

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПОЖАРНОЙ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

Безопасность в техносфере

16

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Международная ассоциация специалистов пожарной, промышленной
и экологической безопасности

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

*Труды XVI Международной научно-практической конференции
(10-11 октября 2023 г.)*

Выпуск 16



Ижевск
2023

УДК 004.94
ББК 68.9
Б40

Научный редактор:
д-р техн. наук, профессор В. М. Колодкин

Б40 Безопасность в техносфере: Труды XVI Междунар. науч.-
практ. конф.(10-11 октября 2023 г.) / науч. ред. В. М. Колодкин.
– Ижевск: Удмуртский университет, 2023. – 131 с.

ISBN 978-5-4312-1130-0

DOI 10.35634/978-5-4312-1130-0-2023-1-126

Данный сборник соответствует материалам, представленным на XVI международной научно-практической конференции «Безопасность в техносфере».

Основное внимание на конференции было уделено вопросам обеспечения безопасности образовательных учреждений. Также были рассмотрены отдельные проблемы техносферной безопасности.

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

УДК 004.94
ББК 68.9

ISBN 978-5-4312-1130-0

© Авторы статей, 2023

© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

I Безопасность образовательных учреждений	5
<i>В.М. Колодкин, Н.В. Белкин, А.Д. Шакиров</i>	
Проектирование симулятора террористической атаки на образовательное учреждение	6
<i>И.И. Болтачев, Н.В. Белкин</i>	
Создание пространственно-информационной модели здания в формате JSON из проекта BIM-системы Renga	12
<i>А.М. Сивков</i>	
Об использовании горизонтальных инфракрасных счётчиков людей в школьных зданиях	25
<i>С.М. Копелев</i>	
О системах инженерно-технического обеспечения безопасности школ	31
<i>А.Д. Шакиров</i>	
Моделирование движения нарушителя	36
<i>Д.М. Варламова</i>	
Обеспечение безопасности образовательных учреждений	43
<i>А.В. Попков</i>	
Построение научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров «Школа – Вуз – Предприятие» в области беспилотных систем	52
II Системы и материалы обеспечения безопасности	59
<i>В.А. Куликов, В.В. Сяктерева</i>	
Первичные преобразователи тепловых величин для систем мониторинга вулканических извержений	60
<i>Д.Н. Сизов</i>	
Оценка и регулирование КПД сгорания топливно-воздушной смеси в теплогенераторах	69
<i>Н.В. Белкин</i>	
Разработка автоматизированной системы проветривания помещения	74

<i>А.А. Румянцева, Б.Ж. Рахметулин, А.Б. Сивенков</i> Физико-химические и термические превращения материалов на основе целлюлозы длительного естественного старения	85
<i>И.О. Федотов, Ю.К. Нагановский, А.Б. Сивенков</i> Влияние средств огнезащиты на термические превращения древесины и структуру обугленного слоя	93
<i>Ф.Б. Абдукадиров, М.З. Ботирова, Б.А. Мухамедгалиев</i> Синтез и исследование механизма огнезащиты полимерных материалов	101
<i>Ф.Б. Абдукадиров, Б.Х. Мирзахмедов, М.З. Ботирова, Б.А. Мухамедгалиев</i> Исследование огнезащитных свойств синтезированных фосфониевых полимеров	108
<i>М.З. Ботирова, Б.А. Мухамедгалиев</i> Синтез и исследование свойств фосфорсодержащих полимеров	115
<i>А.В. Кривова</i> Применение методов топологической оптимизации в области аддитивных технологий	124

Раздел I
Безопасность образовательных
учреждений

УДК 004.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИМУЛЯТОРА ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ АТАКИ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

В.М. Колодкин, Н.В. Белкин, А.Д. Шакиров

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: kolodkin@rintd.ru, nik.belkin.01@yandex.ru,

artdmshakirov@gmail.com

В работе представлен прототип симулятора, предназначенного для подготовки и переподготовки учащихся и сотрудников образовательных учреждений к действиям в условиях террористической атаки. В основе программного обеспечения симулятора лежит авторская система взглядов на обеспечение террористической безопасности образовательных учреждений. Показано, что программное обеспечение симулятора служит основой системы поддержки принятия решений при террористической атаке.

Ключевые слова: Обучение персонала, система поддержки принятия решений, противодействие терроризму, образовательные учреждения, программное обеспечение.

Основная часть

Современный этап развития общества характеризуется возрастанием уровня и разнообразием угроз (террористических, криминальных, техногенных и т.д.) [1,2]. Это относится и к образовательным учреждениям (ОУ). К разным угрозам образовательные учреждения подготовлены в разной степени. Различный уровень готовности к угрозам имеет объяснение: связанная система взглядов (концепция), направленная, например, на достижение пожарной безопасности, существует очень давно, а в части террористической безопасности только складывается. Появляются новые проявления террористической опасности, например, проявления, связанные с применением беспилотных летательных аппаратов. Общепринятой концепции обеспечения антитеррористической защищенности образовательных учреждений пока не существует. Этим объясняется растерянность, наблюдаемая сегодня среди лиц,

ответственных за безопасность, когда речь идет о повышении уровня террористической безопасности образовательных учреждений. На заседаниях всевозможных комиссий, где процветает «воинствующий дилетантизм», пытаются найти решение проблемы повышения анти-террористической защищенности образовательных учреждений, путем голосования.

Концепция обеспечения террористической безопасности критически-важных объектов развивалась в многочисленных работах, например, - [3, 4]. В основе концепции лежит положение, что силы реагирования успевают пресечь террористическую атаку до того, как нарушитель достигнет критически важной зоны объекта. По ряду причин данная концепция террористической безопасности неприемлема для образовательных учреждений. Значимая террористическая атака, направленная против образовательного учреждения, с высокой вероятностью, не может быть ликвидирована силами учреждения. Но последствия атаки (ущерб) могут быть существенно уменьшены, если реципиенты риска (учащиеся и сотрудники, в том числе и лица, уполномоченные принимать решения в условиях ЧС), оказавшиеся в здании образовательного учреждения во время атаки, будут подготовлены к реагированию на атаку. Целям подготовки и переподготовки сотрудников и обучающихся в части реагирования на террористическую атаку служит симулятор террористической атаки. Программное обеспечение симулятора построено на основе реализации авторской концепции активного противодействия террористической атаке в зданиях образовательных учреждений.

Отметим, что научно-технические достижения теоретически позволяют обеспечить высокий уровень безопасности образовательных учреждений. Но это требует неприемлемых для общества затрат. Образовательные учреждения находятся в разных условиях по отношению к угрозам возникновения чрезвычайных ситуаций; учреждения различаются по уровню готовности к реагированию на атаку. В этой связи, требование времени о повышении антитеррористической защищенности ОУ, требует учета индивидуальных особенностей каждого образовательного учреждения и учета возможностей систем обеспечения безопасности, существующих в той или иной форме в каждом образовательном учреждении.

Уровень террористической угрозы для объекта защиты в определяющей степени определяется его «привлекательностью» для нарушителя [5]. Одна из существенных характеристик защищенности образовательного учреждения - величина предотвращенного риска [6,7] при террористической атаке. Уровень террористической безопасности объекта защиты будет определяться отношением между уровнями угроз и защищенности. Чем выше отношение, тем большее внимание требуется уделять системе обеспечения террористической безопасности.

Если ограничиться рассмотрением временного горизонта террористической атаки на уровне 10 минут, то наиболее значимым механизмом обеспечения безопасности людей является целенаправленное перемещение реципиентов риска в безопасные зоны здания (управляемая эвакуация реципиентов риска). Величина предотвращенного ущерба при атаке, фактически, определяется количеством реципиентов риска, которым удалось достичь зон безопасности в условиях террористической атаки.

Необходимо учесть, что террористическая атака может развиваться по сценарию, который сложно предсказать. Поэтому прогнозирование последствий террористической атаки должно базироваться на вероятностно-временном анализе двух процессов:

- процесса, направленного на нанесение ущерба при террористической атаке, обусловленного действием нарушителя;
- процесса, направленного на увеличение предотвращенного ущерба, обусловленного скоординированными действиями реципиентов риска.

Соответственно и программное обеспечение симулятора террористической атаки должно поддерживать математическое моделирование антагонистического конфликта между нарушителем и реципиентами риска. Симулятор поддерживает математическое моделирование активности нарушителя(ей) [8]. Симулятор обеспечивает проектирование траекторий перемещения реципиентов риска по безопасным путям (траектории перемещения людских потоков не совпадают с элементами траекторий нарушителя). Траектории отвечают условию минимума времени достижения зон безопасности [9].

Предполагается, что существующая система обеспечения безопасности в образовательном учреждении обеспечивает периодический контроль расположения нарушителя(ей) и реципиентов риска в здании. Если контроль на объекте защиты затруднен, то в момент начала террористической атаки предполагается равномерное распределение реципиентов риска по зданию. В дальнейшем распределение реципиентов риска по зданию прогнозируется на основании теории движения людских потоков [10, 11]. В рамках симулятора, траектории движения реципиентов риска в зоны безопасности здания проектируются в автоматическом режиме.

В каждый момент времени для реципиентов риска, находящихся в определённом помещении, выбирается оптимальная траектория к одному из входов в зону безопасности, с учётом анализа вышеупомянутых процессов. Траектории разделяются по типам в зависимости от входа в зону безопасности. Например, если входов в зону безопасности (в частном случае, это могут быть выходы из здания) – десять, то выделяется десять типов траекторий. Группирование траекторий одного типа облегчает визуальное восприятие симуляции и делает эффективным управление людскими потоками средствами систем оповещения.

Таким образом, моделирование сценариев атаки (распространения источников опасности), моделирование скоординированного перемещения людских потоков (реакции реципиентов риска на атаку), позволяют в рамках симулятора наглядно продемонстрировать динамику атаки и траектории движения людских потоков. Разнообразие сценариев террористических атак, обеспечивает всестороннюю подготовку реципиентов риска к действиям в условиях атаки.

Дальнейшая доработка программного обеспечения симулятора с учетом возможностей систем оповещения и управления людскими потоками при террористической атаке, позволит создать систему поддержки принятия решений.

Список литературы

1. Тихомиров Н.П., Новиков А.В. Риски террористических актов и особенности их оценки / Н.П. Тихомиров, А.В. Новиков // Вестник РЭУ. – 2019. - № 2. – С. 198–210.

2. Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — 268 с. <https://www.chuvsu.ru/wp-content/uploads/2020/04/2.pdf>.
3. Боровский А.С., Тарасов А.Д. Интегрированный подход к разработке общей модели функционирования систем физической защиты объектов / А.С. Боровский, А.Д. Тарасов // Труды ИСА РАН. – 2011. – Т.61. – С. 3–14.
4. Костин, В. Н. Оценка потенциала опасности критически важных объектов при возникновении чрезвычайных ситуаций на основе информационно вероятностного метода и метода главных компонент / В. Н. Костин // Информационные технологии. – 2020. – Т. 26, № 5. – С. 297–301.
5. Павлов В. Н., Какадий И. И. Угрозы безопасности образовательного учреждения // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №6. С. 305-311. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/40>.
6. Бочков А.В. О методе синтеза рисков в управлении безопасностью структурно-сложных систем / А.В. Бочков // Надежность. – 2020. – Т. 20, № 1. С. 1–11.
7. Колодкин В.М., Варламова Д.М., Копелев С.М. Риск-ориентированный подход к повышению эффективности инженерных систем антитеррористической защиты // Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции, том 2 «Технические средства предупреждения чрезвычайных ситуаций и противодействия терроризму». Санкт-Петербург, 2023, с. 189-192.
8. Шакиров, А.Д. Моделирование движения нарушителя / А.Д. Шакиров // Безопасность в техносфере: сборник статей / науч. ред. В. М. Колодкин. – Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – Вып. 16 – С. 34-40
9. 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.

10. Холщевников В.В. Гносеология людских потоков. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2019. 592 с.
11. Самошин Д.А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. М: Академия ГПС МЧС России, 2016. 210 с.

DESIGNING A SIMULATOR OF A TERRORIST ATTACK ON AN EDUCATIONAL INSTITUTION

V.M. Kolodkin, N.V.Belkin, A.D. Shakirov

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

e-mail: *kolodkin@rintd.ru, nik.belkin.01@yandex.ru,*

artdmshakirov@gmail.com

The paper presents a prototype of a simulator designed to prepare and retrain students and employees of educational institutions to act in the conditions of a terrorist attack. The simulator software is based on the author's system of views on ensuring the terrorist security of educational institutions. It is shown that the simulator software serves as the basis of a decision support system in a terrorist attack.

Keywords: Personnel training, decision support system, counter-terrorism, educational institutions, software.

УДК 519.876.5

СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ В ФОРМАТЕ JSON ИЗ ПРОЕКТА BIM-СИСТЕМЫ Renga

И.И. Болтачев, Н.В. Белкин

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *i.i.boltachev@yandex.ru, nik.belkin.01@yandex.ru*

В работе рассмотрена структура и создание информационной модели здания в отечественном программном продукте Renga. Информационная модель здания предназначена для использования в системе поддержки принятия решений.

Ключевые слова: информационная модель здания, BIM модель здания

Введение

Пространственно-информационная модель здания (ПИМ) — виртуальная модель здания, в которой для каждого элемента модели задается информация о его геометрической форме и всех необходимых свойств, определяются связи с другими элементами и указываются процессы, происходящие внутри элементов и между элементами [1].

Инструменты ввода пространственно-информационной модели здания

ПИМ можно разбить по трем основным типам полноты информации о здании:

- Поэтажные планы;
- Computer-Aided Design [2] (CAD) модели;
- Building Information Modeling [3].

Поэтажные планы Большинство существующих зданий имеет готовые поэтажные планы. Информация о геометрической форме помещений задается в виде двумерных примитивов, таких как,

отрезки, полигоны. Такие примитивы обычно могут относиться к разным элементам. Поэтому это затрудняет выделение отдельных компонентов из общей массы. Такой способ предназначен для визуального представления, нежели для определения конкретных элементов, их атрибутов и связей между ними.

Computer-Aided Design (CAD) модели Это двухмерные или трехмерные модели, сделанные в CAD-программах. В трехмерных моделях информация и геометрическая форма помещений задается в виде примитивов, таких как треугольники, полигоны, различные параметрические поверхности. Примитивы могут относиться к нескольким элементам. Данные модели не имеют данных о связях между элементами.

Building Information Modeling (BIM) Модели и объекты управления BIM - это не просто геометрические элементы, это информация, позволяющая автоматически создавать чертежи, отчеты и т.д. Также она предоставляет неограниченные возможности для принятия решений с учетом всех имеющихся данных.

Исходя из требований к исходным данным ПИМ, в качестве исходной структуры для хранения геометрической информации была выбрана Renga [4]. Renga - это программное обеспечение для проектирования зданий и сооружений с использованием технологии BIM (Building Information Modeling). Renga позволяет создавать 3D-модели объектов, автоматически генерировать чертеж и спецификации. Также её преимуществом является наличие открытого API, позволяющего обмениваться данными с программами, написанными на различных языках программирования [5].

На рисунке 1 представлен пример спроектированного здания школы.

Описание API Renga

API Renga - это программный интерфейс, который позволяет разработчикам создавать плагины и расширения для системы Renga, а также программы, которые могут с ней взаимодействовать. API предоставляет доступ к функциям и возможностям Renga, таким как создание и редактирование проектов, моделей, элементов и конструкций, определение свойств объектов и прочее [6]. Взаимодействие с интерфейсом можно осуществить из плагина или другого приложе-

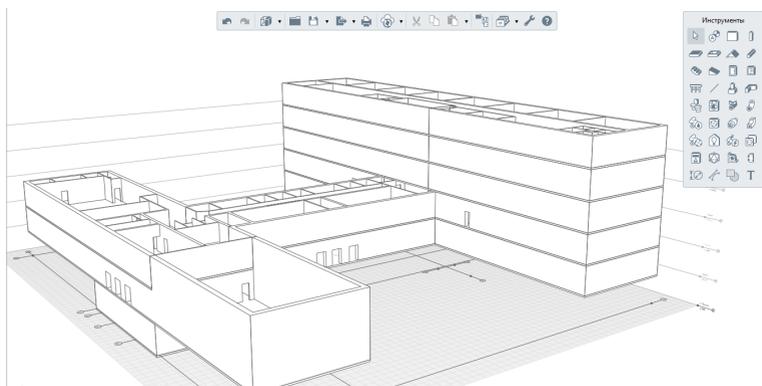


Рисунок 1 — Модель здания школы, введенная в BIM системе Renga

ния с помощью системы COM. COM — это платформо независимая платформонезависимая распределенная объектно-ориентированная система для создания двоичных программных компонентов, которые могут взаимодействовать между собой. COM преследует принцип «нейтральности» к используемому языку программирования, поэтому компоненты, использующие COM, предоставляют свои процедуры управления объектами. В Renga взаимодействие с COM представлено в виде библиотеки формата TLB (type library). Общая логика работы через COM сводится к использованию интерфейсов. Упрощенно говоря, интерфейс — соглашение или стандарт, согласно которому происходит взаимодействие между функциональными единицами. В данном случае функциональными единицами будут являться программные компоненты. В классах и интерфейсах COM принято использовать так называемые “HRESULT” (типа integer) для возврата кода результата.

Получение COM-объекта из файла проекта Renga

Проект может быть вызван только как свойство экземпляра приложения (IApplication). Открытие проекта осуществляется либо пользователем, либо через метод API (OpenProject).

Для взаимодействия с API Renga из python можно использовать библиотеку `pywin32`. Эта библиотека предоставляет возможность работы с COM-объектами. С помощью этой библиотеки доступ к проекту можно получить следующим образом:

```
renga_app=win32com.client.Dispatch("Renga.Application.1")  
renga_app.OpenProject("fileName")
```

Теперь объект `renga_app` позволит вызвать методы Renga API и получить данные из нужного нам проекта.

Работа с объектами Renga

Принцип получения стандартных объектов через API (mesh-структуры) и форм геометрии представлен на рисунке 2.

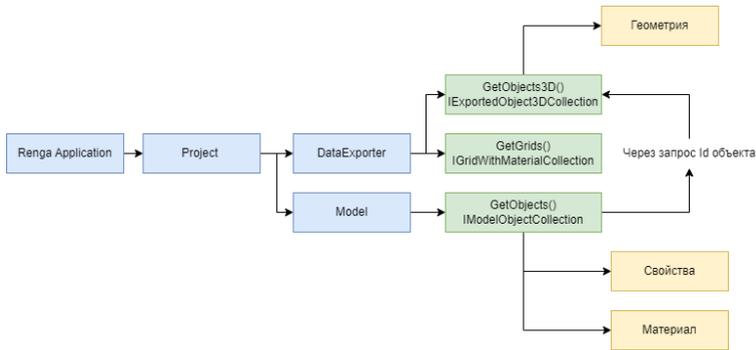


Рисунок 2 — Схема представления объектов в Renga

Из-за предоставления доступа к свойствам и геометрии через COM конечный результат придется ожидать значительное время, так как доступ к элементам геометрии осуществляется через последовательные списки, притом в рамках транзакций к ним со стороны Renga (так как это интерфейсы не в кэше исполняемого приложения, а именно в программе).

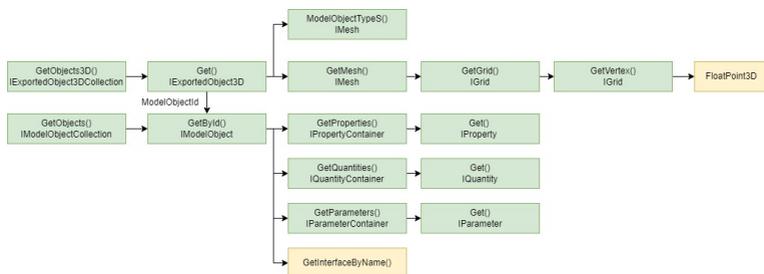


Рисунок 3 — Расширенная схема предоставления объектов в Renga

Объекты модели и интерфейсы приведения

Объекты модели — это группа объектов всех видов и типов. Не все объекты имеют доступ к геометрии, не все элементы могут быть привязаны к уровню и не для всех процедура получения стиля и материала является универсальной. Набор идентификаторов объектов и самих сущностей `Renga::IModelObject` получается из интерфейса `Renga::IModel` (получаемого как поле `Model` интерфейса `Project`). Интерфейс `Renga::IModelObject` позволяет получить доступ лишь к свойствам трех типов и геометрии через `Id` объекта модели (перебором списка `Renga::IExportedObject3DCollection` с полем этого `Id`). Важным для внутренних запросов является принадлежность объекта уровню, а также материал и стиль объекта. Эту информацию можно получить через приведение интерфейсов объекта:

```

app = win32com.client.Dispatch("Renga.Application.1")
app.OpenProject(r"fileName")
project = app.Project
model = project.Model
objectCollection = model.GetObjects()
  
```

Из `objectCollection` можно получить параметры объекта, свойства и расчетные характеристики, также его можно привести к определенному интерфейсу, например, получить интерфейс помещения (`IRoom`).

Объектная геометрия

Доступ к геометрии может осуществляться тремя способами. Первые два относятся к специальному интерфейсу `Renga.IDataExporter`, получаемого из сущности `Renga.Project`, а третий — к приведению интерфейса объекта модели к интерфейсу свойственному данному типу объекта (к примеру, `IWallParams` или `IWindowParams`, которые содержат свои методы доступа к геометрии).

Метод `GetGrids()` возвращает набор связанных элементов `IGridWithMaterial`. Эти элементы фактически оторваны от самих объектов, то есть данный метод ориентирован на получение сугубо геометрического представления объектов без связи с остальными параметрами и предназначен для форматов визуализации. Интерфейс `IGrid` содержит описание грани или поверхности объекта, представленной в `Mesh` представлении (то есть конечным набором граней триангуляции). Подобное представление геометрии просто реализовать на уровне движка и также просто описать при передаче геометрии через API, однако у него есть недостатки:

- `mesh`-представление геометрии использует большой объём памяти по сравнению с параметрическим представлением;
- так как используется COM, в котором возвращаются указатели на интерфейсы из других процессов, время на получение «триангулированного» представления может быть большим;

Для того, чтобы получить всю необходимую информацию по помещению необходимо воспользоваться интерфейсом `IDataExporter`, а затем воспользоваться методом `GetObjects3D()`.

```
objectCollection = model.GetObjects()
Objects3DCollection = project.DataExporter.GetObjects3D()
Objects3DCollection           имеет           интерфейс
IExportedObject3DCollection, который представляет коллекцию
элементов IExportedObject3D. У IExportedObject3DCollection есть
метод Get(), который возвращает экспортированный объект по
индексу в коллекции.
```

```
for i in range(Objects3DCollection.Count):
    Object3D = Objects3DCollection.Get(i)
```

```
if Object3D.ModelObjectTypeS == roomType:
```

Экземпляр интерфейса `IExportedObject3D` представляет триангулированную геометрию объекта. `IExportedObject3D` состоит из `mesh` объектов, которые, в свою очередь, состоят из `grid` объектов. `Mesh` представляет отдельные твердые тела, из которых состоит объект, а `grid` представляет отдельные грани объекта. Большинство объектов Renga состоят из одной `mesh` структуры, за исключением дверей и окон.

У экземпляра интерфейса `IExportedObject3D` также есть метод `GetMesh()`, который возвращает экземпляр интерфейса `IMesh` по индексу в коллекции.

```
for j in range(Object3D.GetMesh(0).GridCount):  
    gridRoom = Object3D.GetMesh(0).GetGrid(j)  
    if gridRoom.GridType == 1:
```

`gridRoom` - это экземпляр интерфейса `IGrid`, у которого есть свойство `GridType`. Нас интересует грань помещения, которая соответствует полу. Все значения, которые может принимать это свойство представлены на рисунке 4.

<code>const int Renga::GridTypes::Room::Undefined = 0</code>	Undefined grid.
<code>const int Renga::GridTypes::Room::Floor = 1</code>	The face considered as room floor.
<code>const int Renga::GridTypes::Room::Ceiling = 2</code>	The face considered as room ceiling.
<code>const int Renga::GridTypes::Room::Wall = 3</code>	The face considered as room wall face (side surface)

Рисунок 4 — Свойство `GridType` для помещения

У интерфейса `IGrid` есть метод `GetVertex()`, который возвращает интерфейс `FloatPoint3D`, содержащий координаты `x,y,z`. В нашем случае это координаты пола комнаты, а именно его верхняя поверхность, которая представлена на рисунке 5.

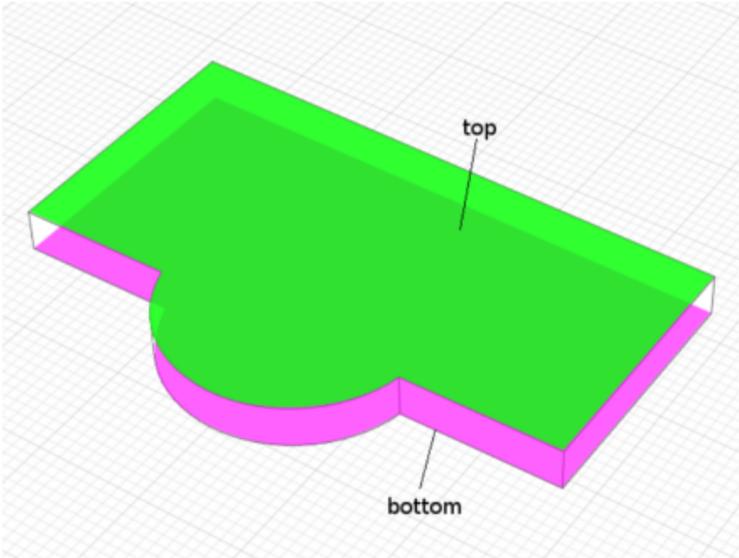


Рисунок 5 — Поверхность пола

```
for k in range(gridRoom.VertexCount):
    points = gridRoom.GetVertex(k)
```

У `IExportedObject3D` также есть свойство `ModelObjectId`, которое возвращает идентификатор связанного объекта модели, то есть в нашем случае идентификатор помещения.

```
objectId = Object3D.ModelObjectId
roomObject = objectCollection.GetById(objectId)
```

С помощью этого идентификатора можно получить параметры, расчетные характеристики, а также свойства помещения. `roomObject` это экземпляр интерфейса `IModelObject`.

```
quantitiesContainer=roomObject.GetQuantities()
propertyContainer=roomObject.GetProperties()
parameterContainer=roomObject.GetParameters()
```

Здесь `quantitiesContainer` представляет интерфейс `IQuantityContainer`, `propertyContainer` — `IPropertyContainer`, а `parameterContainer` — `IParameterContainer`.

Чтобы определить к какому уровню принадлежит объект можно воспользоваться интерфейсом `IParameterContainer`:

```
level = parameterContainer.GetS(LevelId).GetIntValue()  
objectCollection.GetById(level)
```

где `LevelId` - это GUID уровня.

Таким же способом можно получить данные об остальных объектах `Renga`. Различия будут только в получении координат элементов, так как у каждого элемента будут свои типы полигона, который необходимо получить. Для дверного проема необходимо получить mesh, который называется `Reveal` (границы стены, образующиеся в результате врезки окна), то есть `Renga::GridTypes::Door::Reveal`, данные грани изображены на рисунке 6.

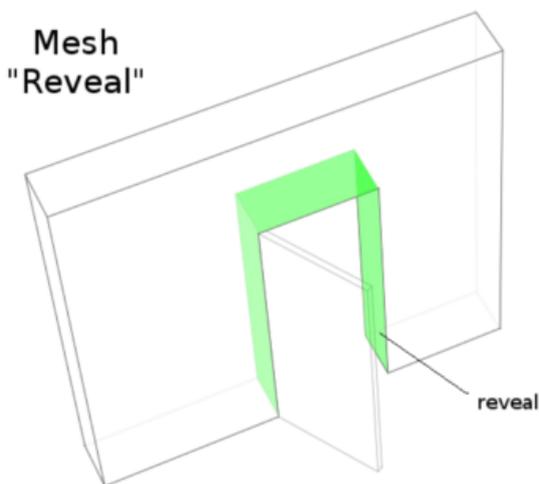


Рисунок 6 — Поверхность дверного проема

Для лестничных клеток необходимо получить mesh, который называется `top` (верхние грани лестницы), то есть `Renga::GridTypes::Stairway::Top`, грани изображены на рисунке 78. Но данный mesh вернет нам координаты всех граней лестницы, то есть если лестничный пролет имеет 10 ступеней, то он вернет 20

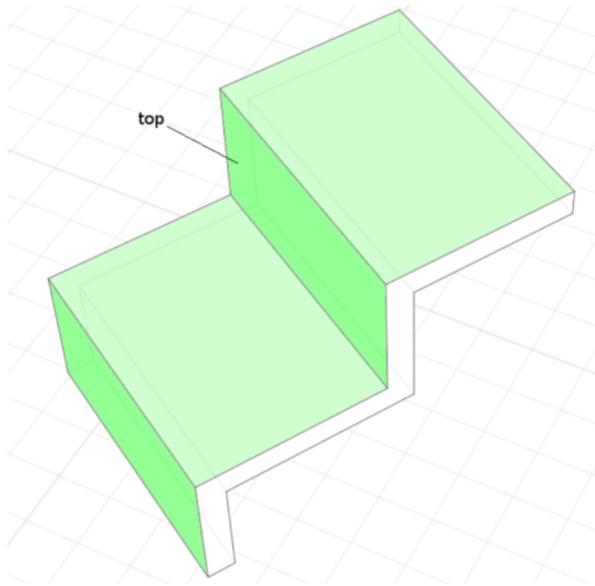


Рисунок 7 — Поверхность лестниц

граней, то есть 80 точек. При создании json файла необходимо взять только самые большие и самые маленькие по z координаты, этого достаточно, чтобы найти связность с дверными проемами.

Так как мы можем получить все координаты помещений, дверных проемов и лестниц, то мы можем их связать. На рисунке 8 изображены два помещения и соединяющий их дверной проем. Помещение «Кабинет» имеет четыре координаты, разбиваем эти координаты по двум точкам, т.е. получаем все стороны пола этого помещения, проходим по всем сторонам и смотрим, лежат ли точки дверного проема на отрезке. В итоге, в свойство «Outputs» помещения «Кабинет» запишется идентификатор этого дверного проема. Чтобы создать итоговый json файл эту операцию необходимо произвести со всеми помещениями в здании.

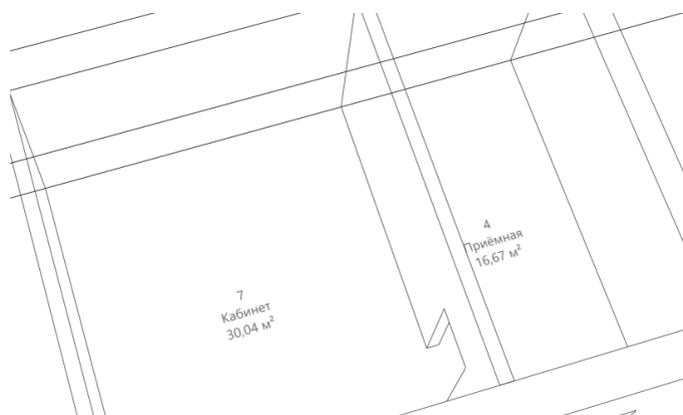


Рисунок 8 — Связь элементов

Заключение

Создание пространственно-информационной модели здания в формате JSON позволяет в дальнейшем использовать эту модель для решения различных задач. Созданный скрипт в дальнейшем может стать частью комплексной программы, позволяющей создавать следующие модели: эвакуация людей из здания, движение нарушителя по зданию, распространение пожаров или опасных газов. Также на её основе можно построить связный граф, вершинами которого будут являться помещения, а ребрами переходы между этими помещениями. Для запуска скрипта необходим интерпретатор CPython версии 3 или выше. В терминале необходимо запустить главный файл командой «python main.py <путь к файлу проекта Renga> <имя создаваемого JSON файла>». Исходный код скрипта доступен по следующему адресу: <https://github.com/ibolv/renga-json>

Список литературы

1. М.Э. Галиуллин. Создание и использование Пространственно - Информационной Модели здания (ПИМ) для расчета величины риска при составлении декларации пожарной безопасности // Безопасность в техносфере: сборник статей / науч. ред. В.

- М. Колодкин. — Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2015. — Вып. 9. 142 с.
2. САД-системы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://photogrammetria.ru/100-cad-sistemy.html> - Загл. с экрана.
 3. Что такое BIM? Расскажем простым языком. Все самое важное о BIM на одной странице [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rengabim.com/stati/chto-takoe-bim/> - Загл. с экрана.
 4. Renga [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rengabim.com/> - Загл. с экрана.
 5. Renga API [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://help.rengabim.com/api/> - Загл. с экрана.
 6. Блог об особенностях и тонкостях работы системы для проектирования зданий Renga [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://blog.rengabim.com/> - Загл. с экрана.
 7. Как мы делаем справку для Renga [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/335356/> - Загл. с экрана.
 8. Как мы ускорили сборку САД-программы на С++ в несколько раз [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/585702/> - Загл. с экрана.
 9. Вызови Renga... из приложения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://blog.rengabim.com/2018/05/renga.html> - Загл. с экрана.
 10. Документация Microsoft для стандарта COM <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/com/component-object-model-com-portal> - Загл. с экрана.
 11. Справочное пособие [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://github.com/GeorgGrebennyuk/renga_programming_course_1/releases/tag/doc - Загл. с экрана.

**CREATION OF A SPATIAL INFORMATION MODEL OF A
BUILDING IN JSON FORMAT FROM A RENGA BIM
SYSTEM PROJECT**

I.I. Boltachev, N.V. Belkin

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

e-mail: *i.i.boltachev@yandex.ru, nik.belkin.01@yandex.ru*

The paper considers the structure and creation of an information model of a building in the domestic software product Renga. The building information model is intended for use in a decision support system.

Keywords: building information model, BIM building model.

УДК 004.9

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ СЧЁТЧИКОВ ЛЮДЕЙ В ШКОЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ

А.М. Сивков

г. Ижевск, Россия

e-mail: *amsiv@mail.ru*

В статье описываются проблемы, возникающие при использовании типового горизонтального инфракрасного счётчика в школьных зданиях. Обсуждаются различные варианты высоты установки счётчика. Представлены результаты исследования работы типового счётчика, установленного на уровне пояса и на уровне ног. Результаты показывают, что, несмотря на большое различие в росте учащихся, можно выбрать такую высоту установки типовых горизонтальных инфракрасных счётчиков в школьных зданиях, которая обеспечит приблизительно равные условия для счёта и старших, и младших школьников.

Ключевые слова: горизонтальный инфракрасный счётчик, погрешность счёта людей, высота установки счётчика, школьная система безопасности

Введение

В системах обеспечения безопасности информация о том, как в данный момент распределены люди по разным частям здания, может быть получена с помощью сети горизонтальных инфракрасных счётчиков. Однако, в школьных зданиях реализация этого способа имеет определённые трудности.

Горизонтальный инфракрасный счётчик

Следует иметь в виду, что горизонтальный инфракрасный счётчик считает, в сущности, не людей, а вызванные их прохождением прерывания горизонтального инфракрасного луча.

Рекомендуемая абсолютно всеми производителями высота установки счётчика (точнее было бы говорить о высоте расположения его

сенсорной системы) составляет 120-150 см. При такой высоте установки счётчика луч его сенсорной системы приходится на уровень плеч и головы взрослого человека. В этом случае одно прерывание луча означает, что прошёл один человек. (Если бы луч располагался ниже, руки человека могли бы вызвать дополнительные прерывания луча.) Простая схема «одно прерывание лучей – один человек», разумеется, упрощает обработку микроконтроллером счётчика электрических сигналов сенсорной системы.

Счёт школьников

Рассмотрим специфику счёта школьников в школьном здании. Школьники младших и старших классов сильно различаются по росту. В связи с этим, требования к высоте установки счётчика оказываются противоречивыми.

При установке на рекомендованной производителем высоте типовой счётчик хорошо считает старших школьников (и учителей, конечно). Но совсем не считает младших школьников, поскольку их рост меньше высоты, на которой проходят инфракрасные лучи сенсорной системы счётчика. Чтобы считать младших школьников, сенсорную систему лучше было бы опустить на уровень пояса взрослого человека. Но тогда возникают ошибки счёта старших школьников, поскольку движения их рук создают множественные прерывания инфракрасного луча. А при опускании сенсорной системы ниже уровня рук, на уровень ног, возникают ошибки счёта и старших, и младших школьников.

Насколько велики проблемы?

Ошибки счёта при установке типового счётчика на разных высотах исследовались в экспериментах.

Результаты экспериментов

В первой серии экспериментов счётчик был установлен на высоте 80 см, то есть на уровне пояса старших школьников и учителей. При такой установке счётчика, кроме основного прерывания инфракрасного луча туловищем, возможны дополнительные прерывания луча руками. Производился счёт проходящих мимо счётчика взрослых людей, как в летней одежде с коротким рукавом или без рукава, так и в зимней одежде с широким рукавом. Результаты счёта показаны в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты счёта взрослых людей при установке счётчика на уровне пояса

Одежда	Количество человек	Показания счётчика
летняя	100	163
зимняя	100	118

Бросается в глаза большое различие результатов счёта людей с голыми руками и людей в зимней одежде. Причину нетрудно понять. При размахивании голыми руками чаще образуется сквозной просвет между рукой и туловищем, чем в случае широких рукавов. Два последовательных отдельных прерывания луча сенсорной системы (сначала рукой, затем туловищем) счётчик регистрирует как прохождение двух человек. Для случая зимней одежды просвет между рукой в широком рукаве и туловищем тоже порой возникает, но гораздо реже, так что в этом случае руки порождают меньшую ошибку счёта. Относительная частота случаев однократного и двукратного прерывания лучей сенсорной системы приведена в таблице 2.

Таблица 2 — Относительная частота случаев однократного и двукратного прерывания лучей сенсорной системы при установке счётчика на уровне пояса

Одежда	Однократное, %	Двукратное, %
летняя	37	63
зимняя	82	18

Большие различия частот для летней и зимней формы одежды наводят на мысль, что на уровне пояса устанавливать типовой горизонтальный инфракрасный счётчик нежелательно.

Во второй серии экспериментов счётчик был установлен на высоте 30 см, то есть на уровне ног. Производился счёт людей с голыми ногами и в широких брюках. Результаты счёта показаны в таблице 3.

Результаты могут показаться неожиданными. Казалось бы, наличие двух ног у человека должно привести к удвоенным показаниям счётчика, поскольку ноги вызовут два прерывания инфракрасного луча. Однако, дело обстоит, по-видимому, несколько иначе. При ходьбе

Раздел I

Таблица 3 — Результаты счёта взрослых людей при установке счётчика на уровне ног

Одежда	Количество человек	Показания счётчика
голые ноги	100	166
ноги в брюках	100	147

человек сначала ставит одну ногу, и лишь после этого переносит другую. В некоторых случаях вторая нога движется через зону инфракрасного луча тогда, когда в луче уже находится первая, и луч перекрыт ею. В этих случаях вторая нога проходит незамеченной счётчиком.

Относительная частота случаев однократного и двукратного прерывания лучей сенсорной системы ногами человека приведена в таблице 4.

Таблица 4 — Относительная частота случаев однократного и двукратного прерывания лучей сенсорной системы при установке счётчика на уровне ног

Одежда	Однократное, %	Двукратное, %
голые ноги	34	66
ноги в брюках	53	47

Различие частот для летнего и зимнего вариантов одежды имеется, но не такое большое, как при установке счётчика на уровне пояса. Возможно, что размещение типового счётчика на уровне ног решает проблему счёта людей в здании школы. По крайней мере, с некоторой среднестатистической погрешностью. Нужно только ввести поправочный коэффициент к показаниям счётчика. Величина поправочного коэффициента приведена в таблице 5.

Невозможно заранее сказать, как будут одеты школьники, поэтому следует использовать некое среднее значение множителя. Величина поправочного коэффициента для летнего и зимнего вариантов одежды различается на 12 %. По-видимому, такую величину и будет иметь относительная погрешность счёта людей в школьных зданиях

Таблица 5 — Поправочный коэффициент к показаниям счётчика, установленного на уровне ног

Одежда	Поправочный множитель
голые ноги	0,60
ноги в брюках	0,68

с помощью типовых горизонтальных инфракрасных счётчиков, установленных на уровне ног.

Заключение

Полученные в экспериментах результаты показывают, что, несмотря на большое различие в росте учащихся, можно выбрать такую высоту установки типовых горизонтальных инфракрасных счётчиков в школьных зданиях, которая обеспечивает приблизительно равные условия для счёта и старших, и младших школьников.

Вместе с тем, необходимо работать над созданием нового программного обеспечения горизонтального инфракрасного счётчика, которое было бы способно «выделить» абстрактный образ человека даже в случае сложного набора сигналов сенсорной системы.

ON THE USE OF HORIZONTAL INFRARED COUNTERS IN SCHOOL BUILDINGS

A.M. Sivkov

Russia, Izhevsk

e-mail: *amsiv@mail.ru*

The article describes the problems that arise when using a typical horizontal infrared counter in school buildings. Various options for counter installation height are discussed. The results are presented of study of the work of standard counter, installed at waist level and at leg level. The results show that, despite a big difference in the height of students, you can choose such level for installing standard horizontal infrared counters in school buildings, that will provide approximately equal conditions for counting both older and younger students.

Keywords: horizontal infrared counter, people counting accuracy, counter installation height, school security system.

УДК 621.39; 654.9

О СИСТЕМАХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ШКОЛ

С.М. Копелев

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *john@zo4.ru*

В статье раскрыты актуальные вопросы, связанные с жизненным циклом зданий и систем инженерно-технического обеспечения.

Ключевые слова: Технические средства оповещения, проводное вещание, системы инженерно-технического обеспечения.

Введение

Объекты капитального строительства - представляют собой сложные системы, в состав которых входит система строительных конструкций, инженерных сетей и систем в разных сочетаниях и различного назначения, федеральный закон "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" [1], даёт следующее определение:

здание - результат строительства, представляющий собой объёмную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных

К системам инженерно-технического обеспечения предъявляются требования, которые определены сводами правил и национальными стандартами СП 3.13130, СП 118.13330, СП 133.13330, СП 134.13330, ГОСТ Р 21.101, ГОСТ Р 42.3.01, ГОСТ Р 52551, ГОСТ Р 53704, ГОСТ Р 57674, ГОСТ Р 70620-2022, и других. Которые устанавливают индивидуальные требования к проектированию, составу и функциональному назначению систем электросвязи инженерно-технического обеспечения.

Системы инженерно-технического обеспечения

Объекты капитального строительства жёстко привязаны к местности, а характеристики зданий и входящих в них систем могут быть реализованы, проверены и использованы только в том месте, где объекты построены и системы установлены. Системы инженерно-технического обеспечения являются неотъемлемой частью объекта капитального строительства, ТР [1] даёт следующие определения:

система инженерно-технического обеспечения - одна из систем здания или сооружения, предназначенная для выполнения функций водоснабжения, канализации, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения, электроснабжения, связи, информатизации, диспетчеризации, мусороудаления, вертикального транспорта (лифты, эскалаторы) или функций обеспечения безопасности;

характеристики безопасности здания или сооружения - количественные и качественные показатели свойств строительных конструкций, основания, материалов, элементов сетей инженерно-технического обеспечения и систем инженерно-технического обеспечения, посредством соблюдения которых обеспечивается соответствие здания или сооружения требованиям безопасности.

Системы, входящие в состав объекта капитального строительства, взаимодействуют между собой, с внешним и внутренним окружением, а безопасность зданий и сооружений обеспечивается применением совокупности мер, мероприятий и средств снижения риска причинения вреда до уровня приемлемого риска и поддержания этого уровня в течении всего периода эксплуатации. Так СП 118.13330 и СП 134.13330 определяют минимально необходимые требования к проектированию систем электросвязи инженерно-технического обеспечения для вновь строящихся, реконструируемых и подлежащих капитальному ремонту зданий и сооружений общеобразовательных организаций на территории Российской Федерации.

Жизненный цикл систем

Жизненный цикл систем, связанных с безопасностью зданий и сооружений, связан непосредственно с жизненным циклом самого здания и начинается на стадиях разработки технического задания и проектной документации, а заканчивается выводом из эксплуатации и сносом здания, в ТР [1] приведено следующее определение:

жизненный цикл здания или сооружения - период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения;

Изменение любой из систем инженерно-технического обеспечения влияет на обеспечение защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, изменением характеристик объекта капитального строительства и должно рассматриваться как реконструкция объекта, то есть перестроение объекта с целью получения нового объекта обладающего новыми свойствами и характеристиками, однако "Градостроительный кодекс Российской Федерации" [2], относит такие работы к капитальному ремонту:

капитальный ремонт объектов капитального строительства - замена и (или) восстановление строительных конструкций объектов капитального строительства или элементов таких конструкций, за исключением несущих строительных конструкций, замена и (или) восстановление систем инженерно-технического обеспечения и сетей инженерно-технического обеспечения объектов капитального строительства или их элементов, а также замена отдельных элементов несущих строительных конструкций на аналогичные или иные улучшающие показатели таких конструкций элементы и (или) восстановление указанных элементов;

Техническое задание на проектирование для объекта капитального строительства, является основой выполнения работ по построению системы инженерно-технического обеспечения здания и подготовке

проектной и рабочей документации о строительстве, реконструкции, капитальном ремонте. Построение системы инженерно-технического обеспечения здания попросту невозможно без проектной и(или) рабочей документации и определения сметной стоимости работ, материалов и оборудования необходимых для организации спроектированной системы. Исполнительная документация отображает фактическое исполнение функционально-технологических, конструктивных, инженерно-технических и иных решений, содержащихся в проектной документации, рабочей документации. Техническое задание *на закупку* по 44-ФЗ [3], не может заменять техническое задание *на проектирование* и является совершенно другим документом, однако обследование ряда школ показало, что это распространённое явление. В результате отсутствует комплект проектной, рабочей и исполнительной документации для систем инженерно-технического обеспечения и нет возможности определить характеристики безопасности здания или сооружения, какими инженерными системами оно оборудовано, а какие из них демонтированы или не функционируют.

Заключение

Имеющиеся технические средства, без документации создают «видимость» и вводят в заблуждение об оснащённости школ, некоторые моменты явно указывают на нарушения технических регламентов и стандартов и создают угрозу безопасности для пользователей зданиями и сооружениями, в том числе при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях. Отсутствие технического задания на проектирование, проектной, рабочей, исполнительной документации:

- делает невозможным выполнение инженерно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, по антитеррористической защищённости, по гражданской обороне и предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, связанных с функционированием систем электросвязи инженерно-технического обеспечения объекта(территории).
- свидетельствует отсутствию контроля за выполнением работ, которые оказывают влияние на безопасность при эксплуатации объекта капитального строительства;

- свидетельствует о нарушении требований к обеспечению безопасной эксплуатации определёнными сводами правил и национальными стандартами, которые устанавливают минимально необходимые требования к проектированию систем электросвязи инженерно-технического обеспечения.

Список литературы

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ, «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ, «Градостроительный кодекс Российской Федерации»
3. Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ, «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»

SYSTEMS

S.M. Kopelev

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *john@zo4.ru*

The article reveals current issues related to the life cycle of buildings and engineering emergency systems.

Keywords: engineering support systems, engineering emergency systems, emergency alarm system.

УДК 004.94

Моделирование движения нарушителя

А.Д. Шакиров

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: artdmshakirov@gmail.com

В данной статье рассматривается модель движения нарушителя по помещениям здания, её реализация в виде компьютерной модели, которая была успешно проверена в ходе описанного в статье компьютерного эксперимента. В качестве входных данных выступают пространственно-информационная модель (ПИМ) здания и модель нарушителя. Результат выполнения программы представлен в виде схемы пути по помещениям здания и численных характеристик этого пути. Учитывается распределение людей в здании. Проводится сопоставление с экспериментальными данными. Реализация модели применима в системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: ПИМ, BIM, модель нарушителя, эвакуация, безопасность

Введение

В целом, риски при террористической атаке невозможно точно предугадать [1]. Однако, выделяют распространённый феномен массовых убийств в образовательных учреждениях [2]. В данной статье предполагается, что поведение атакующего подчинено определённым правилам, и, таким образом, становится возможным дать, как минимум, верхнюю оценку риска для этой категории атак.

Таким образом, целью данной работы является реализация модели движения нарушителя по помещениям здания в виде компьютерной программы, с помощью которой возможно оценить риск ущерба при вторжении нарушителя и использовать эту оценку в системе поддержки принятия решений.

Модели нарушителя обычно рассматриваются в рамках работ по системам физической безопасности. Так, в работе [3] находятся наиболее критические пути по модели объекта до цели через области односторонности, таким образом, выявляя недостатки в мероприятиях

по физической защите объекта, при этом такая модель не предусматривает оценку ущерба. В [4] также находится наиболее уязвимый путь проникновения, но с использованием сетки и «волнового» метода. В [5] оценивается «привлекательность» барьеров по пути к цели, предоставляя результаты в наглядном виде.

В предлагаемой модели путь нарушителя учитывает оценку возможного ущерба, что не производится в вышеупомянутых работах.

Атаки происходят на разные по структуре здания, поэтому результат деятельности одного и того же нарушителя будет разным для различных зданий. Описанная в данной статье модель учитывает это, используя ПИМ конкретного здания в формате структурированного текста (JSON), получаемую, например, из BIM (Building Information Model) [6].

Основная часть

Данная модель пути нарушителя основывается на гипотезе, что траектория нарушителя определяется наиболее многолюдной траекторией эвакуации людей из здания.

Такая гипотеза позволяет связать данную модель с моделью и экспериментальными данными [7]. Также, используется представленный в [7] формат представления здания в виде графа.

Алгоритм выбора пути по зданию из определённой входными данными двери заключается в том, что рассматриваются все пути из помещения в помещение уровнем выше рекурсивно. Каждый путь начинается с помещения после входной двери и заканчивается помещением, не соединённым с помещением более высокого уровня. Из этих путей выбираются самые многолюдные. То есть, ожидается, что последний эвакуировавшийся человек во время начала эвакуации будет находиться в конце самого многолюдного пути. Для того, чтобы получить несколько путей, алгоритм запускается вновь с запретом на «посещение» помещений, оказавшихся в конце предыдущих запусков.

Рассмотрим вычислительный эксперимент с использованием ПИМ корпусов УдГУ и данными [7].

В качестве начала пути выбраны центральные входы корпусов. Распределение людей во всех помещениях модели равномерное и определяется данными по количеству людей и площади. Скорость нарушителя — 100 м/мин.

Раздел I

Пример графической иллюстрации путей (также являющейся результатом работы программы) представлен на рисунках 1, 2, 3.

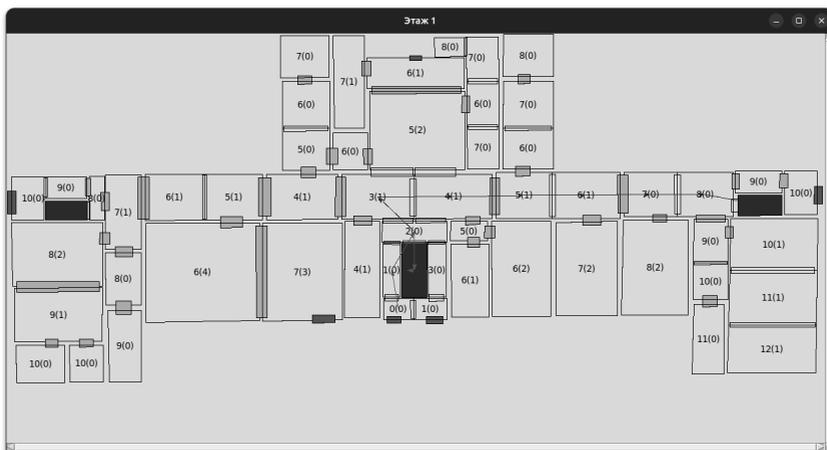


Рисунок 1 — Корпус 3, этаж 1

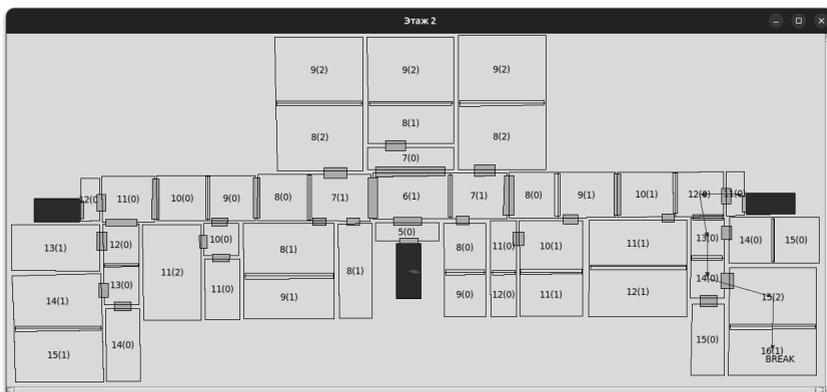


Рисунок 2 — Корпус 3, этаж 2

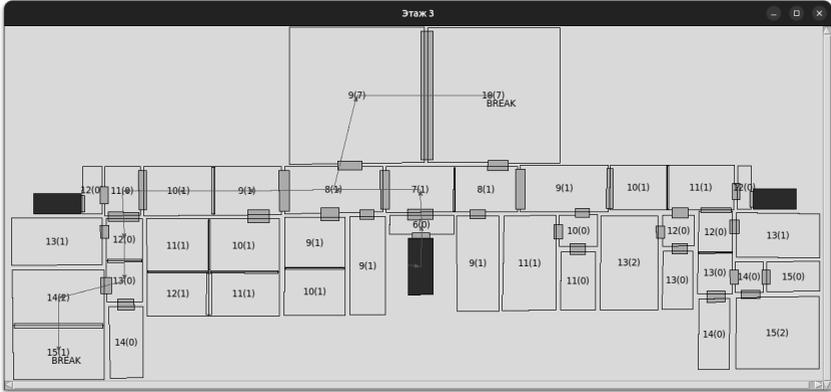


Рисунок 3 — Корпус 3, этаж 3

На рисунках показаны помещения, подписанные уровнем помещения в графе и округлённым числом людей в скобках, а также три варианта пути нарушителя — оканчивающиеся в помещениях «10(7)», «16(1)» и «15(1)».

В результате выполнения программы получены отображённые в таблице 1 данные: T_i — время нарушителя по расчетам в рамках приближенной модели, T_i/T_e — отношение T_i ко времени эвакуации из [7], S_i — площадь помещений на пути нарушителя, ρ — плотность людей, рассчитанная по количеству людей и площади ПИМ, V — количество жертв на пути нарушителя.

Заключение

В данной работе предложена и испытана модель нарушителя.

Результаты компьютерного эксперимента позволяют судить о точности модели по отношению к экспериментальным данным [7].

Также, результаты компьютерного эксперимента могут быть использованы для оценки относительной защищённости корпусов УдГУ.

Данная модель может быть расширена с помощью учёта технических систем, изменяющейся в зависимости от плотности людей в помещении скорости нарушителя, состояния дверей, движения

Таблица 1 – Результаты компьютерного эксперимента

№	T_i , с	T_i/T_e	S_i , м ²	ρ , чел/м ²	V , чел	L , м
1.1 1	147.14	0.65	617.46	0.079	48.67	88.28
1.1 2	165.49	0.73	605.09	0.079	47.68	99.29
1.1 3	159.35	0.70	601.18	0.079	47.37	95.61
2.1 1	135.48	0.58	453.41	0.102	43.65	141.40
2.1 2	113.18	0.48	447.96	0.102	43.09	136.07
2.1 3	129.33	0.55	437.45	0.102	42.02	136.17
3.1 1	46.84	0.28	287.47	0.071	20.34	28.10
3.1 2	84.46	0.50	207.35	0.071	14.59	50.67
3.1 3	79.72	0.47	206.69	0.071	14.55	47.83
4.1 1	302.73	0.90	574.03	0.126	72.04	181.63
4.1 2	315.99	0.94	569.09	0.126	71.42	189.59
4.1 3	305.92	0.91	553.99	0.126	69.51	183.55
5.1 1	161.01	0.65	691.05	0.030	20.61	96.61
5.1 2	167.28	0.67	676.80	0.030	20.18	100.36
5.1 3	158.36	0.64	645.59	0.030	19.23	95.02
7.2 1	117.97	0.44	453.36	0.046	20.61	70.78
7.2 2	110.47	0.41	419.38	0.046	19.02	66.28
7.2 3	94.77	0.35	415.68	0.046	18.84	56.86

реципиентов риска и формирования команд управляемой эвакуации, что позволит уточнить оценки рисков.

Список литературы

1. Тихомиров Н.П., Новиков А.В. Риски террористических актов и особенности их оценки. Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2019;(2):198-210. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-2-198-210>.
2. Давыдов Д.Г., Хломов К.Д. Массовые убийства в образовательных учреждениях: механизмы, причины, профилактика // Национальный психологический журнал. – 2018. – № 4(32). – С. 62–76. doi: 10.11621/npj.2018.0406.
3. Вергейчик Алексей Владимирович, Кушнир Виктор Петрович Моделирование систем физической защиты // Доклады ТУСУР. 2008. №2-1 (18).
4. Елсаков Сергей Михайлович, Корсаков Владислав Михайлович Математическая модель системы безопасности охраняемого объекта // Евразийский Союз Ученых. 2016. №4-2 (25).
5. Корнеев Николай Владимирович, Колесникова Юлия Владимировна Алгоритмы решения задач исследования процессов в модели антитеррористической защиты объектов // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. №2-1.
6. В. М. Колодкин, И. И. Болтачев Информационная модель здания образовательного учреждения для системы поддержки принятия решений // Сборник статей «Безопасность в техносфере» № 15, Ижевск 2022, с.75-79
7. Колодкин В.М., Чирков Б.В. Валидация модели адаптивного управления движением людских потоков в динамической среде ограниченного пространства // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2020. Т. 30. Вып. 3. с. 480 — 496. DOI: 10.35634/vm200309

SIMULATION OF THE INTRUDER'S MOVEMENT

A.D. Shakirov

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

This article considers the model of the intruder's movement through the premises of the building and its implementation in the form of a computer model, which was successfully tested during the computer experiment described in the article. The spatial information model (SIM) of the building and the intruder model act as input data. The result of the program is presented in the form of a diagram of the path through the premises of the building and the numerical characteristics of this path. The distribution of people in the building is taken into account. Comparison with experimental data is carried out. The implementation of the model is applicable in decision support systems.

Keywords: SIM, BIM, intruder model, evacuation, security.

УДК 378.16

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Д.М. Варламова

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *dina@rintd.ru*

Статья посвящена обеспечению безопасности образовательных учреждений. Рассмотрены подходы и методы по оценке антитеррористической защищенности объектов, описаны основные проблемы. Для обеспечения безопасности образовательных учреждений следует разработать единую методiku по комплексной безопасности образовательных учреждений, включающую алгоритмы, подходы, методы по прогнозированию, анализу возможных угроз, по расчету ущерба от возможных угроз.

Ключевые слова: безопасность, образовательное учреждение, антитеррористическая защищенность, комплексная безопасность.

Введение

В последнее время образовательные учреждения можно отнести к опасным объектам, так как происходят нападения, в результате которых гибнут учащиеся и сотрудники образовательных учреждений (ОУ). Проанализируем, каким образом образовательные учреждения повышают безопасность учащихся и сотрудников в здании, какие работы ведутся в данном направлении.

Основная часть

Под обеспечением безопасности следует понимать сохранение жизни и здоровья людей, находящихся в образовательном учреждении. В Федеральном законе «О техническом регулировании» [1] установлены принципы технического регулирования на основе требований технических регламентов по обеспечению безопасности с учетом степени риска, принципы и формы подтверждения соответствия этим требованиям. Согласно Федеральному закону [1] безопасность образовательного учреждения включает пожарную безопасность, электрическую

безопасность, взрывобезопасность и безопасность, связанная с техническим состоянием среды обитания.

Каждый из видов безопасности влияет на уровень безопасности зданий образовательных учреждений. Рассмотрим, какие применяются методы для повышения уровня безопасности зданий ОУ.

В 2017 году Пушинским государственным естественно-научным институтом была проведена Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика» [2]. В конференции участие приняли руководители Министерства образования и науки РФ, Министерства внутренних дел РФ, Академии гражданской защиты Министерства чрезвычайных ситуаций РФ, высших учебных заведений и т.д. На конференции были рассмотрены вопросы повышения уровня обеспечения безопасности образовательных организаций.

Системное накопление и анализ информации по вопросам обеспечения безопасности отсутствует [3], автором предлагается Типовая модель, основанная на создании автоматизированной системы мониторинга и реагирования на возможные угрозы. В основе модели лежит Программно-информационный комплекс, на который будут поступать данные от Инженерно-технических средств (ИТС) подсистем обеспечения всех направлений комплексной безопасности, профильных структурных подразделений организаций, территориальных подразделений органов исполнительной власти, а также информация из баз данных, полученных в результате мониторингов состояния обстановки в образовательном учреждении, СМИ и сети Интернет.

При обеспечении безопасности практически всех социальных объектов столичного региона (г. Москва), в том числе образовательных организаций используются комплексные системы технических средств безопасности [4]. В состав входят подсистемы контроля доступа на охраняемый объект, в том числе с использованием подсистем распознавания разыскиваемых лиц; подсистема охранно-пожарной сигнализации, в которой используются комплексные датчики реагирования как на проникновение в охраняемое помещение, так и на возгорание и сильное задымление в нем. Отдельные подсистемы, которые входят в комплексную подсистему интегрируются и выводятся на пультах дежурных служб территориальных подразделений силовых структур и эксплуатирующих организаций газо- и электроснабжения [4].

Построение эффективной системы управления безопасностью любого объекта невозможно без комплексного подхода, охватывающего выявление всех основных угроз, оценки возможного ущерба при осуществлении этих угроз и создания комплекса средств защиты объекта [5]. Под комплексной безопасностью автором понимается безопасность личности, сохранность имущества и не нанесение ущерба объектам образования и окружающей среде.

Представлены девять направлений, по которым формируется и достигается комплексная безопасность образовательных организаций [6]. При комплексной безопасности следует уделить внимание анализу и прогнозированию возникновения возможных ситуаций нарушения системы, необходимо учесть сведения о техническом состоянии сетей и коммуникаций, здания и сооружения, данные о количестве и качественных характеристиках персонала. По мнению авторов должна быть оценка общих угроз в регионе; проведен расчет количества и типов технических систем, необходимых для обеспечения заданного уровня безопасности и т.д. Технические системы должны быть автоматизированные. Данный анализ послужит критерием оценки и определения путей и мер совершенствования технических систем, организационной структуры и управления системой комплексной безопасности образовательной организации [6].

Проект создания системы комплексной безопасности под названием «Безопасный университет» был представлен на конференции. Планируемый срок окончания проекта был указан декабрь 2022 года, стоимость затрат – 10,8 млн. рублей [7]. Реализованная комплексная система безопасности позволит объединить отдельные подсистемы безопасности в единое централизованное пространство управления, контроля и мониторинга обстановки. Внедрение данной системы будет обеспечивать немедленное поступление «тревожных» сигналов в единый пункт управления – дежурную диспетчерскую службу (ДДС) и позволяет оперативно принимать решения по реагированию на возникшие угрозы безопасности, оповещать руководящий состав университета, экстренных, аварийных служб и правоохранительных органов [7]. Также автором предложено рассмотреть вопрос организации пилотного проекта в виде грантовой деятельности среди высших учебных заведений, так как комплексная безопасность образователь-

ных организаций не является финансово привлекательной сферой для инвесторов.

В докладе директора Департамента образования Ямало-Ненецкого автономного округа Кравец М.В. представлены финансируемые государственные программы «Развитие образования», «Безопасный регион», «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности населения на водных объектах» [8]. Благодаря данным программам внедрены в образовательные организации округа инженерно-технические средства безопасности: системы видеонаблюдения, аварийное освещение, автоматическая пожарная сигнализация и т.д.

К основному элементу системы комплексной безопасности образовательного учреждения Кагиров Б.Н. относит уровень допустимого минимального риска [9]. Основой комплексной системы безопасности в ОУ, по мнению автора, является дежурная служба, оснащенная средствами получения информации от систем пожарной сигнализации, видеонаблюдения, допуска в здание и других. На основе полученной информации служба должна принимать меры реагирования на возникновение угрозы включением технических систем, а также проводить организационные мероприятия по спасению людей [9].

В рассмотренных докладах представлено описание систем комплексной безопасности образовательного учреждения, совокупность каких модулей и программ будет включена в единую систему. Но не описаны, какие методики, подходы, алгоритмы будут реализованы в этих системах.

Проведем обзор существующих методов, алгоритмов по оценке антитеррористической защищенности объектов, по оценке безопасности объектов.

Обобщенный подход к оценке антитеррористической защищенности объектов представлен в работе [10]. В статье описывается упрощенный подход к оценке эффективности систем защиты путем территориального зонирования на основе использования небольшого числа входных параметров. Показатель эффективности системы защиты от воздействия при скрытом проникновении предлагается определять через вероятность скрытого воздействия. При вычислении вероятности скрытого воздействия учитываются: длина участков зоны скрытого проникновения; параметр, определяющий степень информированности

нарушителя об объекте; общая длина участков возможной зоны исходной позиции. Показатель оценки эффективности системы защиты от открытого воздействия предлагается вычислять через вероятность открытого воздействия. При вычислении вероятности учитываются: зона неконтролируемого воздействия, зона беспрепятственного движения, информированность нарушителя об обстановке на объекте.

Проведен обзор работ по классификации подходов [10], рассмотрены логико-вероятностные подходы, включающие построение модели возможных состояний объекта защиты в форме графа, учитывающего возможные сценарии атаки и ответные действия сил охраны.

В работе [11] рассматривается обобщенная оценка уровня безопасности промышленного объекта. Обобщенный показатель уровня безопасности определяется на основе трех угроз: незаконное проникновение нарушителя, пожар и техногенная авария. В статье представлена оценка взаимного влияния систем безопасности и управления технологическим процессом и показано влияние проводимых мероприятий на уровень безопасности объекта. Количественные значения факторов могут быть определены с помощью методик [12], в результате статистических или экспериментальных методик. Рассмотренный метод можно применить и к образовательному учреждению, уточнив вероятные угрозы образовательному учреждению.

ЗАО «ИнТех» предлагает услуги по анализу уязвимости и оценке эффективности систем безопасности объектов [13]. Для проведения анализа уязвимости и оценки эффективности систем безопасности объектов используется комплект специального программного обеспечения: «ПОСТ 3D», «Assess», «Prosa». С помощью данных программ проводится оценка вероятности обнаружения различных категорий нарушителей, способности сил охраны объекта противодействовать нарушителям, осуществляется 3D-визуализация различных сценариев и результатов анализа уязвимости, оценки эффективности систем безопасности объекта. С помощью программы «ПОСТ 3D» проводится имитационное моделирование действий нарушителей на объекте и противодействие со стороны системы физической защиты (СФЗ), расчет показателей эффективности ЧФЗ, задание наборов сценариев нарушителей и сил СФЗ. На основе полученных результатов специалисты проводят концептуальное проектирование, целью которого является разработка концепции построения системы безопасности объекта на

основе ограничений на финансовые и другие ресурсы, заданных заказчиком [13].

Что же такое безопасность и какие угрозы могут возникнуть в образовательном учреждении? Рассмотрим, как раскрывается понятие «безопасность» разными авторами. В статье [14] выделено четыре основных подхода к понятию «безопасность», сложившихся в отечественной науке:

- безопасность как состояние, направление развития и условие жизнедеятельности общества;
- безопасность как защита общества от угроз;
- безопасность как деятельность;
- безопасность как часть психологической составляющей социума или отдельного индивида.

Авторами работы [14] дано несколько определений понятия «безопасность», учитывая рассмотренные подходы. Для выявления угроз и их изучения следует определить субъект и объекты безопасности. В работе выделены две главные угрозы, которые существуют в образовательном учреждении: внутренние и внешние. К внутренним угрозам отнесены личностные, организационные, групповые, к внешним – экономические, политические, биологические (экологические), криминогенные угрозы.

Безопасность можно определить, как защищенность людей от вероятных угроз путем прогнозирования, анализа, оценки и применения мер по устранению угроз.

Каждый из рассмотренных методов, подходов по оценке уровня безопасности можно применить при выполнении расчетов, но как отметил Игайкина И.И. [5], построение эффективной системы управления безопасностью любого объекта невозможно без комплексного подхода, охватывающего выявление всех основных угроз, оценки возможного ущерба при осуществлении возможных угроз.

Таким образом, необходимо разработать единую методику по комплексной безопасности образовательных учреждений, включающую алгоритмы, подходы, методы по прогнозированию, анализу возможных угроз, по расчету ущерба от возможных угроз, методы по категорированию объектом.

Список литературы

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ (последняя редакция).
2. Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — 268 с.
3. Климочкин О.В. Вопросы повышения уровня обеспечения безопасности образовательных организаций охранными структурами: практика, проблемы, пути решения // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 39-44.
4. Сеньков В.Д. Технические средства охраны – передовые технологии обеспечения комплексной безопасности // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 79-80.
5. Игайкина И.И. Основные принципы обеспечения комплексной безопасности образовательных учреждений // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 105-107.
6. Воронцов А.А., Ступаченко Е.В. Теоретические основы обеспечения комплексной безопасности в образовательных организациях высшего образования // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 139-142.

7. Коноваленко Д.А. Совершенствование системы комплексной безопасности в рамках реализации проекта «Безопасный университет» на базе Кубанского государственного технологического университета // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 184-187.
8. Кравец М.В. Комплексная безопасность образовательных организаций в условиях крайнего севера // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 189-190.
9. Кагиров Б.Н. Комплексная оценка риска и последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения в образовательных учреждениях // Всероссийская научно-практическая конференция «Комплексная безопасность образовательных организаций: теория и практика»: сборник материалов / редкол.: М.В. Дулясова и др.; под общ. ред. д.э.н., проф. М.В. Дулясовой. — Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2017. — С. 226-228.
10. Сивакова Т.В., Балута В.И., Карандеев А.А. — Обобщённый подход к оценке антитеррористической защищённости объектов // Вопросы безопасности. — 2019. — № 6. DOI: 10.25136/2409-7543.2019.6.31053 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=31053 (дата обращения: 13.03.2023). — Текст: электронный.
11. Осипова М. Н. Методическое пособие по оценке пожароопасности помещений различного назначения методом Гретенера. М.: НОУ «Такир», 1998. 68 с. URL: http://dolevandrey.narod.ru/6_str1.htm (дата обращения: 13.03.2023). - Текст электронный.
12. Павлов В.Н., Какадий И.И. Угрозы безопасности образовательного учреждения // Бюллетень науки и практики / Bulletin of Science and Practice <https://www.bulletennauki.com>. Т. 6. №6. 2020 <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55>. С. 305-311.

13. Анализ уязвимости и оценка эффективности систем безопасности объектов. URL: <https://in-tex.ru/analiz-uyazvimosti-i-ocenka-effektivnosti-sistem-b/> (дата обращения: 13.03.2023). – Текст: электронный.
14. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Рябцев Н.А. Обобщенная оценка уровня безопасности промышленного объекта // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. № 2, 2019. С. 5-8.
15. Закон РФ «Об образовании» от 29 декабря 2012 г. N 273 – ФЗ // Принят Государственной Думой 21 декабря 2012 года, одобрен Советом Федерации 26 декабря 2012 года . – М. : Просвещение, 2010.

ENSURING THE SAFETY OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Di.Mi. Varlamova

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

The article is devoted to ensuring the safety of educational institutions. Approaches and methods for assessing the anti-terrorism security of objects are considered, and the main problems are described. To ensure the safety of educational institutions, it is necessary to develop a unified methodology for the comprehensive security of educational institutions, including algorithms, approaches, methods for forecasting, analyzing possible threats, and calculating damage from possible threats.

Keywords: security, educational institution, anti-terrorism security, comprehensive security.

УДК УДК 37.072

ПОСТРОЕНИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ «ШКОЛА – ВУЗ – ПРЕДПРИЯТИЕ» В ОБЛАСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

А.В. Попков

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: safetman@inbox.ru

В работе рассматриваются вопросы разработки и практического внедрения системы непрерывной подготовки кадров «Школа – Вуз – Предприятие». Раскрыты цели и задачи научно-образовательной системы, как в целом, так и по каждой подсистеме в отдельности. Показана роль системы подготовки кадров в экономическом и социальном развитии региона.

Ключевые слова: система, подготовка кадров, беспилотные системы, школа, ВУЗ, предприятие, образование.

Основная часть

На всей территории страны выстраивается отрасль беспилотных авиационных систем, при этом усиление требований к качеству высокотехнологичной продукции требует привлечения к ее созданию высококвалифицированных кадров, обладающих широким спектром необходимых компетенций.

Компетенции выпускников образовательных учреждений не в полной мере соответствуют тем требованиям, которые предъявляются современным производством такой продукции. Соответственно, одной из важнейших задач на данном этапе является модернизация существующих схем взаимодействия работодателей и образовательных учреждений, создание системы сквозной подготовки персонала.

Цели научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров:

- подготовка будущих специалистов к работе в непрерывно развивающихся инновационных отраслях промышленности;
- внедрение системы параллельного образования;

- обеспечение условий для непрерывного повышения квалификации обучающихся;
- формирование гибкой системы поступательного профессионального и карьерного роста в системе «Школа – Вуз – Предприятие»
- построение системы формирования кадрового резерва в области инновационных направлений.

Задачи научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров:

- обеспечение преемственности знаний в системе «Школа – Вуз – Предприятие»;
- обеспечение постоянной доступности образовательной среды для получения актуальных знаний и навыков;
- создание системы непрерывного мониторинга оценки содержания и качества образования в образовательных учреждениях;
- обмен опытом с лидерами научной и производственной среды;
- предоставление широких возможностей для самообучения;
- формирование личностной мотивации и инновационного мышления;
- создание института наставничества в инновационной системе «Школа – Вуз – Предприятие»;
- обеспечение защищенности от воздействия агрессивной информационно-психологической среды;
- формирование нравственно-патриотических качеств;
- генерирование мотивации к созиданию материальных и духовных благ.

Задачи в рамках подсистемы «Школа» системы непрерывной подготовки кадров:

- вовлечение школьника на ранних этапах в процесс активного познания в среде профессионального сообщества;
- формирование социально активной личности;
- выявление талантливых детей и целенаправленная работа по их развитию с применением инновационных методов и технологий;
- привлечение детей к профильно-ориентированным занятиям;
- адаптация образовательных программ к повышению эффективности восприятия обучающихся;
- формирование исследовательской культуры школьника в процессе вовлечения его в научную деятельность;

– разработка индивидуальной траектории и анализ долгосрочной перспективы развития образовательного процесса ученика.

С помощью постоянной системы контроля достижений детей могут быть выявлены наиболее талантливые из них, для которых могут быть созданы отдельные портфолио, обеспечивающие учет не только статических показателей развития, но и их динамики.

Задачи в рамках подсистемы «Вуз» системы непрерывной подготовки кадров:

- организация целевой опережающей подготовки обучающихся по инновационным направлениям;
- внедрение системного процесса стажировок, на предприятиях реального сектора экономики;
- помощь в профессиональной адаптации и успешном трудоустройстве;
- самостоятельное проектирование и прогнозирование собственной профессиональной траектории и карьеры с учетом необходимости непрерывного повышения квалификации.

Решение задач в рамках подсистемы «Вуз» обеспечивает студентам успешный старт профессиональной карьеры. Получение практического опыта, позволяет молодым специалистам достичь высокого уровня компетенций, что крайне востребовано на российском рынке труда.

Задачи в рамках подсистемы «Предприятие» системы непрерывной подготовки кадров:

- снижение порога вхождения в рабочий процесс для молодых специалистов;
- формирование среды, стимулирующей процесс инновационного развития предприятия;
- обеспечение постоянной нацеленности специалистов на генерацию инноваций и нововведений;
- формирование у специалиста набора интеллектуальных моделей, для решения трансдисциплинарных задач;
- создание опережающей системы формирования кадрового резерва для отрасли за счет активного взаимодействия в системе «Школа – Вуз – Предприятие»;
- повышение уровня квалификации и инновационной грамотности специалистов предприятия за счет интеграции в научно-образовательную среду.

Задачи в рамках подсистемы «Предприятие» направлены на обновление отрасли, привлечение новых кадров, получение новых знаний и технологий. Самостоятельно эти процессы не могут быть запущены на предприятиях, поскольку они не обладают необходимым кадровым потенциалом и связями в научном сообществе. Неопровержимым является тот факт, что наибольшей инновационной активностью обладают именно молодые ученые, а не опытные специалисты. Обновление кадрового потенциала предприятия за счет специалистов, подготовленных в рамках научно-образовательной системы, гарантирует успешное развитие организации в современной высококонкурентной среде.

Результаты реализации научно-образовательной системы можно отследить по всем ее уровням в отдельности: в подсистемах «Школа», «Вуз», «Предприятие».

Так, для реализации системы подготовки в подсистеме «Школа» могут быть созданы экспериментальные классы (кружки, курсы), основной миссией которых станут:

- помощь в реализации идей и просто самореализации активной и талантливой молодежи;
- вовлечение в увлекательный научно-образовательный процесс школьников с пассивным (либо агрессивным) окружением и, как следствие, с пассивной (либо агрессивной) жизненной позицией;
- создание среды устойчивого развития: профессиональной и социальной ответственности за обеспечение личной и коллективной безопасности, чувства патриотизма, высокой мотивации к созиданию материальных и духовных ценностей, чувства защищенности в условиях агрессивной информационной среды.

При работе с учащимися особое внимание должно уделяться внеурочной деятельности и дополнительному образованию, в рамках программ допрофессиональной подготовки, которая включает в себя учебно-исследовательские проекты, проектные работы, предметные олимпиады, экскурсии в научно-исследовательские центры, участие в выполнении реальных научно-исследовательских работ и решении техно-кейсов в рамках проектных групп, посещение специализированных выставок, выступление на конференциях и семинарах.

В ходе выполнения конкретной проектной или научной работы запоминается самое большое количество информации, приобретаются

практические исследовательские навыки и формируется настоящее научное сознание.

Реализация в подсистеме «Вуз» должна осуществляться в рамках подготовки инженеров – бакалавров и магистров, а также кадров высшей квалификации. Система обучения в рамках концепции непрерывной подготовки должна быть максимально приближена к реальной инженерной деятельности и направлена на приобретение навыков решения сложных технических задач за счет профессионального и творческого подходов.

Студенты в процессе обучения должны получать знания, обеспечивающие их активную адаптацию в производственном процессе и минимизирующие порог вхождения в профессиональную среду. Комплекс знаний, изучаемых в рамках базовых дисциплин, должен быть ориентирован на будущую специализацию студента и направлен на формирование профессиональных компетенций. Межпредметные связи при их целенаправленном формировании выступают как принцип конструирования учебного процесса. Они позволяют осуществить синтез разнопредметных знаний и реализовать системный подход в профессиональном обучении.

Подготовленные кадры высшей квалификации (кандидаты и доктора наук) в рамках научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров «Школа – Вуз – Предприятие» являются главным резервом профессорско-преподавательского состава и основой создания научной элиты инновационной экономики России.

В процессе обучения аспиранты и докторанты должны вести активную научно-исследовательскую и образовательную деятельность. Эта категория обучающихся может выступать наставниками, в составе проектных групп. Обладая опытом реализации проектов и решения техно-кейсов, работая с участниками группы, они подводят их к самостоятельной постановке цели и ее достижению.

Реализация научно-образовательной системы непрерывной подготовки кадров в подсистеме «Предприятие» дает ее участникам комплекс профессиональных компетенций, необходимых, для обеспечения инновационного развития, как конкретного предприятия, так и отрасли в целом. Развитию инновационной грамотности и активности участников системы может способствовать использование разработанных

с привлечением ведущих отечественных и зарубежных специалистов междисциплинарных лекционных и практических курсов.

Таким образом, разработанная концепция может быть использована в качестве методологической и социально-технологической основы, для опережающей базовой и непрерывной подготовки кадров в области беспилотных систем.

Список литературы

1. Управленческие практики и результативность вузов в реализации непрерывного образования / И. А. Коршунов, Н. Н. Ширкова, Е. С. Сжёнов [и др.] // Высшее образование в России. – 2023. – Том 32, № 1. – С. 9–34.
2. Константинова, Л. В. Переосмысление подходов к уровневой системе высшего образования в России в условиях выхода из Болонского процесса / Л. В. Константинова, А. М. Петров, Д. А. Штычно // Высшее образование в России. – 2023. – Том 32, № 2. – С. 9–24.
3. Инженерное образование в условиях цифровизации и перехода к зелёной экономике – Синергия-2022 (обзор конференции) / М. Ф. Галиханов, В. В. Кондратьев, И. Г. Ахметов, Г. Р. Ганиева // Высшее образование в России. – 2022. – Том 31, № 12. – С. 130–149.
4. Земцов, Д. И. Выпускнический капитал: стратегии взаимодействия с выпускниками университета / Д. И. Земцов, Ю. С. Хукаленко // Высшее образование в России. – 2023. – Том 32, № 1. – С. 35–50.
5. Шепель, М. О. Подготовка кадров для цифровой экономики через реализацию дополнительных профессиональных программ профессиональной переподготовки для студентов вузов / М. О. Шепель, Д. А. Маслова, А. Е. Петелин // Дополнительное профессиональное образование в стране и мире. – 2022. – № 2. – С. 5–8. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50043351> (дата обращения: 24.11.2023).

**BUILDING A SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL SYSTEM
OF CONTINUOUS TRAINING «SCHOOL - UNIVERSITY –
ENTERPRISE» IN THE FIELD OF DRONE SYSTEMS**

A. V. Popkov

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

The paper discusses the development and practical implementation of a system of continuous training «School – University – Enterprise». The goals and objectives of the scientific and educational system, both as a whole and for each subsystem separately, are disclosed. The role of the personnel training system in the economic and social development of the region is shown.

Keywords: system, personnel training, drone systems, school, university, enterprise, education.

Раздел II

Системы и материалы обеспечения безопасности

УДК 53.087.92

ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

В.А. Куликов

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *kulik000@mail.ru*

В.В. Сяктерева

Ижевский государственный технический университет имени М.Т.

Калашникова, г. Ижевск, Россия

e-mail: *syaktereva_vika@mail.ru*

В статье рассматриваются первичные преобразователи температуры и плотности теплового потока, предназначенные для проведения измерений в грунте. Представлены конструктивные особенности преобразователей и основные параметры, определяющие их возможные применения. По результатам анализа свойств и полученных в ходе испытаний параметров показана возможность их использования в системах мониторинга тепловых процессов в приповерхностных слоях земли, связанных с извержениями вулканов.

Ключевые слова: Мониторинг извержений вулканов, температура, первичный преобразователь температуры, тепловой поток, датчик плотности теплового потока.

Введение

Предсказание природных явлений, которые относятся к категории опасных для жизнедеятельности человека, обычно производится методом контроля и оценки признаков и проявлений, прямо или косвенно связанных с возможным возникновением опасного события. Также эффективны методы моделирования явлений, которые при наличии адекватных моделей и достоверных исходных данных дают вполне приемлемые результаты.

Вулканическая деятельность на планете Земля является неотъемлемой частью природных явлений и оказывает существенное влияние на

жизнедеятельность человека, вызывая, в частности, катастрофические последствия, которые могут быть предотвращены или уменьшены при наличии эффективных средств слежения за состоянием вулканов и их активностью.

Методы и средства мониторинга вулканической деятельности делятся на две группы. Первая группа включает в себя исследования эффектов и явлений, наблюдаемых непосредственно вблизи вулкана, вторая представляет собой дистанционное зондирование состояния вулканов и атмосферы в зонах вулканической деятельности, например, из космоса.

Применение находят средства контроля температуры и других тепловых величин в зонах вблизи вулканов. Приближение к поверхности земли разогретой лавы перед извержением вулкана сопровождается увеличением плотности теплового потока, направленного к поверхности земли, и повышением температуры грунта. Поэтому контроль этих параметров является способом слежения за возможным развитием катастрофических ситуаций в жизни вулкана. Совершенствование таких средств мониторинга тепловых вулканических процессов является актуальной задачей, о чем свидетельствуют современные публикаций по теме [1].

Решая ранее задачу контроля теплотерь на теплотрассах [2], заглубленных в грунт, авторами совместно с коллегами был разработан и запатентован оригинальный защищенный малоинерционный датчик (первичный преобразователь) температуры, оценке возможных применений которого для целей мониторинга вулканической деятельности посвящена данная статья.

Малоинерционный защищенный первичный преобразователь температуры

Первичный преобразователь температуры [3] является термопреобразователем сопротивления и выполнен в виде многослойной цилиндрической конструкции (рис. 1).

Внешний слой 1 представляет собой защитный корпус – трубу, диаметр, толщина и материал которой зависят от варианта применения. На внутренней поверхности трубы в один или несколько слоев в виде катушки 2 уложен изолированный электрический микропровод из термочувствительного материала, например, меди, являющийся

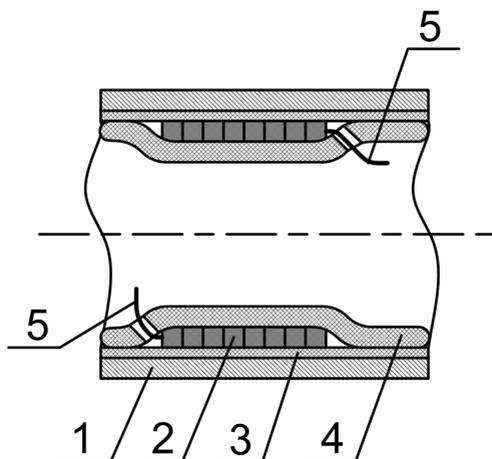


Рисунок 1 — Первичный преобразователь температуры: 1 – защитный корпус; 2 – катушка чувствительного элемента из микропровода; 3, 4 – изоляционные слои; 5 – выводы чувствительного элемента

чувствительным элементом первичного преобразователя. Катушка 2 двумя дополнительными изоляционными слоями 3 и 4, выполненными, например, из фторопласта, защищена от электрических и механических воздействий изнутри и снаружи. Выводы 5 чувствительного элемента укладываются вдоль оси во внутренней полости многослойной конструкции.

Способ изготовления преобразователя представлен в патенте.

Экспериментальные образцы первичного преобразователя были выполнены в виде игольчатой конструкции с внешним диаметром 3 мм защитной трубки из нержавеющей стали и исследовались в лабораторных и полевых условиях.

В лаборатории использовались высокоточные измерительные приборы: Теркон – преобразователь сигналов датчиков температуры и Термотест-100 – жидкостный термостат переливания (ООО «Термэкс», г. Томск). В полевых условиях проводились измерения температуры грунта путем погружения первичного преобразователя на глубину

до 0,5 м. В качестве вторичного прибора использовался серийный высокоточный прибор судмедэксперта ПСМЭ (ООО «Программно-аппаратные системы», г. Ижевск).

Экспериментально установлено следующее.

Градуировочная характеристика первичных преобразователей соответствует типу 50М по ГОСТ 6651-2009, температурный коэффициент сопротивления в диапазоне температур $-30 \dots +100$ °С составил $0,00426$ °С⁻¹. Погрешность измерений температуры в термостате не превысила $\pm 0,3$ К. При этом показатель тепловой инерции в термостате составил 3 с, а в грунте – не более 10 с. Также установлено, что для изготовления первичных преобразователей может использоваться промышленный обмоточный медный провод ПЭТр-155 0,032, где 155 – максимальная температура эксплуатации в °С, а 0,032 – диаметр провода в мм. Преобразователи могут изготавливаться в лабораторных условиях с минимальным привлечением дополнительной технологической оснастки. Чувствительные элементы могут быть собраны в измерительную косу, размещаемую внутри трубы в скважине, что позволяет производить измерения температурного профиля грунта и более глубоких слоев земли. Для повышения верхней измеряемой температуры (более $+200$ °С - максимальной температуры для медных чувствительных элементов) вместо медного микропровода возможно применение других материалов, например, из платины.

Датчик плотности теплового потока

На основе первичного преобразователя температуры конструкции рис. 1 разработан первичный преобразователь (датчик) плотности теплового потока для проведения измерений в грунте земли. Цель разработки состояла в оценке теплотерь (тепловых потоков) от теплотрасс, заглубленных в грунт.

Конструктивно датчик представляет собой трехсекционный первичный преобразователь температуры, который содержит внутри защитной трубки разнесенные по длине три чувствительных элемента (рис. 2). Причем все элементы изготавливаются в едином технологическом цикле, как представлено в патенте, упомянутом ранее.

Измерение плотности теплового потока производится косвенным градиентным методом, основанным на законе Фурье [4]

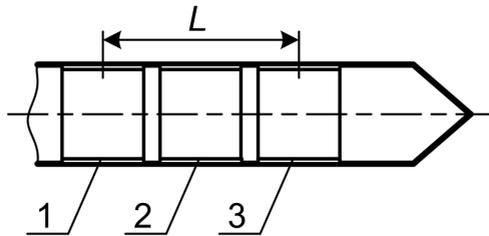


Рисунок 2 — Датчик плотности теплового типа: 1, 2, 3 — чувствительные элементы с изоляцией

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{L}, \quad (1)$$

где λ - теплопроводность исследуемой среды (грунта); L - толщина так называемой измерительной стенки – расстояние между двумя изотермическими поверхностями с разностью температуры ΔT .

Таким образом, определение плотности q теплового потока вдоль оси датчика осуществляется расчетным путем по результатам измерений теплопроводности λ и градиента температуры $\frac{\Delta T}{L}$, которое при заданном расстоянии между двумя первичными преобразователями температуры 1 и 3 на рис. 2 фактически сводится к измерению разности температуры на участке между ними.

Для измерения теплопроводности грунта использован динамический метод, основанный на решении задачи нестационарной теплопроводности для цилиндра, окруженного неограниченной средой [5]. Решение получено Блэквеллом [6]. Откуда теплопроводность грунта находится по формуле

$$\lambda = \frac{P}{4\pi L_1 \Delta T_1} \ln \frac{\tau_2}{\tau_1}, \quad (2)$$

где P - мощность, выделяемая нагревателем цилиндра с длиной L_1 ; ΔT_1 - перепад температуры нагревателя для моментов времени τ_1 и τ_2 после начала нагрева, выбираемых на линейном участке зависимости изменения температуры цилиндра от логарифма времени.

В работах авторов [2, 7, 8] впервые показана возможность применения данного метода для измерения теплопроводности грунта в полевых условиях с использованием термопреобразователя сопротивления цилиндрической конструкции.

Таким образом, чувствительный элемент 2 датчика плотности теплового потока на рис. 2 предназначен для измерения теплопроводности грунта после проведения измерений градиента температуры.

Для экспериментальных исследований датчика плотности теплового потока был создан портативный микропроцессорный прибор (контроллер), выполняющий функции управления измерениями и вводом измерительной информации в персональный компьютер. Для градуировки измерительной системы также был разработан лабораторный источник теплового потока [9] на основе управляемых кольцевых нагревателей, собранных в цилиндр, куда загружался сухой промытый песок. Тепловой поток заданной плотности возникал в песке вдоль оси цилиндра за счет поддерживаемого градиента температуры кольцевыми нагревателями. Плотность потока контролировалась промышленным датчиком теплового потока ДТП 0924 (ОАО НПП Эталон, г. Омск).

Первоначально была выполнена градуировка созданной системы измерения плотности теплового потока и определены разрешающая способность на уровне $0,05 \text{ Вт/м}^2$ и диапазон измерений с максимальной плотностью потока в песке на уровне 100 Вт/м^2 . Определена погрешность измерений в лабораторных условиях путем многократных повторных экспериментов, которая для всего измерительного тракта источник теплового потока – система измерений составила менее 7%. Была определена также разрешающая способность системы по температуре на уровне $0,001 \text{ К}$.

Полевые испытания датчика плотности теплового потока и системы в целом проводились в весенний период во второй половине апреля после схода снега при температуре окружающего воздуха $+2^\circ\text{C}$. Измерялась плотность потока теплотеря на заглубленной в грунт теплотрассе вблизи корпуса промышленного здания. Датчик плотности теплового потока вводился в грунт на глубину $0,5 \text{ м}$ над двумя участками теплотрассы с нормальной и частично разрушенной теплоизоляцией магистралей теплоносителя. Путем многократных

Раздел II

повторяющихся измерений с выемкой и переустановкой датчика теплового потока получены следующие данные.

На участке теплотрассы с нарушенной теплоизоляцией теплопотери составили 27 Вт/м^2 с разбросом $\pm 1,5\%$. На участке с исправной теплоизоляцией потери меньше – на уровне 9 Вт/м^2 при разбросе показаний $\pm 0,6\%$. После введения датчика в грунт на проведение одного измерения затрачивалось менее 5 минут. Одно измерение складывалось из интервалов выдержки датчика в грунте до установки его температуры, измерения градиента температуры в грунте, измерения теплопроводности грунта, индикации и записи результатов измерений в память компьютера.

Заключение

Представленные в работе первичные преобразователи температуры и плотности теплового потока по основным своим метрологическим характеристикам и параметрам соответствуют действующим нормативным документам и позволяют производить измерения соответствующих параметров в объеме грунта. Диапазон температурных измерений может составлять как для термопреобразователей сопротивления с медными чувствительными элементами от -180 до $+200$ °С. Измерения плотности теплового потока в грунте могут производиться в диапазоне от десятых долей до десятков Вт/м^2 , что соответствует уровню теплопотерь ядра и излучения нагретых зон вулканов вблизи поверхности Земли. Считаю целесообразным проведение испытаний преобразователей в зонах действующих вулканов и выполнение дальнейших исследований и работ по разработке конструкций первичных преобразователей для целей мониторинга вулканической активности.

Список литературы

1. Муравьев, А.В. Геотермический мониторинг как способ прогноза вулканических извержений и оценок геотермических ресурсов / А.В. Муравьев // Георесурсы, 20(4), Ч.2, с. 413-422. URL: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.413-422> (дата обращения: 28.10.2023)
2. Куликов, В.А. Экспериментальные исследования информационно-измерительной системы для измерения теплопроводности грунта

- / В.А. Куликов, В.В. Сяктерева, К.А. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 1 (17). С. 191-196.
3. Патент № RU 2 533 755 С1. Термопреобразователь сопротивления (варианты) и способ его изготовления : №2013122973/28 : заявл. 20.05.2013 : опубл. 20.11.2014 / В.А. Куликов, К.А. Никитин, М.А. Рогожников ; заявитель, патентобладатель В.А. Куликов, К.А. Никитин, М.А. Рогожников Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС : [сайт]. – URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002533755&TypeFile=html (дата обращения: 28.10.2023).
 4. Геращенко, О.А. Тепловые и температурные измерения: Справочное руководство / О.А. Геращенко, В.Г. Федоров – Киев : Наукова думка, 1965. – 304 с.
 5. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Под ред. А.В. Лыкова. – М. : Энергия, 1973. - 336 с.
 6. Blackwell, J.H. A transient-flow method for determination of thermal constants of insulating materials in bulk // J/ Appl. Phys. – 1954. – V. 25. – P. – 137-144.
 7. Куликов, В.А. Динамические измерения теплопроводности грунта с применением линейного нагревателя - датчика температуры / В.А. Куликов, Сяктерева В.В. // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2011. № 2 (50). С. 137-140.
 8. Никитин, К.А. Исследование градиентного датчика малых тепловых потоков в грунте / К.А. Никитин, В.А. Куликов // Интеллектуальные системы в производстве. 2010. № 2 (16). С. 186-192.
 9. Куликов В.А. Источник теплового потока для градуировки и поверки датчиков плотности теплового потока погружаемого типа / К.А. Никитин, М.А. Рогожников // Приборостроение в XXI веке - 2014. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Ижевск : Изд-во ИЖГТУ имени Калашникова, 2015. – С. 287-291.

**PRIMARY TRANSDUCER OF THERMAL VALUES FOR
THE MONITORING SYSTEMS OF VOLCANIC
ERUPTIONS**

V.A. Kulikov

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *kulik000@mail.ru*

V.V. Syaktereva

Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia
e-mail: *syaktereva_vika@mail.ru*

The article deals with primary transducer of temperature and heat flux density designed for measurements in the ground. The design features of the transducer and the main parameters determining their possible applications are determined. Based on the results of the analysis of the properties and the parameters obtained during the tests, the possibility of their use in monitoring systems of thermal processes in the nearsurface layers of the earth associated with volcanic eruptions is shown.

Keywords: Monitoring of volcanic eruptions, temperature, primary transducer of temperature, heat flux, heat flux density transmitter.

УДК 504.06

ОЦЕНКА И УВЕЛИЧЕНИЕ КПД ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Д.Н. Сизов

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *daniil.Tizov@yandex.ru*

В статье рассматривается проблематика природопользования и охрана окружающей среды. Способы увеличения производительности теплогенераторов при уменьшении потребления топлива с уменьшением концентрации токсичных веществ, содержащихся в выхлопных газах теплогенераторов. Поиск оптимальных решений, основывается на наблюдении мирового опыта применения технологий и способов регулирования в теплоэнергетике. Решение описания методов увеличения КПД исходило из-за большей их эффективности.

Ключевые слова: КПД теплогенератора, топливно-воздушная смесь, выхлопные (отработанные) газы, природопользование, охрана окружающей среды.

Введение

Выхлопные (отработанные) газы (ОГ) - источник токсичных веществ в теплогенераторах. Это неоднородная смесь различных газообразных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящая из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных примесей. Основными преобладающими токсичными компонентами выхлопных газов являются оксиды углерода, азота и углеводорода.

Оксид углерода (СО – угарный газ). Оксид углерода – продукт неполного сгорания топлива. В теплогенераторе СО образуется при неудовлетворительном смешивании топлива с воздухом, в результате холодно пламенных реакций при сгорании топлива с недостатком кислорода. При этом, процесс выгорания СО продолжается и в выпускном трубопроводе.

В поисках способов повышения эффективности предприятий энергетического сектора, а также других промышленных объектов, на которых используется оборудование, сжигающее ископаемое топливо (паровые, водогрейные котлы, технологические печи и т.д.), вопрос

использования потенциала дымовых газов поднимается не в самую первую очередь. Между тем, опираясь на существующие нормы расчёта, разработанные десятки лет назад, и сложившиеся стандарты выбора ключевых показателей работы подобного оборудования, эксплуатирующие организации теряют деньги, попутно ухудшая экологическую обстановку в глобальном масштабе. Оценочно, доля загрязнения атмосферы по отраслям: первое место занимает теплоэнергетика [1].

Ключевой параметр, определяющий КПД теплогенератора, – температура уходящих газов. Тепло, теряемое с уходящими газами, составляет значительную часть всех тепловых потерь (наряду с потерями тепла от химического и механического недожога топлива, потерями с физическим теплом шлаков, а также утечек тепла в окружающую среду вследствие наружного охлаждения). Эти потери оказывают решающее влияние на экономичность работы котла, снижая его КПД. Таким образом, чем ниже температура дымовых газов, тем выше эффективность котла [2].

Решения по увеличению КПД теплогенераторов

Внедрение комплекса мер по снижению температуры дымовых газов за котлом на существующем предприятии обеспечивает увеличение КПД всей установки, в состав которой входит котельный агрегат, используя, прежде всего, сам котёл (тепло, вырабатываемое в нём).

Концепция таких решений, по своей сути, сводится к одному: на участке газохода до дымовой трубы монтируется теплообменник, тепло дымовых газов охлаждающей средой (например, водой). Эта вода может быть, как непосредственно конечным теплоносителем, который необходимо нагреть, так и промежуточным агентом, который передаёт тепло посредством дополнительного теплообменного оборудования другому контуру [3] [4].

Но проблема не заканчивается на этом. Возникает вопрос по снижению использования энергетических ресурсов и загрязнение атмосферы токсичными веществами выходящие из выхлопной трубы. С каждым годом экологическая обстановка ухудшается, добыча энергетических ресурсов усложняется, так как легко доступные места добычи исчерпывают себя, что приводит к увеличению цен на энергоресурсы в следствии чего цены на конечные продукты возрастают.

Для этого необходимо контролировать и регулировать топливно-воздушную смесь, до полного сгорания, что уменьшит выброс вредных веществ в атмосферу и при правильном соотношении смеси уменьшит потребления топлива. В настоящее время контроль и настройка теплогенератора производится при установке и в лучшем случае в момент обслуживания. Как правило при использовании природного газа в качестве топлива соотношение газ-воздух в районе 1:10, в выхлопных газах оптимальные значения с учетом погрешностей [5] СО должно быть не больше, чем 0,005 %, концентрация кислорода должна быть примерно от 3 до 5 %. Если его будет меньше, то вероятнее всего, что газ не будет успевать сгорать, вследствие чего, будет накапливаться много сажи, уровень диоксида углерода будет выше нормы, а КПД оборудования будет снижаться. Во время работы теплогенератора эти показания не контролируется, что со временем эксплуатации из-за загрязнения, перепады температуры воздуха на сжигание, тяги в дымоходе, либо поломок теплогенератора включая прогорание котла, соотношение топливо-воздух начнет колебаться. Приведет к уменьшению производительности с увеличением, либо с уменьшением потребления топлива относительно воздуха. С использованием программно-аппаратного комплекса можно в реальном времени контролировать соотношение топливно-воздушной смеси и тем самым производить последующую корректировку положений заслонок топлива и воздуха. Это даст более точную регулировку соотношения топливо-воздух, с сохранением мощности уменьшит потребление топлива, смесь будет сгорать еще в котле, догорания в выхлопной трубе не последует, температура выхлопных газов уменьшится, общее КПД увеличится. Создание топливно воздушной смеси происходит с использованием плавно регулируемых заслонок, изменяя количество воздуха и газа в смесительной голеве горелки, исходя из требуемой мощности. С поддержанием необходимого давления в котле для сгорания смеси [6].

Для увеличения полноты сгорания топливно-воздушной смеси и уменьшение загрязнения атмосферы применяется рециркуляция выхлопных газов. Из выхлопной трубы перенаправляется часть отработанных газов и пропорционально смешиваются с топливом и воздухом на сжигании. Таким образом происходит досжигание газов из выхлопной трубы с уменьшением токсинов в отработанном газе.

В настоящее время наблюдая по всей России, контроль КПД осуществляется только общий среди теплогенераторов в котельных. В случае неисправности одного из теплогенераторов, общая производительность падает, с учетом нескольких работающих котлов, эта цифра падает не существенно и сложно определить какой из теплогенераторов вносит погрешность в общий КПД. Для этого необходимо проводить диагностику, отключать и проверять каждый из теплогенераторы в котельной. Что, к примеру с приходом холодов не так удобно. Для таких случаев как поломки, ставят резервные теплогенераторы, но это не дает оперативного и точного определения неисправности, что зачастую приводит к ресурсным растратам. Измеряя КПД каждого теплогенератора, можно отследить неисправность (сбои, загрязнения и другое) конкретного теплогенератора. Есть два принципа измерения КПД теплогенератора [7]: 1. По прямому балансу - отношение полезной используемой теплоты к тепловой энергии, выделившейся при сгорании топлива; 2. По обратному балансу - учитывается сумма всех теплопотерь, что даст более точные показания.

Заключение

Таким образом комплексный подход позволит значительно увеличить КПД теплогенераторов. При этом уменьшить пагубное влияние на окружающую среду и минимизировать потребление ископаемого топлива.

Список литературы

1. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РОССИИ. 2020: Статистический сборник/Росстат. – 0-92 М., – 113с. ISBN 978-5-89476-495-5.
2. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация : учебник для нач. проф. образования /Б.А. Соколов. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 432 с.
3. Михеев, М.А. Основы теплопередачи И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1976. – 345 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача. В.А. Осипова, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1975. – 483 с.

5. РД 12-341-00. ИНСТРУКЦИЯ ПО КОНТРОЛЮ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ ОКИСИ УГЛЕРОДА В ПОМЕЩЕНИЯХ КОТЕЛЬНЫХ. Дата введения 2000-05-01.
6. ГОСТ Р 51383 – 2012 (EN 676+A2:2008). ГОРЕЛКИ ГАЗОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА. Технические требования безопасности и методы испытаний.
7. ГОСТ Р 56777–2015. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. Метод расчета энергопотребления и эффективности (EN 15316-4-1:2008, NEQ).

EVALUATION AND IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF HEAT GENERATORS

D.N. Sizov

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *daniil.7izov@yandex.ru*

The article deals with the problems of nature management and environmental protection. Ways to increase the productivity of heat generators while reducing fuel consumption with a decrease in the concentration of toxic substances contained in the exhaust gases of heat generators. The search for optimal solutions is based on the observation of the world experience in the application of technologies and methods of regulation in the heat power industry. The decision to describe the methods of increasing efficiency was based on their greater efficiency.

Keywords: Efficiency of the heat generator, fuel-air mixture, exhaust gases, environmental management, environmental protection.

УДК 697.952.2, 004.42

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Н.В. Белкин

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *nik.belkin.01@yandex.ru*

В статье описан процесс разработки автоматизированной системы проветривания помещения, включающей в себя устройство на базе микроконтроллера atmega128rfa1 и мобильное приложение. Рассмотрены существующие аналоги системы, приведено описание принципа работы механизма и структура сообщений для обмена данными с устройством. Система рассчитана на бытовое применение, однако, несмотря на это, предложен возможный вариант дальнейшего развития системы.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, проветривание помещения, микроконтроллер, bluetooth, мобильное приложение.

Введение

Системы автоматического управления всё больше внедряются в повседневную жизнь людей. С развитием технологий создаются новые устройства, автоматизирующие различные процессы, а затем появляется возможность объединять их в автоматизированные системы. Такие системы повсеместно используются в отраслях промышленности, транспорта и энергетике, при этом они повышают рост производительности труда и открывают возможности, которые ранее не были доступны из-за технических ограничений. Подобные разработки начали внедряться и в быту, повышая качество жизни людей: различные управляемые устройства, объединяемые в единую сеть, стали называть «умным домом». Автоматизированная система управления (АСУ) — комплекс программно-аппаратных средств, обеспечивающий автоматизированный сбор информации, её сбор, передачу и хранение, необходимой для оптимизации управления в различных областях жизнедеятельности человека согласно принятым критериям [1]. В отличие

от автоматической системы, автоматизированная оставляет некоторые управляющие функции за человеком.

Обзор существующих аналогов

В настоящий момент на рынке представлено несколько аналогов систем автоматизированного проветривания помещения. Каждое из устройств, представленных далее, имеет собственный механизм, управляющий створкой окна.

Автоматическая система проветривания помещения «Умное окно» Эта система представляет собой устройство небольшого размера, крепящееся одной частью к раме окна возле ручки, а противоположной частью к кронштейну, который крепится на самой ручке створки [2]. Перемещение створки осуществляется с помощью червячной передачи. Устройство работает от аккумуляторной батареи, а подключиться к нему возможно через протокол Bluetooth с помощью специального приложения для смартфона, также присутствует управление с помощью пульта дистанционного управления. Устройство представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 — Автоматическая система проветривания помещения «Умное окно»

Система с электрическим цепным приводом Устройство с цепным приводом основано на электродвигателе, толкающем металлическую цепь вдоль корпуса устройства [3]. Так как цепь способна изгибаться, она направляется перпендикулярно корпусу, тем самым толкая створку окна. Питание устройства возможно через подключение к источнику питания 220 В переменного либо 24 В постоянного тока. Управление осуществляется через переключатель, который можно встроить в стену, либо с помощью пульта дистанционного управления. Также предусмотрена возможность синхронной работы нескольких устройств без внешнего блока управления, позволяющая объединить до четырёх устройств одновременно. Благодаря тому, что цепь металлическая, её прочность позволяет выдерживать большие нагрузки либо удерживать створку при сильных порывах ветра. Цепной привод представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 — Система с электрическим цепным приводом

Система с рычагом и направляющей Устройство основано на рычаге, к которому прикладывает силу электродвигатель [4]. Одна сторона плеча соединена подвижной частью устройства, которое крепится к верхней части окна, а на противоположной стороне расположен ролик, благодаря которому плечо может перемещаться вдоль направляющей. Управлять данной системой можно с помощью переключателя, пульта дистанционного управления и мобильного приложения. Присутствует возможность фиксировать положение створки в определённом положении. Питание возможно от источника 220 В переменного либо 24 В постоянного тока. Механизм представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 — Система с рычагом и направляющей

Основным недостатком приведённых систем является их высокая цена, а также закрытая платформа, то есть эти системы нельзя самостоятельно расширить или подключить к другим уже существующим системам.

Механизм

В качестве механизма был выбран вариант на основе реечной передачи. Принцип его работы заключается в следующем: электродвигатель вращает шестерню, которая начинает движение вдоль зубчатой рейки, двигая вместе с собой часть механизма, крепящегося к створке, вследствие чего створка открывается или закрывается. Для создания 3D-моделей была использована САПР с открытым исходным кодом FreeCAD [5]. Печать осуществлялась на 3D принтере Picaso Designer пластиком ABS. Недостатком данного механизма является отсутствие возможности открыть окно в поворотном режиме. Механизм показан на рисунке 4.

Аппаратная часть

Основой системы является программируемый логический контроллер atmega128rfal [6]. Для реализации системы были использованы лишь некоторые возможности, предоставляемые микроконтроллером, а именно: порты ввода-вывода, таймеры, внутренние прерывания, интерфейс для работы с протоколом передачи данных UART. В качестве модуля передачи данных был выбран Bluetooth приёмопередатчик HC-06 [7]. Этот модуль был выбран ввиду того, что у большинства современных смартфонов есть возможность подключения по Bluetooth протоколу к другим устройствам, а также благодаря тому, что пере-

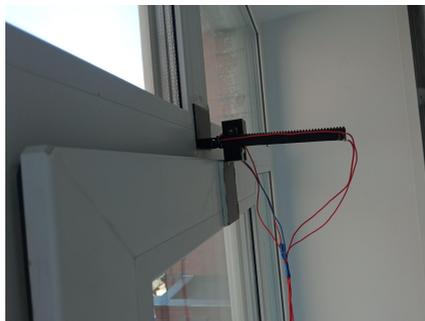


Рисунок 4 — Управляющий механизм, окно в закрытом положении

дача информации между модулем и микроконтроллером происходит посредством протокола UART, при необходимости этот модуль можно заменить на другой, который сможет передавать информацию другим способом, например по радиоканалу. Для регистрации положения створки окна были использованы кнопки, которые могут быть заменены концевыми выключателями. Такой подход к регистрации положения створки является недорогим и простым в использовании, однако при этом нет возможности отслеживать степень открытия створки, что не позволяет настроить более точную работу системы. Для вращения электродвигателя в обе стороны был использован H-мост. Устройство работает от источника постоянного тока на 5В 0.5А. Схема устройства, созданная в программе simulIDE [8], приведена на рисунке 5. Схема, собранная на макетной плате, приведена на рисунке 6.

Программная часть

Программа для микроконтроллера Программа для микроконтроллера была написана на языке программирования Rust [9]. Rust – мультипарадигменный язык программирования общего назначения, сочетающий парадигмы функционального и процедурного программирования с объектной системой, основанной на типажах (trait). При разработке программы были созданы два режима работы: работа

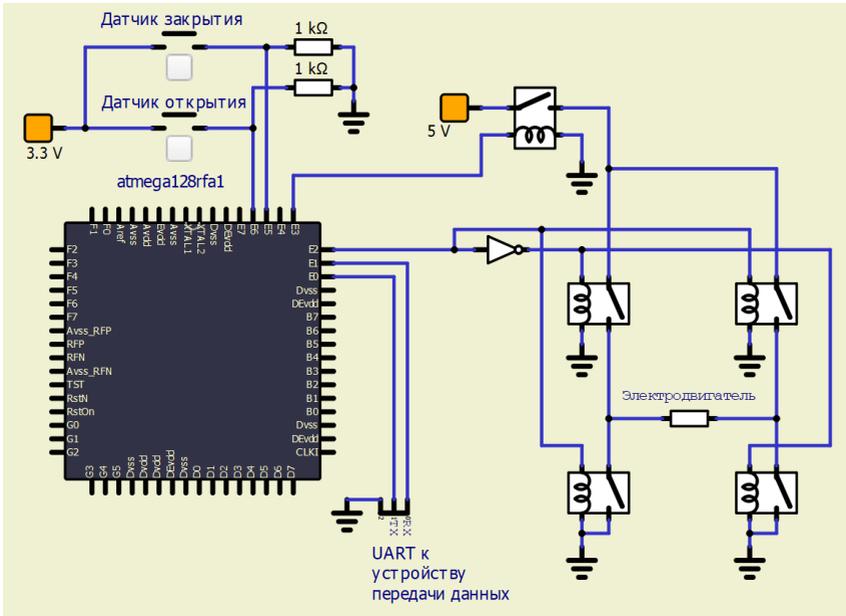


Рисунок 5 — Схема устройства

периодами и по расписанию. При работе периодами устанавливается длительность положения окна в открытом и закрытом состоянии, а при работе по расписанию окно открывается и закрывается в заданное время.

Мобильное приложение Для удобного управления было разработано мобильное приложение. Приложение позволяет узнать информацию о системе и включает в себя функции управления. Для разработки был использован комплект средств разработки Flutter. Flutter - это комплект средств разработки (SDK, software development kit) для кроссплатформенных мобильных приложений, который был создан компанией Google и построен на языке программирования Dart [10]. Dart - это объектно-ориентированный язык программирования, который был создан компанией Google [11]. Созданное мобильное

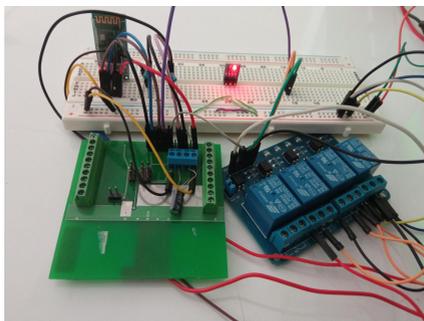


Рисунок 6 — Схема, собранная на макетной плате

приложение может работать под операционными системами Android и iOS.

Передача данных Обмен данными происходит посредством сообщений. Сообщение содержит один или несколько байт, некоторые виды сообщений составлены следующим образом: первый байт обозначает вид действия, а последующие байты содержат в себе необходимую для этого действия информацию. Описание видов сообщений приведено в таблице 1.

Таблица 1 — Описание сообщений

Тип сигнала	Запрос	Ответ
Открыть окно	'o'	без ответа
Закрыть окно	'c'	без ответа
Узнать состояние окна	's'	'o' или 'c' *(1)
Узнать глобальное время	't'	't' + 4 байта *(2)
Установить глобальное время	'u' + 4 байта *(2)	'set_time_ok' или 'set_time_err' *(3)
Установить время для работы периодами	'r' + 8 байт *(4)	'enable_ok' + 'schedule_disabled' или 'enable_err'
Включить работу периодами	'e'	'enable_ok' + 'schedule_disabled' или 'enable_err'
Выключить работу периодами	'd'	'disable_ok'
Узнать время работы периодами	'a'	8 байт *(4)
Установить расписание	'h' + 8 байт *(5)	'schedule_enabled' + 'disable_ok' или 'schedule_err'
Включить работу по расписанию	'enable_schedule'	'schedule_enabled' + 'disable_ok' или 'schedule_err'
Выключить работу по расписанию	'disable_schedule'	'schedule_disabled'
Узнать время работы по расписанию	'b'	8 байт *(5)

- * (1) — 'o' - открыто, 'c' - закрыто
- * (2) — 4 байта - целое беззнаковое число, обозначающее устанавливаемое время в секундах
- * (3) — 'set_time_err' будет отправлено, если устанавливаемое время равно или превышает число 86400 (т.е. больше 23:59:59)
- * (4) — первые 4 байта- время в открытом положении (в секундах), следующие 4 байта - время в закрытом положении (в секундах)
- * (5) — первые 4 байта- время открытия, следующие 4 байта - время закрытия

Заключение

В результате проделанной работы была разработана автоматизированная система проветривания помещения. Применяя разработанную систему в повседневной жизни людей можно улучшить их качество жизни и эффективность труда. Также в качестве возможного улучшения системы можно рассмотреть её интеграцию с существующими системами оповещения о пожаре для автоматического закрывания окон, что позволит препятствовать распространению пожара в здании, тем самым увеличив время для эвакуации людей. Исходный код программы для микроконтроллера и модели частей механизма доступны по адресу – <https://github.com/NikBel3476/avr-window>, а исходный код мобильного приложения по адресу – <https://github.com/NikBel3476/avr-window-bluetooth-mobile>.

Список литературы

1. Программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами : учебное пособие / С.В. Ефимов, М.И. Пушкарев, А.С. Фадеев ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 128 с.
2. Автоматическая система проветривания помещения «Умное окно» [Электронный ресурс] — <https://www.smartwindow-istok.ru> (Дата обращения 15.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. Электрический цепной привод MINGARDI MICROEVO1 [Электронный ресурс] — <https://mingardi.ru/tsepyne-privody/mingardi->

- micro-evo-1.html (Дата обращения 15.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Система с рычагом и направляющей [Электронный ресурс] – <https://aliexpress.ru/item/4000563783947.html> (Дата обращения 16.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный
 5. Документация FreeCAD [Электронный ресурс] – https://wiki.freecadweb.org/Main_Page/ru (Дата обращения: 10.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 6. Спецификация микроконтроллера atmega128rfa1 [Электронный ресурс] – https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8266-MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf (Дата обращения: 10.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 7. Спецификация Bluetooth модуля HC-06 [Электронный ресурс] – <https://static.chipdip.ru/lib/734/DOC021734960.pdf> (Дата обращения 11.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 8. Документация SimulIDE [Электронный ресурс] – <https://www.simulide.com/p/home.html> (Дата обращения: 20.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 9. Официальный сайт языка программирования Rust [Электронный ресурс] – <https://www.rust-lang.org> (Дата обращения: 13.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 10. Сайт SDK Flutter [Электронный ресурс] – <https://flutter.dev> (Дата обращения 08.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
 11. Сайт языка программирования Dart [Электронный ресурс] – <https://dart.dev> (Дата обращения: 13.06.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ROOM VENTILATION SYSTEM

N. V. Belkin

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *nik.belkin.01@yandex.ru*

Раздел II

The article describes the process of developing an automated room ventilation system, which includes a device based on the atmega128rfa1 microcontroller and a mobile application. The existing analogues of the system are considered, the principle of operation of the mechanism and the structure of messages for data exchange with the device are described. The system is designed for domestic use, however, despite this, the proposal is a possible option for further development of the system.

Keywords: automated control system, room ventilation, microcontroller, bluetooth, mobile application.

УДК 699.8:614.8+544+630*3

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ
ПРЕВРАЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО
СТАРЕНИЯ**

А.А. Румянцева

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва
e-mail: *alenarum1996@gmail.com*

Б.Ж. Рахметулин

Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС
Республики Казахстан, Республика Казахстан, г. Кокшетау
e-mail: *b.rahmetulin@mail.ru*

А.Б. Сивенков

Международная ассоциация специалистов пожарной, промышленной
и экологической безопасности, г. Москва
e-mail: *sivenkov01@mail.ru*

В работе изучены физико-химические и термические превращения целлюлозных материалов длительного естественного старения (бумага, древесина). Результаты свидетельствуют о значительной потере химической и термической устойчивости исследуемых материалов в результате естественного старения с протеканием гидролизной дестабилизации лигноуглеводного комплекса, а также нарушении морфологической структуры материала. Показано, что для лигноуглеводных материалов длительного естественного старения характерна аномальная интенсивность процесса обугливания и тепловыделения, а также повышенная склонность к тлеющему горению.

Ключевые слова: бумага, древесина, целлюлоза, лигнин, лигноуглеводный комплекс, естественное старение, инфракрасный спектр, термический анализ, энергия активации, обугливание, тепловыделение, тлеющее горение.

Введение

Изучение специфики поведения различных материалов и конструкций в условиях пожара является важнейшим звеном в сфере обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений различного функционального назначения. По результатам ранее проведенных исследований можно свидетельствовать о том, что одними из наиболее пожароопасных являются материалы на основе целлюлозы, имеющие значительную теплоэнергетическую способность и являющиеся важнейшим видом пожарной нагрузки [1]. Важнейшими факторами, оказывающими влияние на различные свойства материалов, являются срок и условия выдержки в естественных условиях [2, 3]. Срок естественной выдержки материалов на основе древесины и бумаги на различных объектах может исчисляться десятками и даже сотнями лет, что определяет актуальность изучения свойств подобных материалов, а также их термической устойчивости и пожароопасности.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в отношении бумаги различных видов и года выпуска (с 1946 по 2020 год) и древесины хвойной породы сосны (63, 87, 125 и 150 лет естественной выдержки). Для исследования были задействованы ИК-Фурье спектрометр Bruker (в диапазоне частот $4000 \dots 500 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 2 см^{-1}), а также методы термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК) на термовесах ТГА-951 термоанализатора «Du Pont 9900» (среда – воздух, скорость нагрева $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$).

Результаты исследования

По результатам исследования установлено, что в процессе длительного естественного старения в материалах на основе целлюлозы происходят необратимые физико-химические изменения, приводящие к гидролизной дестабилизации состава, структуры и свойств материала, утрате его термической стабильности. Для большинства образцов бумаги установлено снижение плотности бумаги более чем на 20%, что может свидетельствовать о значительных изменениях в структуре материала. Для образцов древесины длительного естественного старения

установлен сложный синусоидальный характер изменения плотности во время эксплуатации.

По результатам анализа ИК-спектров можно сделать вывод о том, что полосы поглощения от 1700 до 4000 см^{-1} характеризуют типичные участки изменения пиковых значений волновых чисел для целлюлозных материалов, особенно в диапазоне 3000 до 3700 см^{-1} . Этот диапазон волновых чисел характеризуется валентными колебаниями гидроксильных групп целлюлозы, вовлеченных внутри – и межмолекулярные связями (3700-3100 см^{-1}), С-Н-связей в метиленовых (2945, 2853, 2914, 2897, 2870, 2970 см^{-1}) и в метиновых группах (3000-2800 см^{-1}). Колебания ароматических фрагментов получены для полос поглощения 1600, 1500 и 875 см^{-1} , полосы при 1267 см^{-1} – валентные колебания группы -С-О-С- и полосы поглощения при 1267 см^{-1} – валентные колебания метиленовых групп, характерных для лигнина. В целом, наблюдается общая картина физико-химических превращений лигноуглеводных компонентов, приводящими к образованию кислотных катализаторов процесса гидролиза и непосредственно гидролизных продуктов. Важнейшая роль в сопровождении деструктивных процессов лигноуглеводной части отводится в данном случае гидролитической деструкции. Известными продуктами гидролитического распада лигноуглеводных комплексов являются такие как: бензальдегид, бензойная кислота, ванилин, фурфурол, этилбензол, а также другие альдегиды, моно- и олигосахариды.

Анализ кривых термического анализа свидетельствует о двухстадийном процессе термоокислительного разложения для всех исследуемых материалов на основе целлюлозы. На начальной стадии до 150-160 $^{\circ}\text{C}$ для всех исследуемых материалов происходит сопоставимая потеря влаги в пределах 4,7...6,2 % (рис. 1, а, б).

Вместе с этим, можно выделить характерные особенности данного процесса для образцов бумаги и древесины. На стадии формирования угольного слоя (150-375 $^{\circ}\text{C}$) для бумаги естественного старения происходит повышение потери массы (до 48 %) со смещением экзотермического пика в низкотемпературную область (рис. 1, а, б). Для образцов древесины наблюдается более ранняя стадия начала потери массы древесины длительного естественного старения (смещение до 30 $^{\circ}\text{C}$), что приводит к снижению скорости потери массы образцов на основной стадии термоокислительного разложения (потери

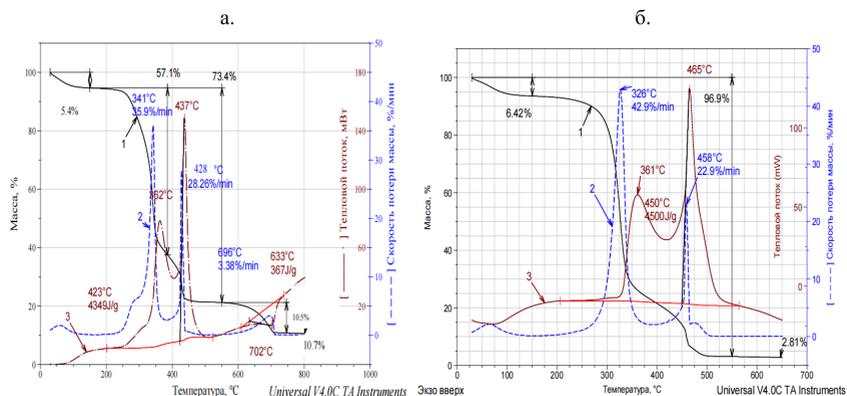


Рисунок 1 — ТГ (1), ДТГ (2) и ДСК (3) кривые: а – образец бумаги (2020 год); б – образец бумаги (1946 год) (атмосфера – воздух, 20 °С/мин)

массы снижается до 35 %) (рис. 2). Различия в характере потери массы для различных материалов на основе целлюлозы связано, по всей видимости, с тем, что в бумаге преобладающим является целлюлозное вещество, а в древесине лигноуглеводный комплекс, имеющий в своем составе до 60 %. По результатам анализа ДСК кривых обнаруживаются общие признаки повышения активности стадии окисления угольного остатка. Так, скорость окисления угольного остатка для образцов древесины со сроком выдержки 150 лет увеличивается в 1,6 раза по сравнению с образцом древесины современной.

Кроме этого, установлена более продолжительная стадия окисления угольного остатка древесины естественного старения на 33 % (рис. 2, 3), что во многом определяет величину тепловыделения материала.

Расчет кинетических параметров осуществлялся по методу Борхардта-Дэниельса по ДСК кривым. Для стадии экзотермического процесса окисления кокса древесины длительного естественного старения на кривых ДТГ и ДСК зафиксировано значительное увеличение скорости потери массы, увеличивается рассчитанный тепловой эффект реакции окисления кокса и скорости тепловыделения термоокислительного процесса (таблица 1).

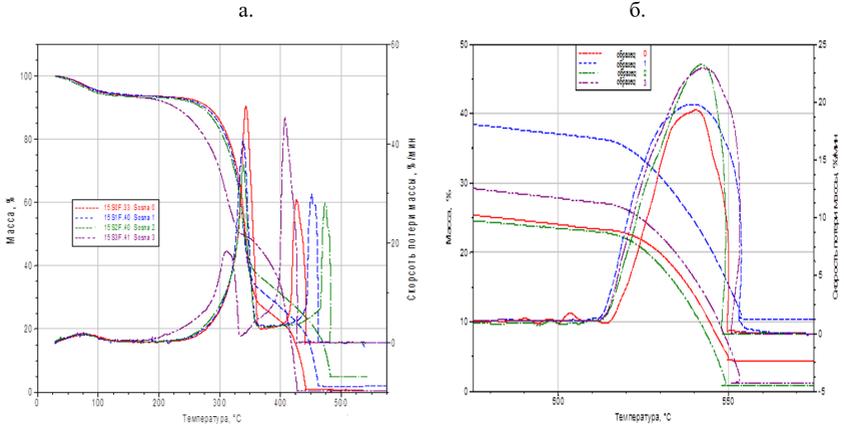


Рисунок 2 – ТГ и ДТГ кривые образцов древесины различного срока эксплуатации в среде воздуха (20 °С/мин): а - температурный интервал 20-500 °С; б - температурный интервал 500-575 °С (образцы: 0 – древесина без естественной выдержки; 1 - срок эксплуатации 63 года; 2 - срок эксплуатации 87 лет; 3 - срок эксплуатации 150 лет)

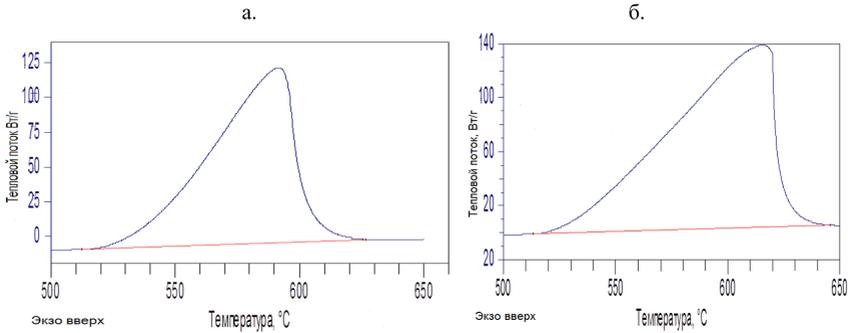


Рисунок 3 – ДСК кривая окисления кокса: а - образец древесины сосны без естественной выдержки; б - образец древесины сосны с естественной выдержкой 150 лет

Раздел II

Таблица 1 — Характеристики процесса окисления кокса для древесины различных сроков естественной выдержки

№ обр.	Расчетный параметр по ДСК кривым				
	Скорость тепловыделения*, Вт/г	Тепловой эффект**, Дж/г	Энергия активации, кДж/моль	Логарифм предэкспоненты, log(1/мин)	Приведенный порядок реакции
0	30.2	15318	331.0	20.15	1
1	28.9	25218	247.9	14.60	1
2	37.3	21580	249.8	14.82	1
3	46.6	22176	240.7	14.23	1

Примечание:

* - скорость тепловыделения отнесена к первоначальной массе образца;

** - тепловой эффект отнесен к массе кокса.

Значения эффективных параметров процесса окисления кокса (энергия активации и логарифм предэкспоненты) указывают на снижение энергетических затрат необходимых для начала реакционно-окислительного процесса. Полученные результаты для образцов бумаги естественного старения также обнаруживают повышение диапазона окислительных реакций угольного остатка на 33-45 %, что фактически является определяющим для возрастания потери массы в интервале температур 150-550 °С на 10-25%, а также снижение величины золы при температуре 650 °С для некоторых образцов до 74 % (образец 1946 года). Для бумаги естественного старения также установлено более продолжительное протекание реакции окисления угольного слоя со смещением этой стадии в область более высоких температур (451-465 °С, сдвиг температурного участка на 5-9%). Для всех образцов, имеющих соответствующую угольную структуру с наличием фрагментов ароматической природы, можно наблюдать заметное повышение значений тепловыделения в интервале температур 150-550 °С (до 47 %), включающего в себя выделение тепла как в газовой, так и в твердой фазе.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о значительной потере химической и термической устойчивости материалов на основе целлюлозы в результате естественного старения с протеканием гидролизной дестабилизации лигноуглеводного комплекса, а также о нарушении морфологической структуры материала. Это во многом определяет аномальную интенсивность процесса обугливания и тепловыделения при горении целлюлозных материалов длительного естественного старения, а также повышенную склонность к тлеющему горению.

Список литературы

1. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B.Zh. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures // Springer Nature Switzerland AG 2023. XVI, 269 p.
2. Заиков Г.Е. Старение, стабилизация и горение полимеров и композитов. О приоритетах в исследованиях // Известия Высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Том 53, выпуск 12. 2010. – С.143-145.
3. G.E. Zaikov, A.L. Buchachenko, V.B. Ivanov Aging of polymers, polymer blends and polymer composites, New York, Nova Science Publ., 2002, Vol. 1. – 258 pp.

PHYSICOCHEMICAL AND THERMAL TRANSFORMATIONS OF CELLULOSE-BASED MATERIALS OF LONG-TERM NATURAL AGEING

A.A. Rumyantseva

National Research Moscow State Construction University, Moscow
e-mail: *alenaarum1996@gmail.com*

B.J. Rakhmetulin

Malik Gabdullin Civil Defence Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan
e-mail: *b.rahmetulin@mail.ru*

A.B. Sivenkov

International Association of Fire, Industrial and Environmental Safety Specialists, Moscow
e-mail: *sivenkov01@mail.ru*

The paper studies physicochemical and thermal transformations of cellulosic materials of long-term natural aging (paper, wood). The results indicate a significant loss of chemical and thermal stability of the studied materials as a result of natural aging with hydrolysis destabilisation of the lignocarbhydrate complex, as well as disruption of the morphological structure of the material. It is shown that lignocarbhydrate materials of long-term natural aging are characterised by abnormal intensity of the charring process and heat release, as well as increased tendency to smouldering combustion.

Keywords: paper, wood, cellulose, lignin, lignocarbon complex, natural ageing, infrared spectrum, thermal analysis, activation energy, charring, heat release, smouldering combustion.

УДК 699.8:614.8+544+630*3

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И СТРУКТУРУ ОБУГЛЕННОГО СЛОЯ

И.О. Федотов

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва

e-mail: ilafedotov367@gmail.com

Ю.К. Нагановский

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, Московская область, г. Балашиха,

e-mail: reut11731@mail.ru

А.Б. Сивенков

Международная ассоциация специалистов пожарной, промышленной и экологической безопасности, г. Москва

e-mail: sivenkov01@mail.ru

В работе установлено влияние различных видов огнезащитных средств (покрытия, антипирены) на особенности термических превращений и структуру обугленного слоя древесины. Показано значительное влияние химической природы соединений, входящих в состав огнезащиты, механизма огнезащитного действия на основные стадии термического разложения древесины, характеристики образующегося угольного слоя, а также его устойчивость к окислению. Обсуждаются вопросы регулирования параметров структуры обугленного слоя древесины, а также снижения интенсивности тлеющего горения материала с использованием средств огнезащиты.

Ключевые слова: древесина, термический анализ, сорбция паров, антипирены, огнезащита, тепловыделение, обугливание, тлеющее горение.

Введение

Во всем мире наблюдается возрастающая тенденция активного развития сферы строительства с применением деревянных конструкций.

Вопросы обеспечения требуемых показателей пожарной опасности и огнестойкости конструкций из древесины являются одними из наиболее важных при обеспечении пожарной безопасности рассматриваемых зданий и сооружений. На практике с целью защиты деревянных конструкций от воздействия пожара наиболее востребованными являются различные способы и виды огнезащиты [1]. Несмотря на многолетнюю историю создания различных технологий огнезащиты для древесины остаются вопросы возможности их применения для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций. В рамках данного направления представляют актуальность вопросы, связанные с изучением влияния природы компонентов, входящих в состав рецептур различных огнезащитных средств, с учетом механизма их огнезащитного действия на особенности термических превращений древесины и характеристики обугленного слоя.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования рассматривались огнезащитные средства с различными механизмами действия, представляющие собой системы на основе классических фосфор-, азот- и борсодержащих антипиренов [2].

Исследования особенностей терморазложения образцов древесины нативной и в присутствии антипиренов проводились с использованием автоматизированной модульной термоаналитической системы (ТАС) «Du Pont 9900», включающей в свой состав термовесы ТГА-951. Навеска образцов изменялась в пределах 5,0-8,0 мг.

Для изучения влияния средств огнезащиты на структуру угольных слоев был использован метод сорбции паров бензола. Метод позволяет оценить характеристики структуры древесных коксов. Образец представлял собой порошок фракции 0,3-0,5 мм после измельчения. В качестве адсорбата использован бензол.

Результаты исследования

Полученные результаты методами термического анализа свидетельствуют о значительном влиянии химической природы средства огнезащиты и механизма его действия на характер термических превращений древесины.

На рис. 1 представлены ТГ и ДТГ кривые образцов нативной древесины и древесины с антипиренами (атмосфера азот до 550 °С – далее воздух, скорость нагревания 20 °С/мин).

Основные этапы терморазложения образцов древесины можно разделить на три характерных интервала (рис. 1, табл. 1):

- первый интервал (до 150 °С) характеризуется удалением влаги в пределах 2,1-7,04 % по массе;

- второй интервал (150-450 °С) является активным этапом термодеструкции материала, который приводит к потере массы образца в пределах 40-68 % в зависимости от вида антипирена. При этом максимальная скорость разложения достигается при температурах в диапазоне 311...358 °С;

- на третьем интервале (выше 450 °С) протекает стадия окисления угольного остатка. Пиковые значения для этой стадии проявляются при температурах выше 590 °С.

Анализ полученных результатов (рис. 1, табл. 1) свидетельствует о двухстадийности процесса термораспада для всех исследуемых образцов. Применение антипиренов, имеющих в своем составе компоненты различной химической природы, в частности Р-, N-, В-содержащие соединения в сочетании с другими функциональными элементами, позволяет за счет реализации механизма их огнезащитного действия расширить температурный диапазон между двумя характеристичными пиками (область температур в диапазоне 300...700 °С). При этом процесс карбонизации древесины в присутствии антипиренов начинается при меньших температурах по сравнению с нативной древесиной, а стадия окисления кокса сдвигается в более высокотемпературную область (рис. 1). Данная классическая схема смещения температурных участков термодеструкции древесины при антипирировании позволяет значительно снизить потерю массы материала как на температурном участке от 150 до 450 °С (снижение до 42 %), так и на температурном участке от 450 до 550 °С (снижение до 36 %). При этом заметно повышается термическая устойчивость угольного слоя к воздействию высоких температур (величина кокса повышается в 35 раз, а величина зольного остатка возрастает в 25 раз). В данном случае огнезащитный эффект антипиренов, имеющих в составе Р, В-содержащие соединения, носит комплексный характер, направленный не только на снижение горючести древесины, но и на повышение термической устойчивости

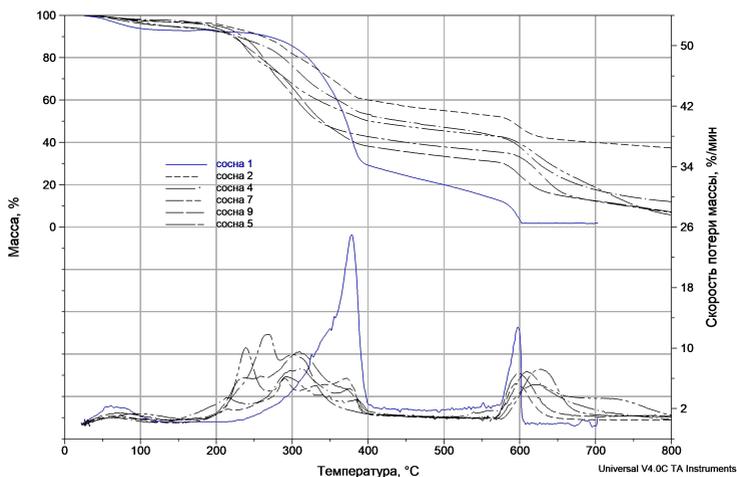


Рисунок 1 — ТГ (1) и ДТГ (2) кривые образцов древесины сосны нативной и с антипиренами (атмосфера азот [550 °C]–воздух, скорость нагревания 20 °C/мин): 1 – сосна нативная; 2 – сосна с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), газообразователей (5 %), фторида натрия (3 %), поверхностно-активных веществ и ароматических полифункциональных компонентов (1,5 %); 3 – сосна с антипиреном на основе полифосфата аммония (30 %), газообразователей (10 %), ароматических полифункциональных компонентов (0,5 %) и термопластичного полимера (10 %); 4 – сосна с антипиреном на основе полифосфата аммония (20 %), газообразователей (10 %), комплекса многоатомных спиртов (20 %) и ароматических полифункциональных компонентов (0,5 %); 5 – сосна с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), низкомолекулярных углеводов (10 %) и многоатомных спиртов (10%); 6 – сосна с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), газообразователей (20%), многоатомных спиртов (19,5) и борсодержащих соединений (0,5%)

образующегося обугленного слоя. Это проявляется как в изменении скорости разложения древесины, так и в экзотермике стадии окисления угольного остатка. Пиковые выходы горючих газов совпадают с максимальными значениями скорости потери массы и тепловых эффектов. Использование фосфорсодержащих соединений в составе антипирена приводит к уменьшению окислительного эффекта угольного остатка, что проявляется в снижении скорости потери массы образца с 30,45 %/мин для нативной древесины до 3,92 %/мин. Максимальная температура окисления угольного слоя в данном случае повышается выше 500 °С. Установлено влияние огнезащитных средств на характеристики структуры образующегося угольного слоя (табл. 2).

Таблица 1 — Результаты термогравиметрического анализа древесины сосны нативной и с нанесением антипиренов (атмосфера азот – воздух, 20 °С/мин)

Номер образца (рис. 1)	Потеря массы (%) в интервале 30...150 °С	Потеря массы (%) в интервале 150...450 °С	Потеря массы (%) в интервале 450...550 °С	Кокс (%) при 550 °С	Зола (%) при 850 °С	ДТГ _{макс} , Т, °С/А, %/мин
1	7.04	68.6	9.4	15.0	1.5 (650)	358/25.0
2	3.1	39.8	4.0	53.1	37.4	215/1.9 291/6.0 370/5.97
3	2.1	48.1	5.4	44.4	10.9	216/3.4 311/7.3 377/4.6
4	3.9	53.6	3.4	39.0	6.2	238/7.0 309/11.9
5	5.99	46.3	4.08	43.5	3.7	239/10.1 293/6.2
6	5.22	59.2	4.14	31.4	4.5	238.6/06 309/9.5

Формированию структуры угольного субстрата способствует состав лигноуглеводного комплекса древесины и выход летучих продуктов разложения, проходящих сквозь смолисто-древесную массу (пиролизат). Очевидно, что определяющую роль в организации структуры угольного слоя играет действие огнезащитных средств, которые де-

Таблица 2 — Характеристики структуры угольных остатков

№ образцов	$a_m, \%$	$V_{\Sigma}, \text{см}^3/\text{г}$	$d_{\text{ср}}, \text{нм}$	$S_{\text{уд}}, \text{м}^2/\text{г}$
1	7.04	68.6	9.4	15.0
2	3.1	39.8	4.0	53.1
3	2.1	48.1	5.4	44.4
4	3.9	53.6	3.4	39.0
5	5.99	46.3	4.08	43.5
6	5.22	59.2	4.14	31.4

Примечание: 7 и 8 образец представляли собой вспучивающуюся систему, включающую в себя: полифосфат аммония, меламин, пентаэритрит в соотношении 3:1:1 с добавлением и без добавления минеральных наполнителей соответственно

стабилизируют процесс терморазложения древесины со смещением основных стадий в смежные температурные области, а также реализуют механизмы коксообразования и интумесценции [1]. Установлено, что некоторые антипилены способствуют повышению удельной поверхности угольного субстрата, по всей видимости, за счет более ранней карбонизации и протеканию процесса дегидратации лигноуглеводного комплекса. Независимо от повышения структурных параметров угольного остатка, наличие в его структуре фосфор- и борсодержащих антипиленовых элементов, обеспечивает возрастание термической устойчивости угольного слоя [3]. Ранее был установлен факт возможного повышения окисляемости древесного кокса за счет применения в составе антипиленов щелочных катализаторов (гидроксидов металла) [4]. При добавлении в состав компонентов, дегидратирующих и карбонизирующих в присутствии кислотных катализаторов, наблюдается снижение показателей структуры угольного остатка за счет частичного заполнения его поверхностной зоны обуглероженными микрофрагментами. При этом нужно отметить положительную динамику снижения степени окисления кокса при использовании механизмов огнезащиты,

оказывающих влияние на морфологию его структуры, а также интенсивность тлеющего горения.

Основные выводы

Результаты исследования свидетельствуют о значительном влиянии на характер термических превращений древесины компонентного состава средств огнезащиты и механизма их действия. Реализация механизмов приводит к снижению термической активности древесного комплекса с заметным спадом скорости потери массы на различных температурных участках. При этом заметно влияние действия различных огнезащитных средств на параметры обугленного слоя древесины. Показана возможность как возрастания структурных показателей карбонизата (до 25 %), так и их снижение (до 43 %) при использовании огнезащиты. Изменение морфологии структуры обугленного слоя в сочетании с действием фосфор-, борсодержащих антипиренов позволяет значительно снизить скорость обугливания древесины (до 0,5-0,6 мм/мин), интенсивность процесса окисления обугленного слоя и тлеющего горения.

Список литературы

1. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B.Zh. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures // Springer Nature Switzerland AG 2023. XVI, 269 p.
2. Fedotov I.O., Khasanova G.Sh., Sivenkov A.B. The efficiency of various fire protectants for wooden structures // Eurasian Chemical-Technological Journal, 2022 г. № 1 (24). С. 33-41.
3. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов // М., Знание, 1981 г. – 64 с.
4. Сивенков А.Б. Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты: диссертация ... доктора технических наук: 02.00.06 / Сивенков Андрей Борисович; [Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН]. Москва, 2015. – 289 с.

**EFFECT OF FIRE RETARDANTS ON THERMAL
TRANSFORMATIONS OF WOOD AND CHARRED LAYER
STRUCTURE**

I.O. Fedotov

Academy of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow
e-mail: *ilafedotov367@gmail.com*

Y.K. Naganovsky

All-Russian Research Institute of Fire Defence of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow Region, Balashikha
e-mail: *reut11731@mail.ru*

A.B. Sivenkov

International Association of Fire, Industrial and Environmental Safety Specialists, Moscow
e-mail: *sivenkov01@mail.ru*

In the work the influence of different types of flame retardants (coatings, flame retardants) on the features of thermal transformations and the structure of the charred layer of wood is established. The significant influence of the chemical nature of compounds included in the composition of flame retardants, the mechanism of flame retardant action on the main stages of thermal decomposition of wood, the characteristics of the formed char layer, as well as its resistance to oxidation is shown. The issues of regulating the structure parameters of the charred wood layer, as well as reducing the intensity of smouldering combustion of the material with the use of flame retardants are discussed.

Keywords: wood, thermal analysis, vapour sorption, flame retardants, fire protection, heat generation, charring, smouldering combustion.

УДК 564.48.01

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОГНЕЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ф.Б. Абдукадиров, М.З. Ботирова, Б.А. Мухамедгалиев
Ташкентский архитектурно-строительный университет, г. Ташкент,
Республика Узбекистан
e-mail: bjd1962@mail.ru

В статье рассматриваются некоторые вопросы снижения горючести синтетических полимерных материалов. Показано, что горючесть полимеров и композиции на их основе обуславливается не только природой полимера, но и составом образующегося газа, а также наличием негорючих продуктов в газовой фазе, линейная зависимость между горючестью и термостойкостью возможна только для полимера близкого строения.

Ключевые слова: горение, термодеструкция, огнезащита, режим горения, модификация, кинетика, терморазложения, огневые испытания, полимер.

Основная часть

Большинство полимеров - органические вещества, которые при температурах выше 500°C воспламеняются и горят. На горючесть полимеров большое влияние оказывают сгораемые наполнители и различные добавки, обычно используемые в пластмассах, присутствие которых в материале может привести к изменению группы возгораемости. Например, из трудносгораемого поливинилхлорида нередко получают сгораемые материалы при применении горючих пластификаторов или других добавок, используемых для улучшения многих эксплуатационных характеристик материала, однако снижающих его огнестойкость [1].

Горение полимеров зависит от кинетических параметров химических процессов, протекающих при горении, а также от коэффициента диффузии горючих летучих веществ из материала в газовую фазу; в которой собственно и развивается горение. Во многих исследованиях гетерогенного горения полимеров и полимерных материалов

указывается на существенную роль диффузии. Среди всех выпускаемых промышленностью полимеров трудногораемых насчитывается не так уж много. К трудногораемым полимерам можно отнести - политетрафторэтилен, поливинилхлорид, фенольные и карбамидоформальдегидные смолы. Пониженная горючесть этих и подобно им по горючести полимеров обусловлена либо обильным выделением при деструкции негорючих летучих продуктов в газовую фазу, либо ускоренным протеканием коксования. При этом в твердой фазе протекают процессы отщепления, сшивания, циклизации и другие способствующие структурированию материала. Как считают некоторые авторы [2], горение полимеров начинается эндотермической стадией деструкции с образованной остатка и горючих газов, затем происходит экзотермическое сгорание этих газов. Выделяющееся тепло частично уносится, а в основном расходуется на термическую деструкцию новой порции полимера. При таком взгляде на горение полимеров ясно видно связь между термическим разложением и горением, термостабильностью и огнестойкостью. Это подтверждается рядом примеров. Так, в работе [3] было установлено, что в ходе высокотемпературного пиролиза макрокинетика процесса хорошо описывается изотермической кинетикой разложения при 290-370°C. В некоторых работах изучалась связь термостабильности полимеров на воздухе с их горючестью.

В работе [2] скорость горения определяли по количеству выделяющегося дыма. Плотность дыма испытывали с помощью фотоэлементов в дымовой камере. Контроль процесса проводили по времени от начала полимера до 70%-ного затемнения в камере. В результате исследований найдена зависимость времени от температуры начала разложения, определенной из дериватограмм.

В общем случае связь между термостойкостью и огнестойкостью нелинейна. Вследствие того, что горючесть полимеров и композиции на их основе обуславливается не только природой полимера, но и составом образующегося газа, а также наличием негорючих продуктов в газовой фазе, линейная зависимость между горючестью и термостойкостью возможна только для полимера близкого строения. Действительно, с увеличением содержания галогена в полимере термостойкость последнего снижается за счет легкости разрыва связей С-Х, а горючесть снижается из-за уменьшения концентрации горючих летучих продуктов в газовой фазе. При самовоспламенении тепловой

природы (тепловой взрыв) подводимое извне тепло быстро распределяется по всему объему системы, которая прогревается до температуры окружающей среды. Начальная разность температур определяет лишь период термической индукции, т. е. время прогрева всей системы до температуры окружающей среды. Однако внешний источник тепла не обязателен, в то же время реакция будет протекать по всему объему системы. Скорость реакции экспоненциально зависит от температуры. Если тепло, выделяемое в результате химической реакции, не успевает отводиться во внешнюю среду, происходит самопроизвольное повышение температуры и самоускорение реакции. Воспламенение начинается в центре системы, где реализуется наихудшие условия теплоотвода. Размер системы, определяющий скорость теплоотвода, имеет существенное значение для режима самовоспламенения. Поскольку реакция протекает во всем объеме, самовоспламенение иногда называют объемным воспламенением. При вынужденном воспламенении размер системы несущественен. Подводимое извне тепло не успевает распределиться по всему объему системы. На участке локального подвода тепла возникает самоускоряющаяся химическая реакция, приводящая к воспламенению. Для возникновения вынужденного воспламенения обязательно наличие внешнего источника воздействия. Воспламенение системы осуществляется только в том случае, когда достигаются условия, при которых возможен стационарный процесс горения. Если такие условия не обеспечены, воспламенение не наблюдается или возникшее пламя не распространяется и гаснет. Последнее условие характерно для вспышки. Специфика физико-химических процессов, обуславливающих возникновение горения различных синтетических полимеров, находит отражение в развитых теориях воспламенения твердых топлив. Важной проблемой является выявление точных количественных критериев воспламенения и определение критических условий возникновения устойчивого горения. Изучение околопредельных явлений формирования и гашения пламени, по-видимому, особенно перспективно для выяснения механизма появления пределов [2]. Возникновение горения синтетических полимеров чаще всего обусловлено их вынужденным воспламенением. В этом случае критические условия воспламенения зависят во многом от свойств источника зажигания. Самовоспламенение и воспламенение цепной природы, т. е. возникновение самоускорения реакции под влиянием активных частиц или

атомов, в чистом виде обнаружены только при низких давлениях в некоторых газообразных системах. В этом случае практически отсутствует разогрев системы за счет химической реакции. Взрывной характер реакции в изотермических условиях представляет редкое явление [1]. Зарождение и возникновение горения обычных синтетических полимеров в тривиальных условиях эксплуатации осуществляется чаще всего в результате газофазного воспламенения горючих продуктов термической и термоокислительной деструкции полимеров. В этом случае особенно важен учет диффузионных явлений, анализ их влияния на развитие самоускорения экзотермических реакций окисления [2]. Для большинства синтетических полимеров нет соответствия между температурами самовоспламенения полимеров и продуктов их пиролиза. Такое соответствие найдено только между температурами самовоспламенения некоторых полимеров таких как полиэтилен, полистирол, полихлоропрен, поливинилхлорид, полиамид и продуктов их термоокислительной деструкции. Следовательно, воспламенение полимеров начинается с интенсивного термического разложения, а само воспламенение обусловлено процессами термической деструкции полимеров и термоокислительной деструкции продуктов термического разложения и поверхностного слоя полимера, поскольку при высоких температурах, особенно на первых стадиях горения, не происходит диффузии окислителя в глубь материала. Обычно поток частично разрушенных, пиролизованных частиц из внутренних слоев материала к поверхности превалирует над потоком активных частиц из пламени и окислителя к свежим, не разрушенным слоям полимерного материала [1].

Деление на пространственные зоны целесообразно проводить с учетом особенностей процессов, протекающих в той или иной зоне и значительно различающихся по механизму. По этому принципу можно выделить процессы, протекающие в твердой фазе, где осуществляется «подготовка» материала к горению, и процессы, протекающие в газовой фазе, где распространяется пламя. Поскольку при воздействии источника тепла или пламени на полимерный материал нагревание и деструкция во внутренних и поверхностных слоях полимера происходят по-разному, имеет смысл выделить эти две зоны.

Авторы [1], указывают на необходимость изучения процессов, происходящих в газовой фазе разбив ее на три пространственные зоны.

Таким образом, для более полного исследования всех процессов целесообразно рассматривать пять пространственных зон горения. Первая зона включает в себя слои полимерного материала, прилежащие к поверхностному слою. В ней протекает пиролиз при довольно незначительной доле процессов окисления. Вторая зона - поверхностный слой полимера, который подвергается термоокислительной деструкции. В процессе взаимодействия активных частиц пламени с поверхностью полимерного материала возможны "активация" поверхностных слоев и "коррозия" материала.

В третьей зоне (газообразной, предпламенной) низкомолекулярные продукты, образующиеся в первых двух зонах, смешиваются с нагретым воздухом, разлагаясь и окисляясь под воздействием кислорода или свободных радикалов, диффундирующих из пламени. Четвертая зона (зона пламени) начинается в месте, где имеется достаточная для распространения пламени концентрация продуктов разложения, где выделяется основная часть тепловой энергии и наблюдается максимальная температура и световая эмиссия. Пятая зона - зона продуктов сгорания или догорания, где завершается большинство окислительных реакций, продукты реакции смешиваются с холодным, окружающим воздухом, а выделяющаяся тепловая энергия вместе с соответствующей энергией из зоны пламени поступает к еще неповрежденным участкам полимера за счет конвекции и излучения. Горение полимеров и композиции на их основе можно разделить на четыре или пять временных стадий, относящихся к нагреву, деструкции, воспламенению и горению [1]. На первой стадии происходит взаимодействие источника горения с материалом, вырождающееся в большинстве случаев в нагревании материала, степень и скорость которого зависят от теплопроводности материала, скрытой теплоты его плавления или испарения, теплоемкости примесных добавок, от характера источника горения. При этом нагревание сопровождается воздействием на материалы светового импульса, активных частиц пламени или ионизированного газа. Если "активация" поверхности сопровождается экзотермическими эффектами, возрастает вероятность самовоспламенения материала. Вследствие дальнейшего развития первичных и химических процессов полимер деструктурирует (вторая временная стадия). Скорость этой стадии зависит от многих причин, например, от числа слабых связей, наличия веществ, которые могут служить катализаторами или ингибиторами процесса

деструкции и т.д. Некоторые авторы [2] делят вторую временную стадию на две: деструкцию и разложение, - хотя физический смысл такого деления не ясен, так как разложение уже включает процессы, относящиеся к деструкции полимеров и композиции. Иногда делается оговорка, что процесс деструкции, относится только к полимеру, процесс же разложения - к полимеру и к продуктам деструкции в третьей зоне, причем разложению свойственно разрушение главных связей, а деструкции - в основном слабых связей. Скорость деструкции, или разложения, зависит от температуры, скорости подвода энергии от источника горения, суммарной теплоты и условий горения. В процессе разрушения полимера на стадии деструкции образуются продукты, которые представляют собой в последних трех зонах горючие и негорючие газы, дым, а в первой и второй зонах - жидкости и твердое тело (кокс). Стадия воспламенения (третья стадия) характеризуется температурой воспламенения образовавшихся при деструкции соединений, температурой отходящих газов, концентрациями горючих газов и окислителя, необходимыми для воспламенения и горения. При наличии этих условий на границе предпламенной зоны и зоны пламени возникает пламя. Пламя распространяется в определенной области, называемой фронтом пламени или волной горения [1]. Стадия горения (четвёртая стадия) может развиваться в том случае, если выделяется избыток тепловой энергии и достаточное количество ее поступает в зону деструкции и предпламенную зону, кроме того, если в зоне горения существует достаточная концентрация горючих веществ и окислителя. В большинстве случаев при горении синтетических полимеров и композиции на их основа горючие продукты деструкции и разложения разбавляются негорючими продуктами, а также частицами, ингибирующими горение.

Список литературы

1. Миркамилов Т.М., Мухамедгалиев Б.А. Полимерные антипирены. Т.ТГТУ, 1996 г. - с. 278.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.Химия. 1982 г. - с. 175.
3. Берлин Ал.Ал., Халтуринский Н.А. Горючесть полимеров. М.Химия. 1998 г. - с. 234.

**PARTICULARITIES OF THE MECHANISM OF THE
COMBUSTION POLYMERIC MATERIAL**

F.B. Abdukadirov, M.Z. Botirova, B.A. Mukhamedgaliev

Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Republic of
Uzbekistan, Tashkent

e-mail: *bjd1962@mail.ru*

In article are considered some questions of the reduction to combustibility synthetic polymeric material. It is shown that combustibility polymer and compositions on their base not only nature of the polymer, but also composition preparing gas, as well as presence of the incombustible products in gas phase, linear dependency between combustibility and thermostabilisation possible only for polymer of the close construction.

Keywords: combustion, thermo destruction, fire-retardant, mode of the combustion, modification, kinetics, fire test, polymer.

УДК 564.48.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ФОСФОНИЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ

Ф.Б. Абдукадиров, Б.Х. Мирзахмедов, М.З. Ботирова, Б.А.

Мухамедгалиев

Ташкентский архитектурно-строительный университет, г. Ташкент,

Республика Узбекистан

e-mail: bjd1962@mail.ru

Синтезированы новые фосфониевые полимеры на основе фосфорсодержащих соединений с некоторыми галогенсодержащими мономерами. В результате проведенных исследований была выявлена связь физико-химических свойств полимеров с их горючестью и коксуемостью.

Ключевые слова: полимер, термдеструкция, горение, огнестойкость, коксуемость, кристалличность, энергия когезии.

Основная часть

В настоящее время благодаря стремительному развитию производства полимерных материалов и широкому применению материалов на их основе, ущерб, наносимый пожаром жизни человека, стал проблемой первостепенной важности. Развитие новой техники невозможно без использования полимерных материалов, в особенности материалов с пониженной горючестью [1].

Трудногораемые полимерные материалы находят применение в строительстве, в машиностроении, на транспорте, в космической технике. К огнестойкости конструкции из этих материалов предъявляются повышенные требования: они должны в течение достаточно длительного времени сохранять эксплуатационные свойства в условиях пожара [2].

В настоящее время стало известно много соединений, замедляющих горение и практически не меняющих конструктивные свойства материалов. Однако они представляют собой низкомолекулярные соединения, которым свойственны такие недостатки, как склонность к миграции и выпотеванию из защищаемого материала, экстракция

водой, низкая совместимость с полимером и другие, устранение которых возможно только применением огнезащитных составов полимерной природы [3].

В этом аспекте представляло интерес исследование огнезащитных свойств синтезированных нами полимерных антипиренов, полученных на основе взаимодействия галоидсодержащих мономеров с трифенилфосфином и трифенилфосфитом, содержащих в своем составе наряду с атомом фосфора и галогены.

Фосфорсодержащие соединения относят к основным или первичным замедлителям горения и многие из них являются антипиренами общего назначения. Кроме того, для снижения горючести полимерных материалов целесообразно применение смеси антипиренов. Огнезащитные составы обычно содержат основные замедлители горения и синергисты - вещества, усиливающие их действие (галогены, металлы и их оксиды).

В настоящем разделе приведены результаты исследования антипирюющих свойств синтезированных нами фосфорсодержащих полимеров, свойства и механизма действия синтезированных полимерных антипиренов.

Действие фосфорсодержащих антипиренов проявляется в твердой фазе (в зоне пиролиза и поверхностной зоне), в которой они играют роль ингибиторов термоокисления и катализаторов коксования [4].

Анализ большого числа экспериментальных и теоретических данных по снижению горючести полимеров [5], дает возможность приблизиться к пониманию фундаментальных аспектов этого явления.

В этом контексте нами были исследованы физико-химические свойства (температура разложения материалов) синтезированных полимерных антипиренов, поскольку, зная их, можно приближенно определить степень участия этих антипиренов в процессах, протекающих в зоне пиролиза и в поверхностной зоне горения материала. Высокая эффективность ингибирования горения достигается при правильном подборе и введений в защищаемый материал тех или иных антипиренов, их совместимостью, растворимостью, температурами плавления, разложения антипирена, а также температурами разложения материалов.

В таблице 1, приведены некоторые свойства синтезированных полимерных антипиренов.

Таблица 1 – Некоторые свойства полимерных антипиренов

Полимер	Содержание, %		Т _{пл} , °С	Плотность, г/см ³	Молекулярная масса
	Р	Галогена			
ЭХГ:ТФФ	8,74	14,60	155	1,399	51*10 ⁴
ЭХГ:ТФФИТ	6,80	10,01	146	1,374	44*10 ⁴
МАХ:ТФФ	8,07	20,82	178	1,309	34*10 ⁴
МАХ:ТФФИТ	10,01	15,17	158	1,420	30*10 ⁴
АБ:ТФФ	7,44	22,14	149	1,380	14*10 ⁴
ПВ:ТФФ	8,07	19,89	169	1,369	20*10 ⁴

Известно [5], что между теплотой сгорания, теплотой образования и энергией связи существует функциональная зависимость. Теплота сгорания, кислородные индексы и показатели возгораемости взаимосвязаны, причем в некоторых случаях возможно симбатное изменение удельной теплоты сгорания и показателей возгораемости или обратных значений кислородных индексов.

Для удобства введем понятие энергоемкости средней связи, которая определяется по формуле:

$$q = \frac{\Delta H_{\text{сг}}}{e} \quad (1)$$

где $H_{\text{сг}}$ - теплота сгорания полимера; e - число связей в полимере. Пользуясь известными уравнениями [5], можно показать, что энергоемкость средней связи симбатно меняется с изменением суммы энергии связи в полимере или энергии средней связи, равной $D_{\text{св}}$

$$D_{\text{св}} = \frac{D_{\text{св}}}{e} \quad (2)$$

Следовательно, значение $D_{\text{св}}$ можно использовать для приближенной оценки затрат на разрушение связей в полимерных антипиренах, поскольку обычно для сопоставления термостабильности и в ряде слу-

чаев огнестойкости полимеров непосредственно используют значения энергии связей.

Согласно литературным [4] [5], экспериментальным и расчетным данным можно полагать, что введение синтезированных нами высокомолекулярных антипиренов в состав промышленных полимеров можно уменьшить их горючесть и повысить предел огнестойкости.

Известно [5], что существенное влияние на диффузионные процессы оказывает физическая структура полимера и такие свойства, как плотность, кристалличность, растворимость, набухаемость и другие, которые являются проявлениями физической структуры. Физическая структура обусловлена химическим строением полимера, его составом и способом получения, она зависит от сил межмолекулярного взаимодействия и представляет собой наиболее выгодное по плотности упаковки образование из макромолекул в данных условиях.

В результате проведенных исследований была выявлена связь физико-химических свойств полимеров с их горючестью и коксуемостью (рис. 1 и 2). Как видно из рис. 1. изменение горючести и молекулярной массы полимерных антипиренов происходит симбатно. На рис. 2. приведена зависимость потерь массы при горении полимерных антипиренов от плотности. Аналогичные сопоставления можно провести между энергиями когезии [6] и коксовыми числами полимеров (табл. 2). При вычислении параметра растворимости обычно используют степень набухаемости, представляющего собой функцию энергии когезии. Наименьшие значения энергии когезии приходится на алифатические группы, причем они еще меньше для узлов разветвления.

Представляет интерес тот факт, что в ряду галогенсодержащих групп энергия когезии уменьшается при переходе от Вг к Сl, что соответствует изменению горючести в этом ряду. Так, известно, что присутствие брома в полимере более эффективно содействует уменьшению горючести, чем такое же количество хлора.

Из этих сравнений следует, что введением в защищаемый полимер ароматических, галоген - и фосфорсодержащих групп коксовые числа увеличиваются. Наличие в полимерах фосфора способствует структурированию и увеличению выхода кокса. Это можно объяснить образованием на поверхности материалов минеральных поверхностных слоев, что и является причиной снижения их горючести.

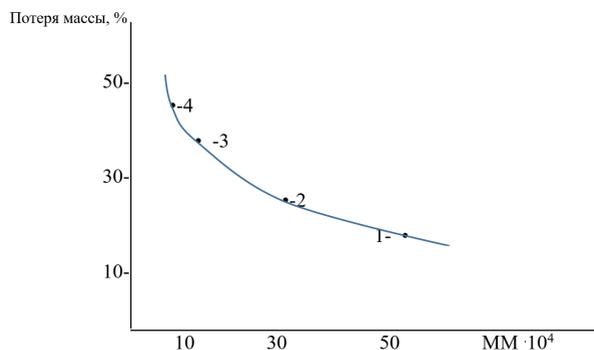


Рисунок 1 — Зависимость потери массы при горении от молекулярной массы. 1-полимер на основе ЭХГ:ТФФ; 2-полимер на основе МАХ:ТФФ; 3-полимер на основе ЭХГ:ТФФИТ; 4-полимер на основе МАХ:ТФФИТ

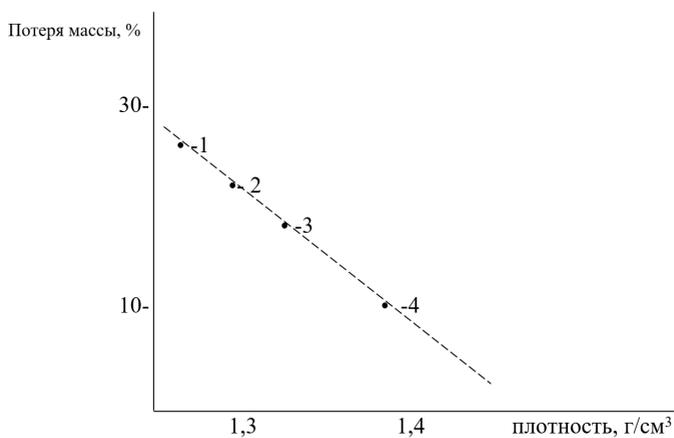


Рисунок 2 — Зависимость потери массы при горении от плотности 1-полимер на основе ЭХГ:ТФФ; 2-полимер на основе МАХ:ТФФ; 3-полимер на основе ЭХГ:ТФФИТ; 4-полимер на основе МАХ:ТФФИТ

Таблица 2 — Зависимость энергии когезии и коксового числа полимеров

№№	Фосфорсодержащий полимер, синтезированный на основе	Группа	Энергия когезии, кДж/моль	Коксовое число, %.
1.	ЭХГ:ТФФ	-С-О-,Cl	155	1,399
2.	МАХ:ТФФ	-СН(СН)-,Cl	146	1,374
3.	ЭХГ:ТФФИТ	-С-О-,Cl,О-Р	178	1,309
4.	МАХ:ТФФИТ	-СН(СН)-,Cl,О-Р	158	1,420

Список литературы

1. Лалаян В.М., Скраливецкая М.С., Берлин Ал.Ал. Исследование теплофизических параметров горения полимерных материалов. //Тезисы докл. МНТК «Полимерные материалы пониженной горючести». -Волгоград, 1998. -с.18-20.
2. Fenimor J., Jonson F. The calculation Fire Rethardant and Requirements of Polymer matherials and Composite Materials //J.Pol.Sciens.-1982. -№4.-р.421-423.
3. Шаталов Э.В.,Журко А.В. О повышении огнестойкости текстильных материалов с дискретными полимерными покрытиями // Известия ВУЗов, серия “Химия и хим.технология” –2002. №5.-с.41-46
4. Попова Т.В., Халтуринский Н.А. и др. Особенности применения полимерных антипиренов. //Тезисы докл. МНТК «Полимерные материалы пониженной горючести». -Волгоград, 2003. -с.32-33.
5. Лалаян В.М., Берлин Ал.Ал. и др. Влияние диффузии на процесс горения полимерных материалов. //Тезисы докл. МНТК «Полимерные материалы пониженной горючести». -Волгоград, 2000. -с.91-92.

6. Мухамедгалиев Б.А., Абдукадиров Ф.Б. Полимерные антипирены. Ташкент, ТАСИ, 2022 г. С.189.

INVESTIGATION OF FIREPROOF PROPERTIES OF SYNTHETIZED PHOSPHONIUM POLYMERS

F.B. Abdukadirov, B.Kh. Mirzakhmedov, M.Z. Botirova, B.A. Mukhamedgaliev

Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Republic of Uzbekistan, Tashkent

e-mail: *bjd1962@mail.ru*

New phosphonium polymers based on phosphorus-containing compounds with some halogen-containing monomers have been synthesized. As a result of the research, a relationship was revealed between the physicochemical properties of polymers and their combustibility and coking ability.

Keywords: polymer, thermal degradation, combustion, fire resistance, coking capacity, crystallinity, cohesion energy.

УДК 564.48.01

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРОВ

М.З. Ботирова, Б.А. Мухамедгалиев

Ташкентский архитектурно-строительный университет, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

e-mail: *bjd1962@mail.ru*

В статье рассмотрены некоторые возможности синтеза новых огнезащитных составов на основе отходов химической промышленности. Выявлены кинетические закономерности и механизм процесса синтеза олигомерных огнезащитных составов.

Ключевые слова: горение, синтез, огнезащитный состав, полимеризация, отход, химическая промышленность, поликонденсация.

Основная часть

В настоящее время стало известно много соединений, замедляющих горение и практически не меняющих конструктивные свойства материалов [1]. Однако они представляют собой низкомолекулярные соединения, которым свойственны такие недостатки, как склонность к миграции и выпотеванию из защищаемого материала, экстракция водой, низкая совместимость с полимером и другие, устранение которых возможно только применением огнезащитных составов полимерной природы [2].

Наиболее перспективными высокомолекулярными соединениями такого типа являются полимеры, содержащие в своем составе фосфор- и азотсодержащие функциональные группы [3].

В этом плане, нами проведены исследования по синтезу и разработке технологии получения фосфорсодержащих полимеров на основе эпихлоргидрина (ЭХГ) с фосфорсодержащими соединениями, полученными на основе отходов ОАО «Максам-Аммофос», аналогично фосфоритам Центральных Кызылкумов т.к. из литературы известно, что эпихлоргидрин легко вступает в реакцию электрофильного замещения

поликонденсации ЭХГ:ФК по изменению приведенной вязкости системы и по результатам значений кислотного числа продуктов поликонденсации (рис.2).

Данными исследований показано, что скорость реакции поликонденсации зависит от температуры. В изученном интервале температур (343-363К) – наибольшая скорость реакции наблюдается при 363К. Зависимость степени превращения от продолжительности реакции поликонденсации ЭХГ и ФК представлена на рис. 3. Из приведенных результатов видно, что с течением времени степень поликонденсации пропорционально возрастает.

Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов [4] показала, что кинетические кривые наилучшим образом согласуются в координатах $\frac{1}{1-P} - \tau$ от $P=0,8$ до окончания реакции. Это позволило сделать заключение, что во всех изученных случаях кинетические данные лучше описываются уравнением второго порядка. На основании температурной зависимости процесса поликонденсации определена его энергия активации, она составляет 29,6 кДж/моль.

Продукты реакции представляют собой очень вязкие неокрашенные либо окрашенные в янтарный цвет жидкости, их физико-химические характеристики и условия поликонденсации приведены в таблице 1.

Результаты ИК -, ПМР - и УФ-спектроскопических исследований и элементного анализа, потенциометрического титрования свидетельствуют о том, что полученные продукты являются линейным полимером. Для выяснения характера взаимодействия фосфористой кислоты с вышеуказанным мономером были исследованы УФ-, ИК-спектры исходных и конечных продуктов, а также ПМР-спектры исходных соединений (рис.4-6).

ИК-спектроскопическим исследованием установлено наличие поглощения при частотах 760-730, 1100, 1400, 1500, 1965 см^{-1} характерное для С-О-Р связей, а также валентное колебание гидроксильных групп при частотах 2500, 3020 см^{-1} . Выявлено также, что в ИК-спектре полимера (рис. 6, спектр 3), полученного на основе взаимодействия фосфористой кислоты с ЭХГ, полоса, отвечающая валентным колебаниям С-Сl связи, смещена в низкочастотную область до 1350 см^{-1} , по сравнению с таковой в спектре отхода. Валентное колебание С-Сl – связи (850-800 см^{-1}), относящейся к группе ЭХГ, исчезает за счет образования новой химической ОН - связи в области 2500 и 3020 см^{-1} .

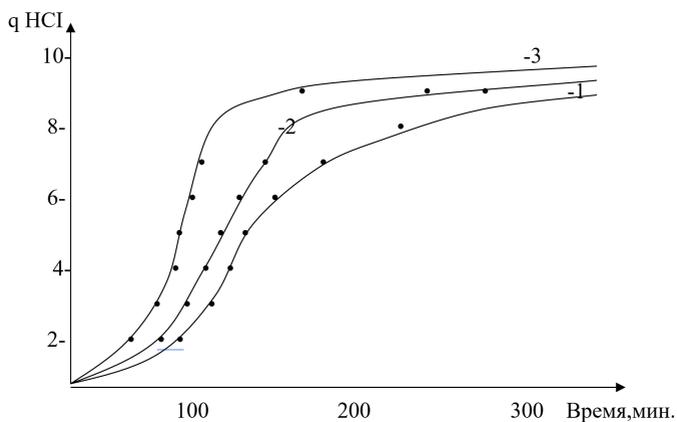


Рисунок 1 — Зависимость количества, выделенного HCl от продолжительности поликонденсации ЭХГ с ФК при различных температурах: 343 (1), 353 (2), 363 (3)

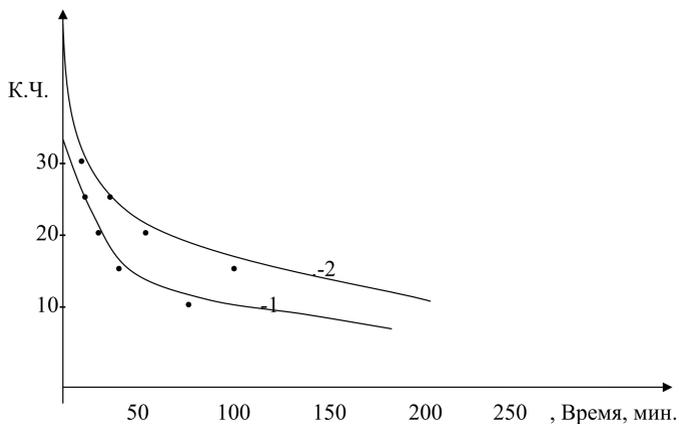


Рисунок 2 — Зависимость кислотного числа от продолжительности поликонденсации ЭХГ с ФК при температуре: 1-343К, 2-363К

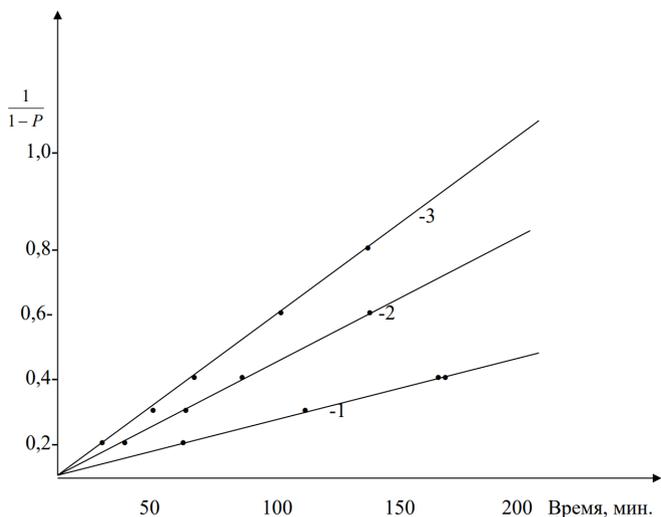


Рисунок 3 — Зависимость степени превращения от продолжительности поликонденсации при различных температурах: 1-343К, 2-353К, 3-363К

При этом, также образуются новые интенсивные полосы поглощения в области $1050-1100\text{см}^{-1}$, относящиеся к асимметричным колебаниям эфирной связи (-C-O-P-) за счет раскрытия эпокси группы ($1250, 930\text{ см}^{-1}$) ЭХГ в процессе взаимодействия с фосфористой кислотой. Для качественной оценки и характеристики был использован также метод ПМР-спектроскопии высокого разрешения в растворе дейтерированного метанола (рис.5).

Исследование влияния температуры на скорость взаимодействия фосфористой кислоты с ЭХГ показало, что повышение ее на 10°C увеличивает скорость процесса в 3 раза и ее зависимость от обратного значения температуры полностью подчиняется уравнению Аррениуса (табл.2).

Установлено, что исследуемая реакция протекает в соответствии с кинетическим уравнением второго порядка, таким образом, скорость реакции пропорциональна концентрациям эпихлоргидрина

Раздел II

Таблица 1 — Зависимость выхода полимера от условий проведения процесса (T=323K)

NN п/п	Среда	Мольное соотношение ЭХГ:ФК	Продолжи- тельность процесса, ч	Выход, %	η пр. 0,5% Раствора, дл/г
1	Этанол	1:1	10	62,0	0,6
2	Ацетон	1:1	10	12,6	0,1
3	ТГФ	1:1	10	7,5	0,1
4	В массе	5:1	6	59,5	0,2

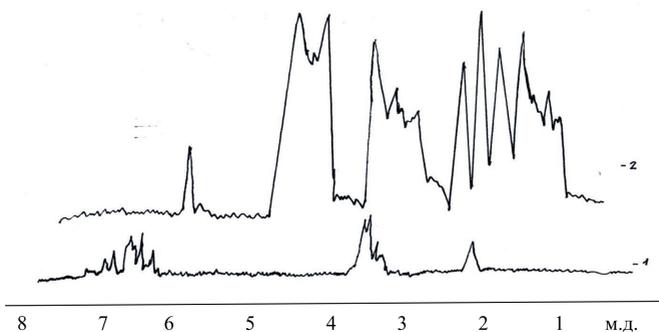


Рисунок 4 — ПМР- спектры: 1-фосфористая кислота, 2-эпихлоргидрин

и фосфористой кислоты в первой степени. По методу наименьших квадратов рассчитаны параметры уравнений, на основе которых определены энергия активации и термодинамические параметры реакции поликонденсации. Полученные значения указанных величин представлены в таблице 2.

Фосфористой кислотой, полученной на основе фосфор-азотсодержащих отходов ОАО «Максам-Аммофос», рассчитаны

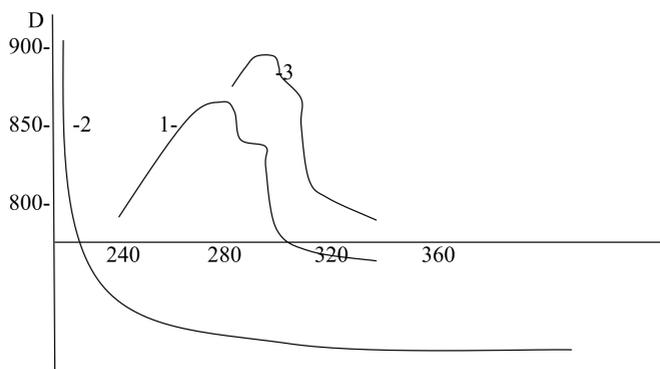


Рисунок 5 — УФ- спектры: 1-фосфористая кислота, 2-эпихлоргидрин, 3-олигомер

Таблица 2 — Активационные и термодинамические параметры реакции поликонденсации эпихлоргидрина с фосфористой кислотой

Среда	Средняя константа скорости реакции, $K_{ср} \cdot 10^{-3}$, л/моль с	$E_{акт.}$, кДж/моль	ΔH^* , кДж/моль	$-\Delta S^*$, кДж/(моль град)
В массе	0,258	110,32	102,4	48,4
Этанол	0,254	88,45	89,6	86,4

значения энергии активации, некоторые термодинамические параметры самопроизвольного процесса поликонденсации.

Таким образом, нами изучены возможности протекания процесса поликонденсации эпихлоргидрина с ортофосфорной кислотой, полученной на основе отходов ОАО «Максам-Аммофос», выявлены кинетические закономерности процесса.

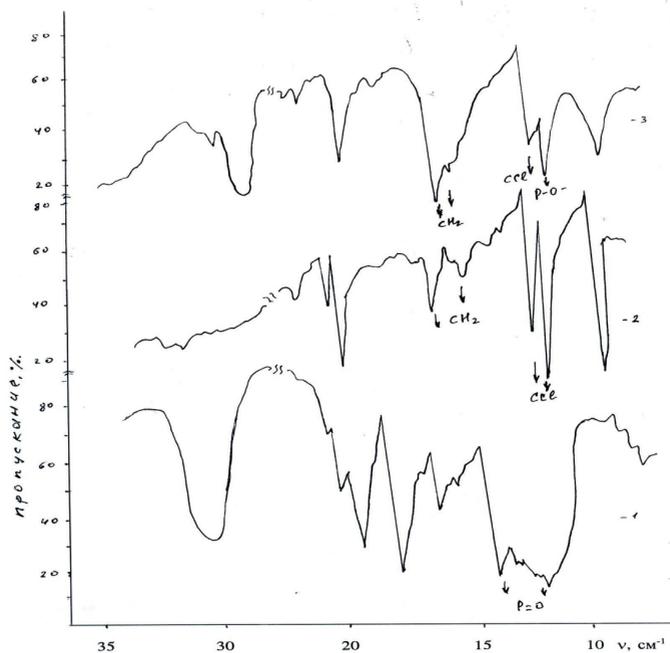


Рисунок 6 — ИК-спектры: 1-фосфористая кислота, 2-эпихлоргидрин, 3-олигомер

Список литературы

1. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. —М.:ХИМИЯ, 1982.-230 С.
2. Мухамедгалиев Б.А. Абдукадиров Ф.Б. Полимерные антипирены. — Ташкент. ГАСИ, 2022 г., -278 С.
3. Кодолов В.И. Огнезащита древесины. -М.:ХИМИЯ, 1978.-268 С.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии: Учеб. Пособие для хим.-технол. спец. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш.шк., 1985. — С. 327-328.

**POLYMERIC FIRE-RETARDANTS COMPOSITION ON
BASE OF THE DEPARTURE TO CHEMICAL INDUSTRY**

M.Z. botirova, B.A. Mukhamedgaliev

Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Republic of
Uzbekistan, Tashkent

e-mail: *bjd1962@mail.ru*

Some possibilities of the syntheses new fire-retardants composition are considered In article on base departure to chemical industry. The kinetic regularities and mechanism of the process of the syntheses oligomers fire-retardants composition will revealed.

Keywords: combustion, syntheses, fire-retardants composition, polymerization, departure, chemical industry, polycondensation.

УДК 004.94, 681.6., 004.356.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Кривова

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: *krivovaav@mail.ru*

В статье рассмотрено использование топологической оптимизации совместно с аддитивными технологиями.

Ключевые слова: аддитивные технологии; БПЛА; 3д печать.

Введение

В современном мире возрастает потребность в эффективных методах и технологиях для прототипирования корпусов и компонентов беспилотных летательных аппаратов. Аддитивное производство предоставляет уникальные возможности в этой области.

В настоящее время все большее внимание специалистов привлекает возможность изготовления различных изделий с помощью технологии 3д-печати. Публикуется немалое количество материалов, в которых утверждается преимущество этой технологии над многими традиционными методами изготовления корпусов и деталей. Сам процесс изготовления не является основной проблемой, поскольку на данный момент эта технология доступна.

Описание предметной области

Методы топологической оптимизации представляют собой инновационный подход к проектированию и оптимизации структуры объектов. В области аддитивных технологий эти методы нашли широкое применение благодаря своей способности создавать оптимальные формы, которые обеспечивают максимальную прочность и эффективность при минимальном использовании материала.

Актуальность: в современном мире возрастает потребность в эффективных методах и технологиях для прототипирования корпусов

и компонентов беспилотных летательных аппаратов. Аддитивное производство предоставляет уникальные возможности в этой области.

Цель: рассмотреть методы топологической оптимизации в области технологии аддитивного производства.

Современные средства проектирования позволяют не только прогнозировать степень деформации детали, но и оптимизировать ее, в соответствии с заданными рамками массы и прочности. В общем случае, подготавливается модель-заготовка, из которой в дальнейшем удаляется лишний материал. Этот процесс носит название топологической оптимизации. Еще один термин, часто употребляемый в данном контексте - «генеративный дизайн», он обозначает проектирование, частично выполняемое программными алгоритмами. Результатом топологической оптимизации является сложная структура, на основе которой формируется модель детали для производства. Такая деталь обладает требуемой прочностью при минимальной массе, но сложна в изготовлении традиционными способами, оптимальным будет аддитивное производство.

Топологическая оптимизация применима во многих областях, но отдельно стоит выделить область беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА).

Топологическая оптимизация является мощным инструментом для разработки и производства БПЛА. Она позволяет значительно уменьшить вес конструкции, что имеет ряд значимых преимуществ. Во-первых, уменьшение веса позволяет улучшить энергоэффективность БПЛА, что приводит к увеличению времени полета и дальности действия. Во-вторых, для производства и прототипирования требуется меньше материала, что ведет к снижению затрат и экономии ресурсов.

Инструменты

Основная задача использования топологической оптимизации - снижения массы и стоимости изделий без потери их прочности. Новая и весьма актуальная технология, известная как топологическая оптимизация, используется для снижения массы деталей без ухудшения их функциональных свойств. Компания "СПУТНИКС" являющаяся одним из лидеров в космической индустрии, была одной из первых, кто применил эту технологию в своих разработках. На рисунке 1 и 2 представлен пример применения топологической оптимизации.

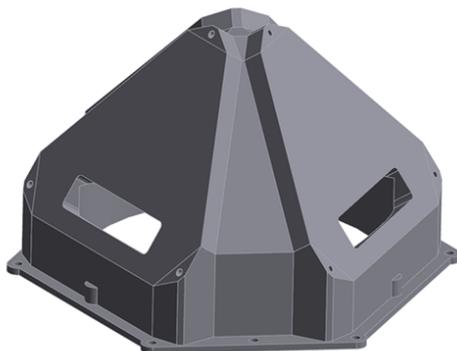


Рисунок 1 — Деталь до применения оптимизации топологии

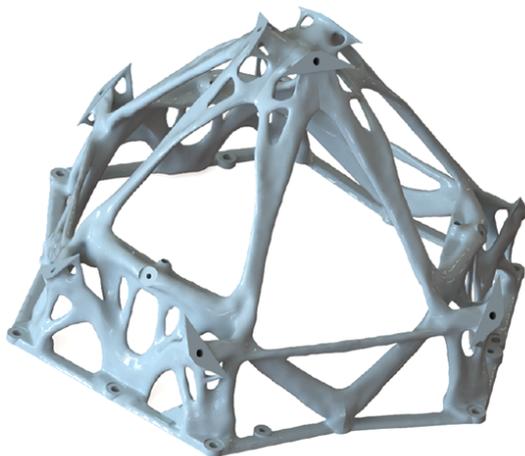


Рисунок 2 — Деталь после применения оптимизации топологии

На рынке присутствует значительное количество программных продуктов, посредством которых можно производить расчеты по

топологической оптимизации. Как правило, эту функциональность предоставляют пакеты, производящие моделирование деформаций и прочностные расчеты. Программа позволяет инженерам указывать нагрузки и условия оптимизации, например, наилучшее отношение жесткости к массе, а затем запускать исследование топологии. По завершении процесса, для подготовки к производству, выполняется сглаживание сетки оптимизированной детали. Были рассмотрены несколько программ с такими функциями и выделены особенности каждой:

1) Компас 3D:

Топологическая оптимизация выполняется при помощи модуля АРМ FEM, который изначально предназначался для проведения расчетов на прочность, устойчивость, деформации, напряжения и другие механические характеристики деталей и сборок. Возможность использования топологической оптимизации появилась в 18 версии программы вместе с глобальными нововведениями. Для некоторых значительным плюсом можно выделить, что это отечественное программное обеспечение. В целом Компас 3D прост в освоении.

2) Autodesk Fusion:

Выделяется тем, что это облачная платформа для проектирования, инженерных расчетов и подготовки к производству. В максимальной подписке, которая называется Ultimate, доступен модуль Advanced Simulation. Он отвечает за моделирование деформаций, работу с анизотропными материалами и оптимизацию топологии - Shape optimization.

3) Autodesk Netfabb:

Программа Autodesk Netfabb Ultimate широко известна среди пользователей 3D-принтеров как удобное средство для "ремонта" сетки и разделения модели на части. Однако функциональность Netfabb года гораздо более обширная, чем Fusion. Например, она включает возможность создания ветвистых поддерживающих структур для FDM-печати, моделирования деформации металлических деталей для SLS и SLM. В редакции Ultimate ещё добавлены возможности топологической оптимизации и ге-

нерации сетчатого заполнения. Но программа также является платной.

4) FreeCAD:

FreeCAD отличается простым интерфейсом и относительной легкостью освоения, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Также он бесплатен. Но плагин Topological Optimization Workbench, который может использоваться для поставленной задачи не является частью официального пакета плагинов, из-за чего есть некоторые ошибки в работе плагина и в целом может быть отнесен к категории экспериментального или разрабатываемого ПО.

Пример работы с моделью: топологическая оптимизация начинается с создания грубой трехмерной модели во время проектирования или использования уже существующей детали для эволюции, к которой будет прикладываться различная нагрузка и силы, поддерживаемые деталью (например, давление на фиксирующие выступы), рисунок 3.

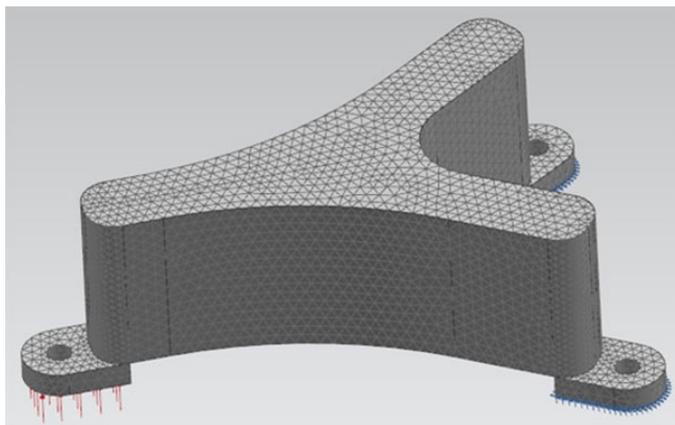


Рисунок 3 — Разметка усилий, прикладываемых к грубой модели на этапе проектирования

Затем программное обеспечение отвечает за расчет всех примененных ограничений, представленных красным («обязательные» элементы детали) и синим («бесполезные» элементы), рисунок 4.

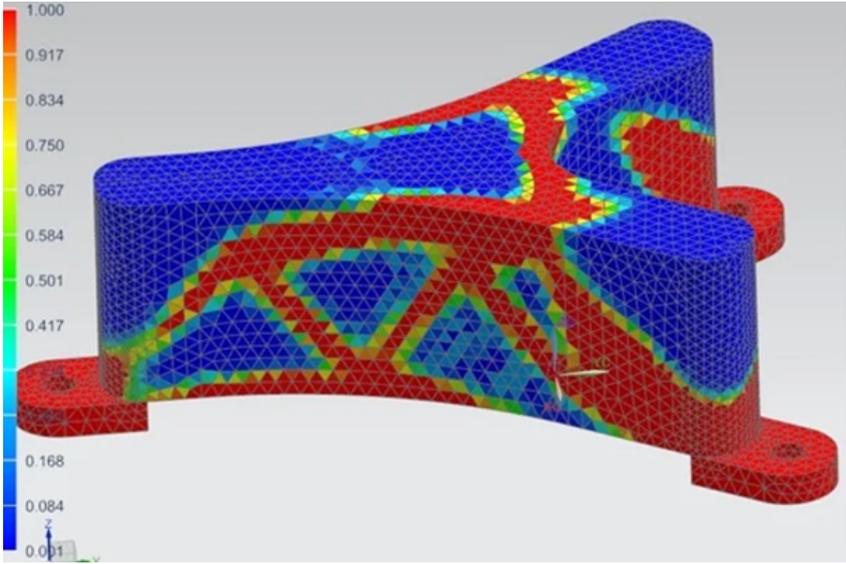


Рисунок 4 — Расчет «обязательных» и «бесполезных» элементов

На этом уровне можно выполнить разрезание детали, что видно на рисунке 5, чтобы удалить детали, на которые не действуют усилия. Черновик будущей оптимизированной части тогда уже виден.

Окончательная геометрия, отвечающая как механическим, так и конструктивным требованиям, может быть окончательно достигнута после сглаживания заготовки (рисунок 6).

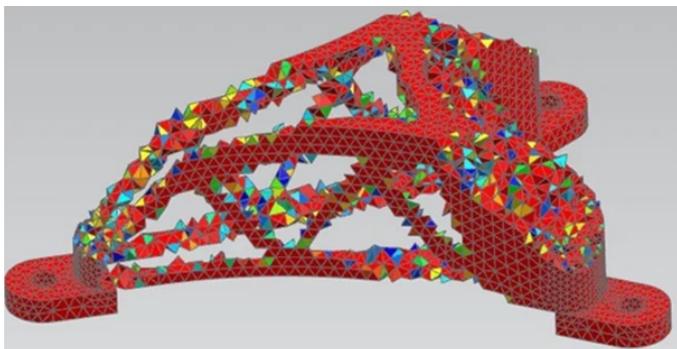


Рисунок 5 — Деталь после удаления ненужных фрагментов

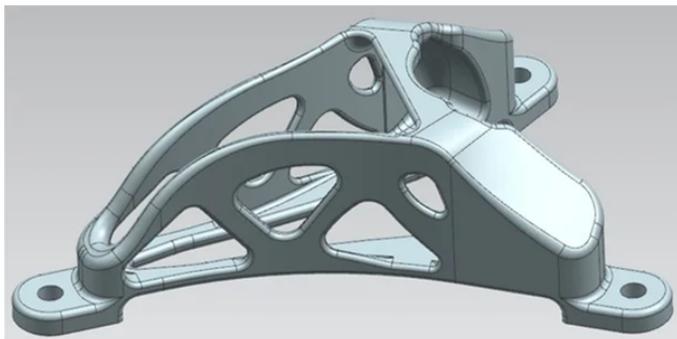


Рисунок 6 — Итог топологической оптимизации

Заключение

Таким образом, применение методов топологической оптимизации в области аддитивных технологий и при создании БПЛА имеет огромный потенциал для развития инновационных решений. Эти методы позволяют создавать оптимальные структуры, корпуса и детали, которые обеспечивают требуемые характеристики, при этом значительно сокращая материал, который требуется для изготовления, а также время.

Список литературы

1. АРМ FEM. Топологическая оптимизация Компас 3D. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/apm-fem-topologicheskaya-optimizaciya/>, свободный (16.09.2023).
2. Климачева, Татьяна AutoCAD. Техническое черчение и 3D-моделирование / Татьяна Климачева. - М.: БХВ-Петербург, 2008. - 912 с.;
3. Плагин для топологической оптимизации FreeCAD. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/calculix/beso>, свободный (16.09.2023).
4. Статья от Autodesk по генеративному дизайну и топологической оптимизации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/topology-optimization-is-not-generative-design/>, свободный (16.09.2023).
5. Топологическая оптимизация Autodesk. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/solutions/topology-optimization>, свободный (16.09.2023).

**APPLICATION OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION
METHODS IN THE FIELD OF ADDITIVE TECHNOLOGIES**

A. V. Krivova

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

The article discusses the use of topological optimization in conjunction with additive technologies.

Keywords: additive technologies; UAVs; 3d printing

Научное издание

Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а так же за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой информации, несут авторы.

При перепечатке материалов ссылка на Труды конференции «Безопасность в техносфере» обязательна.

Научный редактор
Колодкин Владимир Михайлович

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Труды XVI Международной научно-практической конференции
(10-11 октября 2023 г.).

Выпуск 16

*Печатается в авторской редакции.
Компьютерная верстка: Н.В.Белкин*

Подписано в печать 22.11.2023. Формат 60x84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 7,32. Уч. изд. л. 8,33.
Тираж 27 экз. Заказ № 2193.

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021
Тел.: + 7 (3412) 916-364, E-mail: editorial@udsu.ru

Типография Издательского центра «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2
Тел. +7 (3412) 68-57-18

ISBN 978-5-4312-1130-0



9 785431 211300