

### **Отзыв официального оппонента**

доктора технических наук Хасанова Ирека Равильевича  
на диссертационную работу Колодяжного Сергея Александровича  
«Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации опасными  
факторами пожара в многофункциональных центрах», представленную на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(технические науки, отрасль строительство)

#### **Актуальность темы диссертации**

Выбранная диссертантом тема исследования является весьма актуальной. Обеспечение пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей, к которым относятся многофункциональные центры (МЦ), является одной из первоочередных задач при их проектировании, которая достигается, в том числе выбором объемно-планировочных и технических решений в целях безопасной эвакуации людей при возникновении пожара. Очевидно, что разработка оптимальных объемно-планировочных решений во многом определяется величиной необходимого времени эвакуации людей при пожаре.

Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации людей опасными факторами пожара (ОФП) требует разработки комплекса математических моделей, позволяющих учесть закономерности термогазодинамического процесса пожара, в том числе влияние работы системы дымоудаления (СДУ), неустановившейся скорости выгорания горючего материала и др.

В диссертационной работе Колодяжного С.А. исследованы актуальные вопросы обеспечения пожарной безопасности МЦ. Так на базе интегральной математической модели пожара получены аналитические решения, учитывающие влияние функционирования СДУ, в том числе её время включения и объемный расход. В модифицированной зонной модели пожара учтено влияние ограждающих конструкций помещения на параметры конвективной колонки. В полевой модели пожара при расчете и анализе динамики ОФП в МЦ выявлены закономерности развития пожара, существенно влияющие на обеспечение безопасной эвакуации людей. Получены экспериментальные данные по удельной массовой скорости выгорания горючих материалов и форме конвективной колонки.

В связи с этим считаю, что актуальность темы представленной на отзыв диссертационной работы, цель которой состояла в разработке комплекса уточненных моделей пожара и методики расчета динамики ОФП, учитывающих специфику объемно-планировочных и конструктивных

*Зн. № 6/94 от 15.09.2017*

решений МЦ, не вызывает сомнения.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация изложена на 257 страницах, состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы из 169 наименований, 80 рисунков, 9 таблиц и 3-х приложений.

Во введении автор достаточно убедительно обосновывает актуальность выполненных им исследований, формулирует цель и задачи работы, выделяет новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов. Во введении также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты анализа особенностей пожарной опасности МЦ, приведены примеры реальных пожаров в них. Большое внимание в этой главе уделено анализу современного состояния математического моделирования развития пожаров в помещениях. Математические модели разделены на четыре группы: аналитические, интегральные, зонные и полевые.

Отдельно рассмотрены особенности моделирования с учетом работы СДУ. Отмечено, что при применении полевой модели необходимо выполнить предварительный расчет по интегральной или зонной моделям с целью приближенного выбора параметров СДУ, что позволяет резко уменьшить количество трудоемких расчетов.

В заключительной части первой главы сделан вывод о необходимости разработки комплекса математических моделей расчета динамики ОФП в МЦ, включающего уточненные модели пожара, которые учитывают специфику объемно-планировочных и конструктивных решений МЦ (наличие атриумов и неустановившуюся скорость выгорания горючих веществ).

Вторая глава рукописи диссертации посвящена описанию математических моделей прогнозирования динамики ОФП в помещениях. Представлены основные допущения, уравнения и дополнительные соотношения интегральной, зонной и полевой математических моделей, рассмотрены условия однозначности и методы решения.

При рассмотрении методов расчета расхода СДУ выделены методы наиболее используемые в России и за рубежом. Отмечено, что использование формул этих методов для прогнозирования динамики ОФП в высоких помещениях не является корректным из-за невозможности обеспечения выполнения необходимых условий теории подобия, что требует уточнения этих формул.

Предложенная методика прогнозирования блокирования путей эвакуации учитывает входные и выходные параметры интегральной, зонной и полевой математических моделей пожара. Критические продолжительности пожара по отдельным ОФП определяются с использованием анализа динамики ОФП.

В заключении второй главы отмечены основные особенности и отличия предложенных методов расчета времени блокирования путей эвакуации ОФП от существующих. Модифицированная зонная модель позволяет значительно (сократить трудозатраты на введение исходных данных и время компьютерного расчета в случае выполнения расчетов динамики ОФП.

В третьей главе предложена модификация зонной математической модели расчета термогазодинамики пожара в помещении, учитывающая форму конвективной колонки. Использована зонная модель, в которой смесь газов в помещении разделена на три зоны: конвективной колонки, припотолочного слоя и холодного воздуха. Рассмотрена первая фаза начальной стадии пожара.

Значительная часть главы посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям угла полураскрытия конвективной колонки в помещении. Предложено дифференциальное уравнение для расчета массового расхода через поперечное сечение конвективной колонки.

С целью изучения процесса распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма при пожаре проведены экспериментальные исследования на макете помещения с регулируемым по высоте потолком. В ходе проведения экспериментов отмечено различие в характере распространения смеси продуктов горения, воздуха и дыма в зависимости от местоположения очага возгорания. Полученные экспериментальные данные подтверждают результаты проведенных теоретических исследований.

Четвертая глава содержит результаты исследований определения критической продолжительности пожара в помещении с очагом возгорания по условиям достижения предельно допустимого значения температуры, концентраций кислорода и токсичных газов. Представлены аналитические зависимости для расчета критического времени эвакуации по потере видимости в помещении с очагом возгорания, а также в смежных с ним помещениях на начальной стадии пожара.

Построены графические зависимости при различных параметрах, входящих в исходные равенства. Дан анализ условий применимости представленных аналитических формул и полученных с помощью этих равенств графических зависимостей.

В пятой главе в рамках выполненного теоретического исследования по влиянию работы системы противодымной вытяжной вентиляции на развитие пожара представлена уточненная математическая модель пожара, учитывающая объемный расход и время включения вентиляции в условиях неустановившегося процесса выгорания жидкости.

Представлены результаты численного эксперимента по исследованию влияния режима работы системы противодымной вытяжной вентиляции, а также неустановившегося процесса горения жидкости на характер изменения основных параметров газовой среды. Даны аналитические зависимости, позволяющие провести инженерные вычисления для определения исходных данных с последующим расчетом вентиляционной системы.

В шестой главе представлены результаты экспериментальных исследований динамики удельной массовой скорости выгорания жидкости и твердых горючих материалов с учетом работы противодымной вытяжной вентиляции, времени ее включения и объемного расхода при неустановившемся процессе горения жидкости. С учетом разработанных регрессионных уравнений предложены аналитические зависимости для определения значений опасных факторов пожара в условиях работы СДУ, в случае горения жидкости при неустановившемся процессе ее горения.

Дано описание разработанной программного комплекса, позволяющий моделировать протекание пожаров на базе интегральной математической модели пожара с учетом работы СДУ.

Седьмая глава посвящена расчету развития пожаров в Государственном Кремлевском Дворце, в многофункциональном торговом комплексе ООО «МЕТРО Кэш энд Керри», в атриуме 5-этажного здания торгово-развлекательного комплекса «Галерея» и в подземной автостоянке торгово-развлекательного комплекса «Вегас II». Для каждого объекта приведены схемы помещений, наиболее опасные сценарии развития пожара, характерные поля параметров газовой среды помещения (температура, оптическая плотность дыма, скорость и направления течения) в продольном и поперечном сечениях для конкретных моментов времени.

Рассмотренные примеры расчета и анализа динамики ОФП в МЦ с использованием полевой модели пожара позволили выявить закономерности развития пожара, которые существенно влияют на обеспечение безопасной эвакуации людей. Например, для помещений большой площади и маленькой высоты (например, встроенных автостоянок, торговых залов и т.д.) припотолочный слой не является плоскопараллельным перекрытием, равномерно прогретым и задымленным.

#### **Общая методология и методика исследования**

Методика исследования, применяемая в диссертации Колодяжного А.С., включает в себя группу известных теоретических и экспериментальных подходов к изучению процессов теплопереноса при пожаре в помещении. Методы теоретического исследования опирались на фундаментальные законы сохранения массы, энергии и импульса. В диссертации использовались следующие методы теоретического познания: восхождения от абстрактного к конкретному, анализа и синтеза, формализации; методы эмпирического исследования (наблюдение, описание, сравнение, измерения, эксперимент); теория вероятности и статистические методы обработки экспериментальных данных.

При разработке физических и математических моделей автор диссертации использовал современные представления о процессах горения, а также экспериментально установленные закономерности распространения ОФП.

При переходе от физической модели к натурному объекту в масштабировании коэффициентов регрессионного уравнения применены методы теории подобия. Экспериментальные исследования выполнены с применением метрологически аттестованной контрольно-измерительной аппаратуры и современных методов автоматизированной обработки полученных данных.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Автором диссертации выполнены системные исследования в целях получения новых функциональных зависимостей с применением уточненных интегральных и зонных моделей пожаров, широко используемых в работах других авторов. Методы теоретического исследования опирались на фундаментальные законы сохранения массы, энергии и импульса.

Глубокая проработка сформулированной автором диссертации проблемы позволяет судить о высокой степени обоснованности научных положений и выводов, сделанных на основании анализа и обобщения результатов решения большой группы задач.

При планировании эксперимента разработан композиционный план Бокса-Уилсона 3-го порядка с дополнением в виде «звездных точек» с целью получения достоверных регрессионных уравнений, а также сокращения количества опытов при определении последовательности проведения экспериментальных исследований. С помощью выбранного плана выполнена первичная статистическая обработка результатов проведенных серий экспериментов. Заслуживающим внимания является факт хорошей корреляции результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается следующим:

- применением фундаментальных соотношений для описания процессов распространения ОФП;

- тестированием разработанных методов и алгоритмов решения задач;

- применением современных методов контроля физических величин при проведении экспериментальных исследований;

- соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

#### **Научная новизна результатов исследований, представленных в диссертации**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований Колодяжного А.С. являются оригинальными. Их новизна подтверждается соответствующими публикациями автора в рецензируемых журналах из

списка ВАК, а также докладами на международных и российских конференциях. В качестве наиболее значимых результатов можно выделить следующие:

1. Обоснование разработанной уточненной зонной модели расчета величин ОФП в помещениях с учетом работы СДУ, учитывающей форму конвективной колонки с помощью зависимости локального угла полуоткрытия колонки от высоты ее поперечного сечения.

2. Получение новых экспериментальных данных по углу полуоткрытия конвективной колонки, что позволяет более точно, чем в существующих подходах, определить объемный расход СДУ.

3. Совокупность новых функциональных зависимостей, описывающих процесс задымления помещений, смежных с очагом возгорания, и позволяющих прогнозировать динамику ОФП с получением исходных параметров для оптимизации работы СДУ на основе аналитических решений системы дифференциальных уравнений интегральной математической модели.

4. Комплекс новых экспериментальных данных по динамике изменения удельной массовой скорости газификации в условиях горения твердых горючих материалов и при неустановившемся процессе горения жидкости с учетом работы СДУ, а также ее объемного расхода и времени включения.

5. Аналитические уравнения регрессии, полученные с учетом результатов проведенного экспериментального исследования и определяющие зависимость изменения удельной массовой скорости выгорания твердых материалов и жидкости с учетом времени включения СДУ и ее объемного расхода.

#### **Практическая значимость результатов выполненных исследований**

Нельзя не отметить практическую значимость полученных результатов в ходе диссертационного исследования Колодяжного А.С. Разработанные научные основы для создания комплекса математических моделей расчеты динамики ОФП позволяют прогнозировать время блокирования путей эвакуации с учетом формы конвективной колонки, неустановившейся скоростью выгорания твердых и жидких горючих веществ, а также работы систем дымоудаления и приточной вентиляции.

Предложенная на основе модифицированных интегральной и зонной моделях пожара методика по определению времени блокирования путей эвакуации ОФП позволяет обосновать и оптимизировать объемно-планировочные и конструктивные решения многофункциональных центров с массовым пребыванием людей.

Использование модифицированной зонной математической модели позволяет повысить точность вычислений и значительно сократить время компьютерного расчета в случае рассмотрения различных сценариев пожара в

целях оценки необходимого времени эвакуации людей из помещений многофункциональных центров.

Полученные аналитические зависимости позволяют определять критическую продолжительность пожара по условиям достижения предельно допустимых значений ОФП, а также критическое время эвакуации по потере видимости в помещении с очагом возгорания и в смежных с ним помещениях на начальной стадии пожара. Представленные аналитические формулы позволяют использовать их в практике в целях оперативных инженерных расчетов при рассмотрении проблемы безопасной эвакуации людей из помещений в случае возникновения пожара в здании.

Разработанный программный комплекс позволяет моделировать протекание пожаров при разнообразных условиях и сокращать временные затраты при определении величины пожарного риска.

Предложенные математические модели и экспериментальные методики могут использоваться при подготовке специалистов пожарной охраны и выпускников высших учебных заведений технического профиля.

#### **Полнота публикаций по теме диссертации**

В диссертационном исследовании автором рассмотрен и проанализирован значительный объем литературы, а также научно-методические разработки зарубежных и отечественных ученых. Структура диссертации, построение ее разделов и глав выглядят обоснованно. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Опубликованные автором работы отражают основные научные результаты диссертационного исследования.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В выводах второй главы отмечено что «предложенная методика расчета времени блокирования путей эвакуации ОФП имеет достаточную инженерную точность расчета при решении практических задач пожарной безопасности». Следовало бы представить примеры таких расчетов.

В этой же главе при перечислении необходимых для расчета геометрических характеристик помещений по математическим моделям (п. 2.5) отсутствуют требуемые характеристики для интегральной модели.

2. При постановке задачи и описании ограничений «первой начальной фазы пожара» (глава 3, п. 3.2) не рассмотрен случай с закрытым дверным проемом.

3. В главе 4 (п. 4.4) на рис. 4.4 показана зависимость среднеобъемной плотности дыма  $\mu_{cp}$  от времени в помещении с очагом возгорания для зданий III-IV и I-II степеней огнестойкости. При этом интенсивность возрастания среднеобъемной плотности дыма в помещении зданий III-IV степени огнестойкости значительно выше, чем в помещении зданий I-II степеней

огнестойкости. Пояснения к этому утверждению в диссертации отсутствуют. На развитие пожара в начальной стадии и, соответственно, на плотность дыма, в первую очередь, влияют вид и количество горючей нагрузки, а не степень огнестойкости здания.

4. В п. 5.3 главы 5 представлены результаты численного эксперимента по исследованию влияния режима работы системы противодымной вытяжной вентиляции на параметры газовой среды при пожаре в помещении по разным математическим моделям. Вместе с тем, при обсуждении результатов отсутствуют оценки погрешностей вычислений и не указано на сколько предложенная диссертантом модель точнее предыдущих.

5. В представленных в главе 6 результатах численного и аналитического расчета параметров пожара (рис. 6.16-6.19) видно, что на 9-й секунде происходит резкое изменение среднemasсовой температуры и среднеобъемной парциальной плотности кислорода. Однако, данный факт для среднеобъемной парциальной плотности монооксида и диоксида углерода не наблюдается. Следовало бы прокомментировать эти результаты расчетов.

6. В главе 7 приводятся примеры расчета развития пожаров в конкретных многофункциональных центрах по программному комплексу на базе полевой математической модели. Целесообразно было бы привести примеры расчета времени блокирования по предложенным автором математическим моделям.

Кроме того, в тексте отсутствуют обоснования выбора наиболее опасных сценариев пожара в многофункциональных центрах.

### **Заключение по диссертации**

Диссертация Колодяжного Сергея Александровича «Прогнозирование времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в многофункциональных центрах» выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой.

В результате диссертационного исследования решена крупная научная и социальная проблема, направленная на снижение риска гибели людей при пожарах в МЦ. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований автором разработаны научные основы для создания комплекса математических моделей расчета динамики опасных факторов пожара и методики расчета этих факторов, учитывающих специфику объемно-планировочных и конструктивных решений многофункциональных центров.

Диссертация соответствует специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (технические науки, отрасль строительство), п.5 паспорта специальности: «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования, конструкций, зданий и сооружений».



