяемых технических средств (подсистем), а также и мер технической укреплённости и физической защиты.

### Список литературы

1. Шепитько Г.Е. Исследование характеристик модели нарушителя // Технические средства охраны: сб. научн. тр. – М.: ВНИИПО МВД России, 1992. С. 41-49.
2. Членов А.Н., Самышкина Е.В., Новосельцев Б.Г., Канзафарова М.Е. Современное состояние разработки и производства технических средств тревожной сигнализации в России // Технологии техносферной безопасности, 2015, вып. 1 (59), с. 51-54.
3. Королев В.Ю., Шоргин С.Я., Бенинг В.Е. Математические основы теории риска. Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2011. – 620 с.
4. Антоненко А.А., Буцынская Т.А., Членов А.Н. Нормативное обеспечение систем комплексной безопасности объектов // Технологии техносферной безопасности, 2010, вып. 2 (30), 7 с.

## ABOUT RISK OF CRIMINAL PENETRATION OF THE VIOLATOR ON THE PROTECTED OBJECT

*T.A. Butcinskaya, A.N. Chlenov*

Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, 129366, Moscow, Russia, Borisa Galushkina Str., 4

e-mail: *butcinskaya@mail.ru, chlenov@mail.ru*

*The report discusses the risk of criminal penetration of the violator on the protected object. This parameter gives a comprehensive evaluation of the danger of committing illegal acts on the ob-ject. It is characterized by the probability of penetration not detected by the security system. A mathematical expression for quantitative risk assessment is presented. The obtained values of the risk of criminal penetration can be used in the design of alarm systems, as well as the organization of physical protection of the object.*

Keywords: risk, criminal penetration, security system, violator, protected object.

*Научное издание*

Научный редактор  
Колодкин Владимир Михайлович

# БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей

*Выпуск 13*

Компьютерный набор и верстка  
Радикова Анна Владимировна

*Авторская редакция*

Подписано в печать 01.11.2019. Формат 60х84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,53. Уч. изд. л. 10,12.  
Тираж 80 экз. Заказ № 17-31.

Издательский центр «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1, корп. 4, каб. 207  
Тел./факс: +7 (3412) 50-02-95 E-mail: editorial@udsu.ru