

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ  
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

УДК 614.843:614.84-026.612

**СУРИКОВ**  
**Андрей Валерьевич**

**ВИДИМОСТЬ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПОЖАРЕ И СИСТЕМА ЕЕ  
УЛУЧШЕНИЯ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность  
(горение, тепломассоперенос)

Минск, 2020

Научная работа выполнена в государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Научный руководитель: **Лешенюк Николай Степанович**,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры естественных наук  
государственного учреждения образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь».

Официальные оппоненты: **Байков Валентин Иванович**,  
доктор технических наук, доцент, главный  
научный сотрудник Государственного научного  
учреждения «Институт тепло- и массообмена  
им. А.В. Лыкова Национальной академии наук  
Беларуси»;

**Антошин Александр Анатольевич**,  
кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры «Информационно-  
измерительная техника и технологии»  
Белорусского национального технического  
университета.

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский  
государственный технологический  
университет».

Защита состоится 24 апреля 2020 г. в 14<sup>30</sup> на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» по адресу: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, аудитория АВ 102 (конференц-зал). Ученый секретарь: телефон +375 (17) 341-32-99, e-mail: K11.01.01@ucsr.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

Автореферат разослан 21 марта 2020 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент

В.А. Кудряшов

## ВВЕДЕНИЕ

Безопасность людей при пожаре зависит от своевременной эвакуации и скорости проведения аварийно-спасательных работ по их поиску и спасению.

Критерием успешной эвакуации является выход людей в безопасную зону до наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП), т.е. в течение необходимого времени эвакуации. Как правило, потеря видимости во время пожара наступает быстрее, чем критические значения других ОФП. Для расчета расстояния предельной видимости при пожаре применяются интегральная, зонная и полевая модели развития пожара. Данные модели основаны на определении критической концентрации дыма, при которой на определенном расстоянии объект наблюдения (эвакуационный выход) становится неразличимым. Отличие моделей заключается в степени детализации расчетов, при этом наиболее универсальной и точной является полевая модель. Однако ряд параметров, применяемых в полевой модели, не имеет стандартизированных методов дефиниций, что формирует дополнительную задачу по определению их значений. К этим параметрам относятся удельный выход дыма и удельный массовый коэффициент экстинкции. Расчет расстояния предельной видимости при пожаре по действующей в Республике Беларусь стандартизированной методике, основанной на интегральной модели развития пожара, не учитывает вариативности ряда параметров. К числу последних относятся: цветовая гамма интерьера помещения, доля сгоревшей пожарной нагрузки при определении коэффициента дымообразования, аддитивные свойства пожарной нагрузки (т.е. ее количественные характеристики), а также пространственное распределение освещенности на вертикальных поверхностях помещения. Это приводит к определенной погрешности расчетов и может как снижать уровень пожарной безопасности объекта, так обуславливать избыточные требования к объемно-планировочным решениям, обеспечивающим эвакуацию людей при пожаре. В связи с этим совершенствование методики расчета расстояния предельной видимости при пожаре является актуальной задачей.

На скорость проведения аварийно-спасательных работ по поиску и спасению людей при пожаре влияет сильное задымление и наличие повышенной температуры. Применяемые для целей улучшения видимости приборы (осветительные фонари, телевизионные системы, тепловизоры) не отсекают помеху обратного рассеяния света и тепловую засветку, что накладывает ограничение на их применение. Для успешного решения указанной проблемы перспективным является применение оптико-электронных систем, известных как активно-импульсные системы видения (АИСВ). Принцип действия АИСВ основан на применении метода стробирования по дальности. АИСВ преимущественно применяются для улучшения видимости в тумане. Эффективность АИСВ

определяется улучшением видимости с применением системы, определяемой как отношение дальности распознавания объектов с помощью АИСВ к расстоянию предельной видимости. Указанный параметр зависит как от конструктивных особенностей АИСВ, в частности, от их временных параметров, так и от степени ослабления оптического излучения. Влияние различных типов дымов и теплового потока в поле зрения АИСВ на дальность распознавания объектов с их применением являлось малоизученным на момент постановки диссертационной работы.

Актуальными являются совершенствование методики расчета расстояния предельной видимости при пожаре, а также исследования по выяснению возможности применения АИСВ в условиях пожара. В связи с этим изучение влияния исходных параметров моделирования видимости при расчете динамики задымления является важной задачей для повышения точности определения необходимого времени эвакуации людей при пожаре. Установление эффективности применения АИСВ для распознавания объектов в условиях задымления и тепловых помех определяет перспективы их дальнейшего применения.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами, темами**

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585, п. 10.11), на 2016–2020 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь 12.03.2015 г. № 190, п. 13), а также приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 22.04.2015 г. № 166, п. 3.5 и 9.2).

Исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнялись в рамках НИР «Разработать и внедрить тренажер для интерактивной площадки «Безопасный дом – безопасная страна» в рамках выполнения задания 10 «Разработать и внедрить тренажеры для интерактивных площадок «Здоровый образ жизни и доврачебная помощь», «Общественная безопасность», «Природные ЧС», «Безопасный дом – безопасная страна» в республиканском Центре безопасности МЧС Республики Беларусь» (№ гос. регистрации 20192096 от 16.08.2019 г.) Государственной научно-технической программы «Защита от чрезвычайных ситуаций – 2020».

**Цель работы** – повысить безопасность людей при пожаре путем разработки методики расчета критического значения расстояния предельной видимости, учитывающей свойства пожарной нагрузки и оптические характеристики

помещений, и определения условий применения и параметров активно-импульсной системы видения в условиях задымления.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

– определить величины удельного выхода дыма для различной пожарной нагрузки, используя значения коэффициента дымообразования, определенные по стандартизированной методике;

– определить влияние оптических характеристик помещений и свойств пожарной нагрузки на расчетное время наступления критических значений расстояния предельной видимости в условиях пожара;

– определить средние значения изменения интенсивности проходящего через задымленную среду оптического излучения, а также технические параметры оптических приборов, предназначенных для визуализации объектов при проведении поисковых аварийно-спасательных работ при пожаре;

– определить улучшение видимости при применении активно-импульсной системы видения в помещениях в условиях задымления и тепловой засветки, создаваемой пламенем.

**Объектом исследования** являются задымленные помещения, **предметом исследования** – видимость в условиях задымления.

### **Научная новизна**

1. Разработана методика определения удельного выхода дыма по коэффициенту дымообразования с учетом реальной массы сгоревшего материала и удельного массового коэффициента экстинкции.

2. На основании интегральной модели развития пожара разработана методика расчета расстояния предельной видимости при пожаре, учитывающая цветовую окраску интерьера и материалы ограждающих конструкций помещений, условия их эксплуатации, пространственное распределение освещенности его поверхностей, а также комплексную оценку дымообразующей способности пожарной нагрузки.

3. Установлено улучшение видимости при применении активно-импульсной системы видения в условиях пожара в помещениях.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Методика определения удельного выхода дыма, основанная на результатах экспериментов по определению коэффициента дымообразования и учитывающая реальную массу сгоревшего материала при достижении максимума поглощения оптического излучения и удельный массовый коэффициент экстинкции данного класса материалов, позволяет определять исходные параметры для моделирования задымления в помещении с применением полевой модели развития пожара на основании стандартизированного метода определения коэффициента дымообразования.

2. Методика расчета расстояния предельной видимости при пожаре, основанная на интегральной модели развития пожара и дополненная учетом цветовой окраски интерьера и материалов ограждающих конструкций помещений, условий их эксплуатации, пространственного распределения освещенности его поверхностей, а также доли сгорания материала при определении его коэффициента дымообразования и аддитивных свойств дымообразующей способности пожарной нагрузки, позволяет повысить точность расчета расстояния предельной видимости в помещениях при пожаре до 30 % и оптимизировать объемно-планировочные решения, обеспечивающие эвакуацию людей при пожаре.

3. Экспериментально обоснованные параметры активно-импульсной системы видения для использования в условиях задымления при пожаре в помещении позволяют улучшить видимость при наличии «светлых» дымов (древесина) в  $2,6 \pm 0,8$  раза, при наличии «темных» дымов (резина) – в  $3,5 \pm 1,2$  раза и получать изображения предметов при наличии в поле зрения теплового потока, создаваемого пламенем.

### **Личный вклад соискателя**

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, приведенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Цель и задачи исследования сформулированы совместно с кандидатом физико-математических наук В.О. Петуховым и научным руководителем доктором физико-математических наук, профессором Н.С. Лешенюком. Кандидаты физико-математических наук Б.Ф. Кунцевич и А.В. Ильющонок, В.В. Горобец и научный руководитель оказывали помощь в постановке и проведении экспериментальных исследований. Автором диссертации самостоятельно разработана методика проведения экспериментальных исследований, проведен монтаж измерительного оборудования, обработка и анализ результатов экспериментов; получены эмпирические данные по улучшению видимости в условиях задымленной среды, а также при наличии в поле зрения пламени и создаваемого им теплового потока с применением активно-импульсной системы видения; разработана методика определения коэффициента удельного выхода дыма и методика расчета расстояния предельной видимости при пожаре; проведены расчеты с применением полевой модели пожара с использованием программного комплекса Fire Dynamics Simulator (FDS). Научный руководитель Н.С. Лешенюк, кандидат физико-математических наук В.О. Петухов, кандидат физико-математических наук Б.Ф. Кунцевич, В.В. Горобец, кандидат технических наук А.С. Миканович принимали участие в обсуждении полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований. Автор диссертации выражает благодарность и глубокую признательность научному руководителю Н.С. Лешенюку и В.О. Петухову; работникам Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь: И.И. Полеводе, А.В. Ильющонку, С.М. Пастухову, С.М. Жамойдику,

В.К. Кулешову; руководству и работникам филиала «Институт переподготовки и повышения квалификации» Университета гражданской защиты МЧС Беларуси; работникам лаборатории физической оптики Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, а также В.Н. Конону и А.П. Мезенцеву.

#### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные результаты диссертации представлялись на Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» – г. Могилев, 2012 г.; Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций» – г. Минск, 2013 г.; Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы» – г. Гомель, 2012 г., 2014 г.; VIII Международной конференции «Пожарная безопасность объектов строительства» – г. Варшава, 2014 г.; Международной научно-практической конференции «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» – г. Минск, 2015 г.; Международной видеоконференции «Предупреждение, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и спасение людей на местах проведения спортивно-массовых мероприятий» – г. Баку, 2015 г.

Результаты исследований применены для оценки безопасной эвакуации из объекта ГУК «Слонимский центр культуры и отдыха», расположенного по адресу: г. Слоним, ул. Красноармейская, 25, и при проектировании объекта «Реконструкция комплекса объектов стадиона «Динамо» в г. Минске.

Материалы диссертации внедрены в образовательный процесс в государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» при преподавании дисциплины «Безопасность объектов, зданий и сооружений».

#### **Опубликованность результатов диссертации**

Основные положения диссертации опубликованы в 18 печатных работах, в том числе: 7 статей, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 4,2 авторских листа (из них без соавторов – 1 статья), а также 11 работах в сборниках научных трудов международных конференций.

#### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературы из 136 наименований, включающего собственные публикации, 4 приложений, 26 рисунков и 26 таблиц. Полный объем диссертации составляет 145 страниц. Объем, занимаемый иллюстрациями, таблицами, приложениями, составляет 56 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена обзору морфологических и оптических свойств дымов, характеристик процесса дымообразования, а также методам улучшения видимости при пожаре. Выполнен обзор литературных источников и проанализированы основные подходы в Республике Беларусь и за рубежом к расчетному определению расстояния предельной видимости в условиях пожара и разработке технических средств, предназначенных для ее улучшения. В Республике Беларусь основным параметром в методике расчета расстояния предельной видимости при пожаре, зависящем от пожарной нагрузки, является дымообразующая способность материала, которая принимается равной коэффициенту дымообразования материала  $D_m$ . Определение данного коэффициента основано на регистрации в условиях стандартных испытаний максимального ослабления лазерного излучения ( $\lambda = 632,8$  нм), проходящего через дым, полученный при горении исследуемого материала (ГОСТ 12.1.044). Зарубежные методики расчета в качестве параметров, характеризующих дымообразующую способность пожарной нагрузки, предусматривают применение удельного выхода дыма  $Y_s$  и удельного массового коэффициента экстинкции  $\sigma_s$ . Удельный выход дыма  $Y_s$  представляет собой отношение массы дыма, образованного при сгорании материала, к сгоревшей массе данного материала. Удельный массовый коэффициент экстинкции  $\sigma_s$  численно равен коэффициенту ослабления оптического излучения при единичной массовой концентрации дыма.

Представлена аналитическая связь коэффициента дымообразования  $D_m$ , определяемого по стандартизированной методике, и удельного выхода дыма  $Y_s$ . Определена необходимость разработки методики расчета удельного выхода дыма  $Y_s$  с учетом коэффициента дымообразования  $D_m$ , удельного массового коэффициента экстинкции  $\sigma_s$  и реальной массы сгоревшего материала (доли его сгорания  $A_{дсм}$ ). Удельный массовый коэффициент экстинкции  $\sigma_s$  в практике расчетов расстояния предельной видимости при пожаре принимается усредненным для всех материалов ( $8700 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). При этом его значение соответствует горению древесины и пластмасс. Определена необходимость исследования влияния указанного коэффициента на расчет расстояния предельной видимости при пожаре в зависимости от горящего материала.

Показана необходимость учета вариативности параметров при расчете предельной видимости при пожаре: цветовой окраски и материалов ограждающих конструкций интерьера помещений, условий эксплуатации помещений, пространственного распределения освещенности его поверхностей, а также некоторых свойств пожарной нагрузки.

Для определения технических параметров АИСВ с целью их применения для улучшения видимости при задымлении необходимо проведение исследований



прохождения оптического излучения через дым и определение их эффективности в полигонных условиях.

**Во второй главе** приведены результаты исследований коэффициента дымообразования  $D_m$  ряда материалов с последующим расчетом удельного выхода дыма  $Y_s$ . Представлены результаты экспериментальных исследований предельной видимости в условиях пожара. Определены средние значения коэффициента ослабления оптического излучения  $k$ , проходящего через дым, образованный при тлении и горении различных материалов.

Для разработки методики определения удельного выхода дыма  $Y_s$  проведен расчет коэффициента дымообразования  $D_{m(эксп)}$ . В качестве исследуемых материалов в данной части диссертационной работы взяты древесно-стружечной плита (ДСП), поливинилхлорид (ПВХ) и пенополистирол (ППТ). Выбор материалов обоснован предварительно проведенным анализом экспериментальных данных по коэффициенту дымообразования, по результатам которого определены материалы с максимальным значением коэффициента ослабления оптического излучения. Показано, что максимальное ослабление оптического излучения может достигаться при неполном сгорании материала. Это обусловлено установлением равновесия интенсивности дымообразования горящего материала и процессами «старения» и седиментации дыма. Для исследованных материалов определена доля сгоревшей массы материала  $A_{дсм}$  и время достижения максимального ослабления оптического излучения. Расчет коэффициента дымообразования  $D_{m(эксп)}$  проведен с учетом реальной массы сгоревшего материала. Для повышения точности расчета расстояния предельной видимости при пожаре определены средние значения доли сгоревшей массы материала  $A_{дсм}$  равные 0,8 для природных полимерных и композиционных (на основе древесины) материалов и 0,75 для материалов из синтетических полимеров.

Значения удельного выхода дыма  $Y_s$  рассчитаны по полученной аналитической зависимости от коэффициента дымообразования  $D_m$ . Удельный выход дыма  $Y_s$  равен отношению коэффициента дымообразования  $D_m$  к удельному массовому коэффициенту экстинкции  $\sigma_s$ . Показано, что удельный выход дыма  $Y_s$  для исследуемых материалов составляет:  $Y_{s(ДСП)} = 0,016 \pm 0,003$ ,  $Y_{s(ПВХ)} = 0,063 \pm 0,013$  и  $Y_{s(ППТ)} = 0,117 \pm 0,024$ . При отсутствии учета доли сгоревшей массы материала  $A_{дсм}$  значение удельного выхода дыма  $Y_s$  уменьшается до 25 %. Это увеличивает время наступления критического значения предельной видимости при задымлении в условиях пожара приблизительно на 10 %. Определена необходимость учета доли сгоревшей массы материала  $A_{дсм}$ , как при расчете коэффициента дымообразования  $D_m$ , так и при расчете удельного выхода дыма  $Y_s$ .

Для определения влияния удельного массового коэффициента экстинкции  $\sigma_s$  на расчет расстояния предельной видимости при задымлении в зависимости от типа пожарной нагрузки проведены экспериментальные исследования предельной

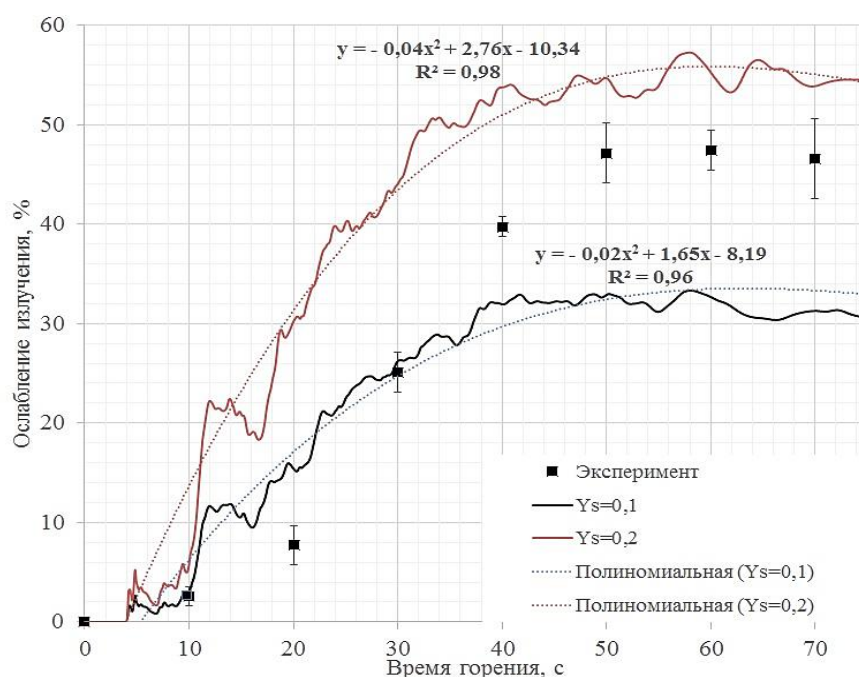


через дым оптического излучения значительно превышают значение  $k$  для плотного тумана (около  $0,1 \text{ м}^{-1}$ ), принятое согласно международному коду видимости. Однако более значительное поглощение оптического излучения дымом по сравнению с туманом может быть компенсировано уменьшением дальности действия АИСВ. Установлена необходимость совершенствования временных параметров АИСВ, определяющих возможность их применения на малых расстояниях.

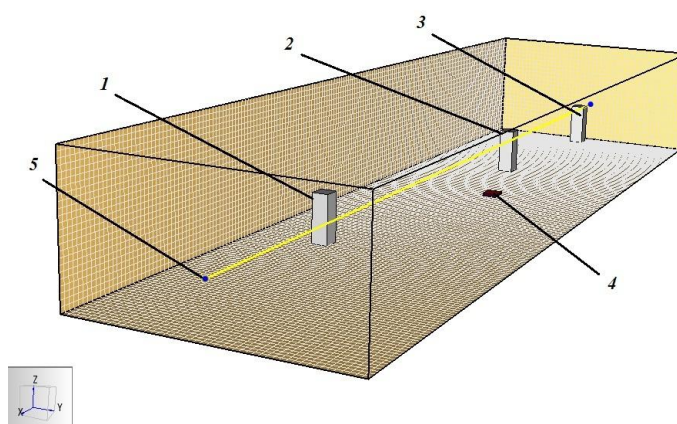
**В третьей главе** представлены теоретические исследования влияния характеристик помещений и свойств пожарной нагрузки на расчетное время наступления значений расстояний предельной видимости в условиях пожара. Исследования выполнены в 3 этапа. На первом этапе определено соотношение коэффициента дымообразования  $D_m$  и удельного выхода дыма  $Y_s$ . На втором этапе для определения влияния удельного массового коэффициента экстинкции  $\sigma_s$  на расчетное значение расстояния предельной видимости проведено моделирование условий эксперимента, описанного в главе 2. На третьем этапе проведена оценка оптических характеристик помещений на время потери видимости при пожаре и представлена методика расчета расстояния предельной видимости.

Для определения соотношения коэффициента дымообразования  $D_m$  и удельного выхода дыма  $Y_s$  в программном комплексе FDS разработана модель стандартизированной по ГОСТ 12.1.044 установки по расчету коэффициента дымообразования  $D_m$ . В измерительной камере размещена модельная измерительная система, которая рассчитывает ослабление оптического излучения. Расчет коэффициента дымообразования  $D_{m(\text{расч})}$  проведен для ДСП, ПВХ и ППТ. Значение ослабления оптического излучения, проходящего через дым, определено на момент времени, соответствующему максимальному ослаблению излучения, полученному при экспериментальных исследованиях коэффициента дымообразования  $D_{m(\text{эксн})}$ . Для каждого из исследуемых материалов выполнялось несколько расчетов для заданных значений удельного выхода дыма  $Y_{s(\text{расч})}$ . На рисунке 2 показана расчетная зависимость ослабления оптического излучения от времени горения при заданных значениях удельного выхода дыма  $Y_{s(\text{расч})}$  равными 0,1 и 0,2 в сравнении с экспериментальными значениями при горении ППТ. Далее рассчитан коэффициент дымообразования  $D_{m(\text{расч})}$  и получены зависимости  $D_{m(\text{расч})}(Y_{s(\text{расч})})$  для каждого исследованного материала. Согласно зависимостям определены расчетные значения  $Y_{s(\text{расч})}$ , соответствующие экспериментальным значениям коэффициента дымообразования  $D_m$ . Средняя погрешность расчетных значений  $Y_{s(\text{расч})}$  по отношению к  $Y_{s(\text{ДСП})}$ ,  $Y_{s(\text{ПВХ})}$  и  $Y_{s(\text{ППТ})}$ , полученным экспериментально, составила 13 %.

Моделирование экспериментальных исследований по определению расстояния предельной видимости при пожаре, приведенных в главе 2, проведено с использованием программного комплекса FDS (рисунок 3).



**Рисунок 2. – Зависимость ослабления оптического излучения от времени горения ППТ**



**1, 2, 3 – ориентиры на расстоянии 8, 20 и 27 м соответственно; 4 – очаг горения; 5 – модельная измерительная система и модельный датчик газовой среды**

**Рисунок 3. – Модель помещения по исследованию видимости в дыму**

Модельная измерительная система, которая рассчитывает ослабление оптического излучения, и модельный датчик контроля газовой среды, определяющий видимость в точке наблюдения, размещались на высоте 1,5 м. В качестве горючего материала принималась резина. Удельный массовый коэффициент экстинкции  $\sigma_s$ , принимался равным  $8700 \text{ м}^2/\text{кг}$  и  $10\,300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Первое значение соответствует общепринятому в практике расчета видимости в FDS и принимается для всех материалов по умолчанию, второе определено для резины согласно обзору литературных источников. Значение ослабления оптического излучения, проходящего через задымленную среду, определено на моменты времени, соответствующие значениям расстояния предельной видимости в

контрольных точках (27 и 8 м). Указанные временные отсчеты получены по данным модельного датчика видимости. Далее рассчитано значение коэффициента ослабления  $k_{(mod)}$  и проведено сравнение с экспериментальными данными коэффициента ослабления  $k_{(экс.)}$  (таблица 1). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных значений коэффициента ослабления  $k$

Параметр	Экспериментальные данные		Данные моделирования			
			$\sigma_s = 10300 \text{ м}^2/\text{кг}$		$\sigma_s = 8700 \text{ м}^2/\text{кг}$	
Предельная видимость, м	27	8	27	8	27	8
Значение коэффициента ослабления $k_{осл}, \text{ м}^{-1}$	0,074	0,260	0,099	0,216	0,126	0,139
Относительная погрешность, %	–	–	34	17	70	47

Лучшее соответствие расчетных значений коэффициента ослабления  $k_{(mod)}$ , значениям экспериментально определенным  $k_{(экс.)}$ , наблюдается при значении удельного массового коэффициента экстинкции  $\sigma_s$ , принятого для резины. При расчете расстояния предельной видимости при пожаре удельный массовый коэффициент экстинкции  $\sigma_s$  следует принимать для конкретной пожарной нагрузки. Представлена методика определения удельного выхода дыма  $Y_s$ , учитывающая реальную массу сгоревшего материала при достижении максимума поглощения оптического излучения и удельный массовый коэффициент экстинкции данного класса материалов. Методика позволяет определять значение удельного выхода дыма  $Y_s$  на основании результатов стандартизированных в Республике Беларусь результатов испытаний по определению коэффициента дымообразования материала  $D_m$ .

Оценка степени влияния оптических характеристик помещений – коэффициента отражения поверхности объекта  $\alpha$  и начальной освещенности  $E_0$  – на время потери видимости в условиях пожара проведена расчетным методом. Посредством расчета динамики задымления при пожаре при различной пожарной нагрузке, коэффициенте отражения, начальной освещенности, высоте и объеме помещений, установлено, что время потери видимости уменьшается в среднем на 13 % для коэффициента отражения  $\alpha = 0,1$  относительно усредненного ( $\alpha = 0,3$ ) и увеличивается до 10 % при  $\alpha = 0,8...0,9$ .

Показано, что для ряда материалов, а также определенных цветов поверхностей конструкций помещения значение времени потери видимости, рассчитанное по стандартной методике, завышено. Определено влияние условий эксплуатации объекта на расчетное время потери видимости при пожаре. При наличии отложений темной пыли на строительных конструкциях расчетное время потери видимости уменьшается на 10 %. Установлено, что учет светораспределения приборов освещения, их размещения в помещении, размеров

помещения позволяет увеличить расчетное время наступления значений расстояния предельной видимости при пожаре в среднем на 10 %.

Представлена методика расчета расстояния предельной видимости, дополненная учетом цветовой окраски интерьера и материалов помещений, условий их эксплуатации, пространственного распределения освещенности его поверхностей, а также доли сгорания материала при определении его коэффициента дымообразования и аддитивных свойств дымообразующей способности пожарной нагрузки. Методика позволяет повысить точность расчета расстояния предельной видимости в помещениях до 30 %, оптимизировать объемно-планировочные решения, обеспечивающие эвакуацию людей при пожаре, а также проводить расчет улучшения видимости с применением АИСВ в условиях задымления при пожаре.

**В четвертой главе** изложены результаты экспериментальных исследований АИСВ в условиях пожара. Определено улучшение предельной видимости с помощью АИСВ. Установлена возможность улучшения видимости с помощью АИСВ при наличии в поле ее зрения пламени или создаваемого им теплового потока. Представлены значения временных характеристик, определяющих возможность применения АИСВ в помещениях при пожаре, а также схмотехническое решение, позволяющее реализовать указанные характеристики АИСВ.

Для определения улучшения предельной видимости с помощью АИСВ проведена серия натуральных экспериментов. Измеряемыми параметрами в условиях задымления были удельная оптическая плотность дыма, расстояние до ориентиров и освещенность в месте размещения ориентиров. Эксперименты проведены в помещении, которое использовалось при исследовании предельной видимости при пожаре. Место размещения АИСВ соответствовало размещению наблюдателей, приведенных на рисунке 1. Для учета оптических свойств дымов в качестве материалов для тестовых очагов пожара применялась древесина и резина. Для оценки улучшения предельной видимости с применением АИСВ применялись 3 методики:

1. Прямое измерение удельной оптической плотности и вычисление улучшения видимости  $A_{ув}$ .

2. Прямое измерение предельной видимости визуальным методом и вычисление улучшения видимости  $A_{ув1}$ .

3. Расчетная оценка предельной видимости с учетом прямых измерений освещенности и удельной оптической плотности дыма и вычисление улучшения видимости  $A_{ув2}$  с применением разработанной методики расчета расстояния предельной видимости.

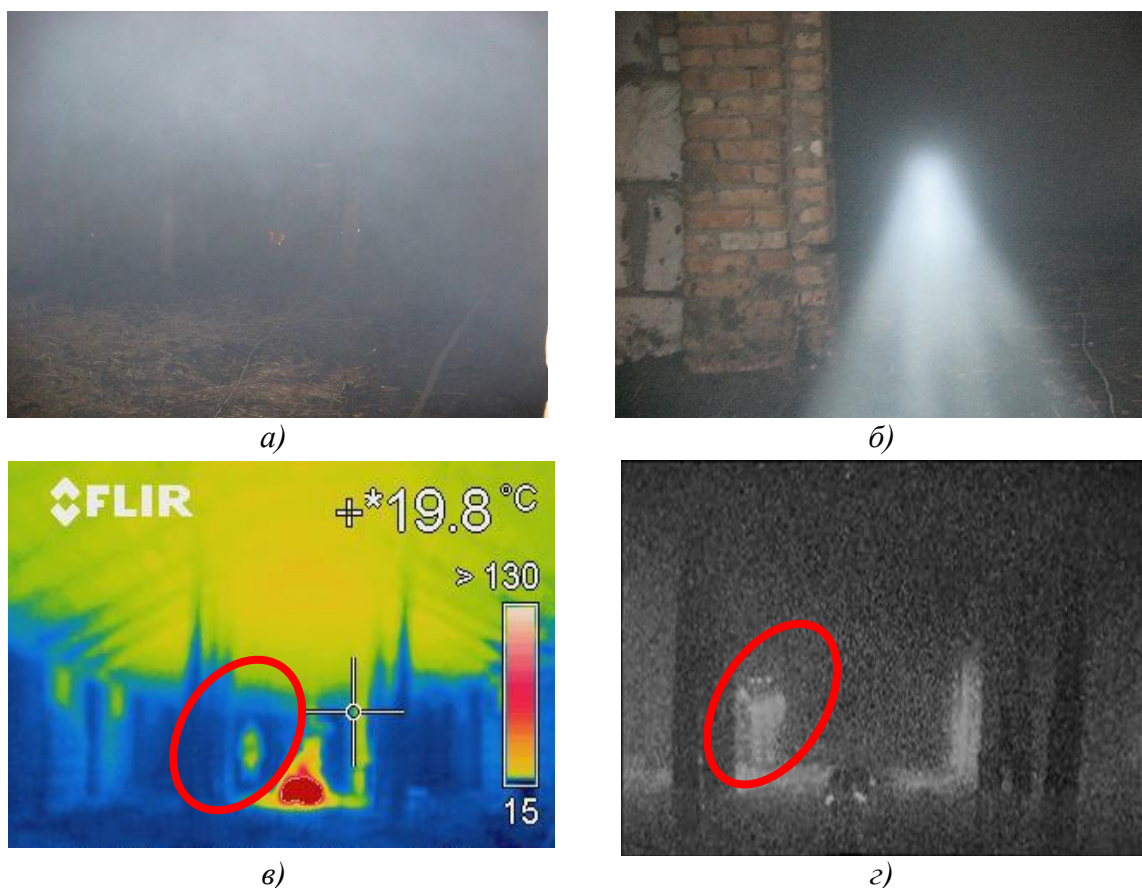
С учетом особенностей применения АИСВ в качестве объекта-ориентира выступал человек. Изучена возможность применения АИСВ в качестве

стационарного средства видеонаблюдения в тепло-дымокамерах, применяемых для тренировок спасателей-пожарных в непригодных для дыхания условиях. Для этого человек был одет в боевую одежду пожарных со световозвращающими элементами и определялось улучшение видимости  $A_{ув.свэ}$  с применением системы с учетом данной особенности объекта-ориентира.

На рисунках 4 и 5 приведены изображения ростовой фигуры человека, находящегося на расстоянии 27 м, полученные фотоаппаратом без подсветки фонарем, фотоаппаратом с подсветкой фонарем, тепловизором и АИСВ при горении древесины и резины. Обобщенные результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты измерений и расчетной оценки улучшения видимости с применением АИСВ при задымлении в помещении

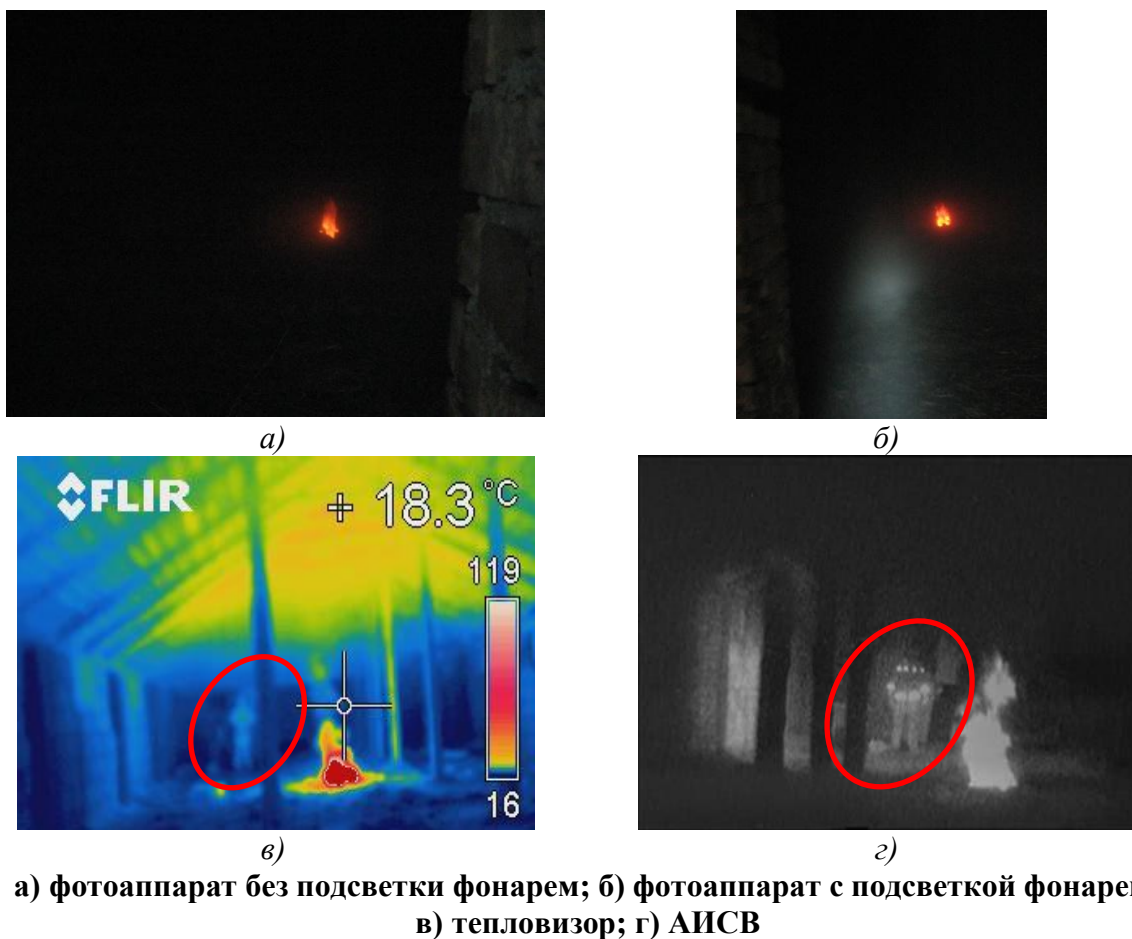
Параметр	Горючий материал	
	Древесина	Резина
Улучшение видимости $A_{ув}$	2,6±0,8	3,5±1,2
Улучшение видимости $A_{ув.свэ}$	3,4±1,0	4,5±1,6
Улучшение видимости $A_{ув1}$	3,3±0,2	3,5±0,2
Улучшение видимости $A_{ув2}$	3,6±0,8	3,1±0,4



а) фотоаппарат без подсветки фонарем; б) фотоаппарат с подсветкой фонарем; в) тепловизор; г) АИСВ

Рисунок 4. – Изображения, полученные при горении древесины



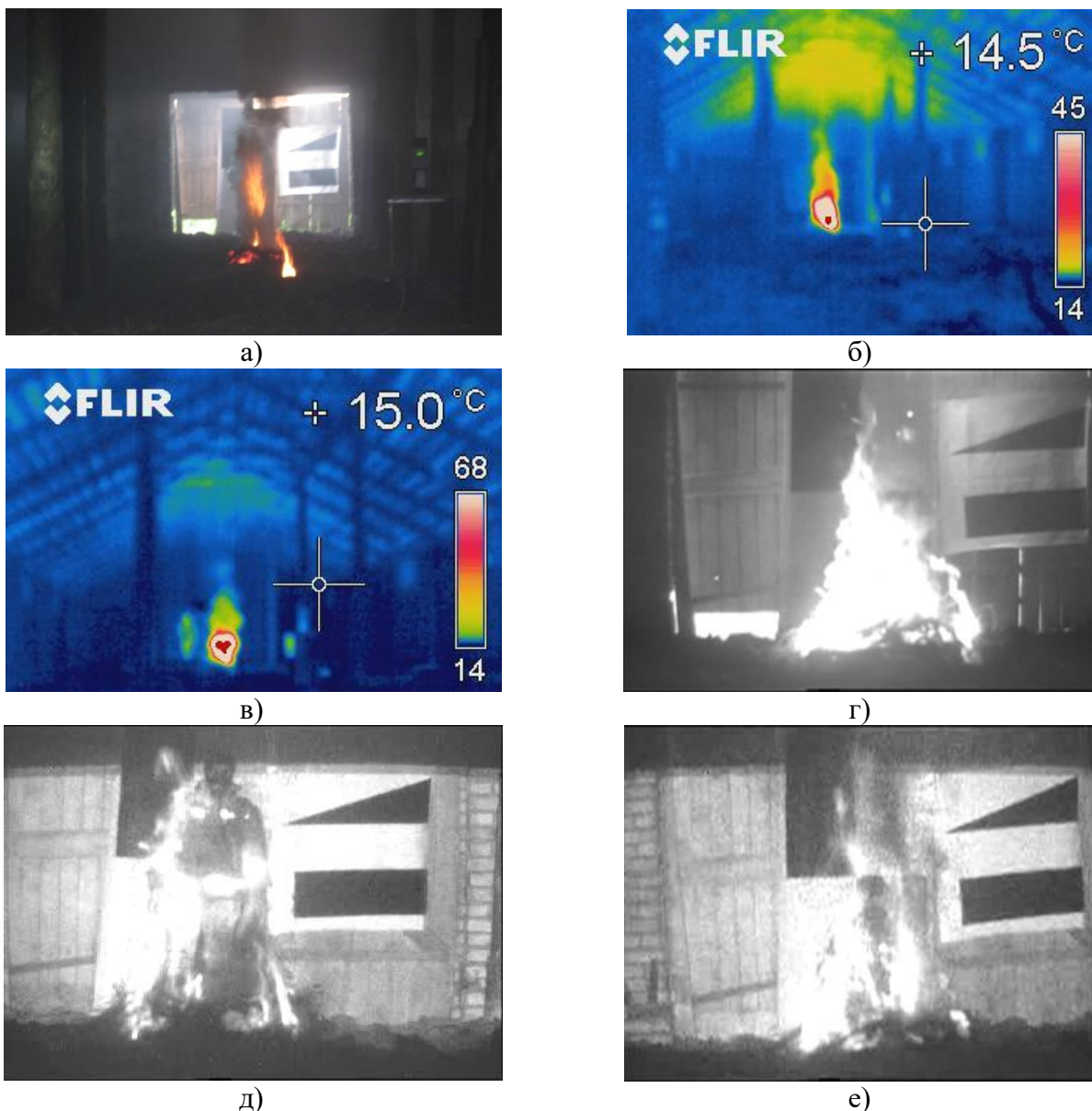


**Рисунок 5. – Изображения, полученные при горении резины**

Применение активно-импульсной системы видения при наличии «светлых» дымов (древесина) позволяет улучшить видимость в  $2,6 \pm 0,8$  раза, а при наличии «темных» дымов (резина) – в  $3,5 \pm 1,2$  раза. Расчетная оценка улучшения видимости  $A_{yn62}$  с применением разработанной методики расчета расстояния предельной видимости сопоставима со значениями, полученными визуальным методом  $A_{yn61}$  и с учетом прямых измерений удельной оптической плотности дыма ( $A_{yn6}$ ). Улучшение видимости при наличии в поле зрения системы «светлых» дымов при наличии световозвращающих элементов на одежде  $A_{yn6.свэ}$  составляет  $3,4 \pm 1,0$  раза, при наличии «темных» дымов –  $4,5 \pm 1,6$  раза.

Возможность улучшения видимости с помощью АИСВ при наличии в поле зрения пламени или создаваемого им теплового потока определялась визуально (рисунок б). В качестве тестовых очагов пожара применялись древесина и резина. Исследования проводились для АИСВ с углом обзора  $6^\circ$  и  $20^\circ$ . На рисунке б показано изображение ростовой фигуры человека, полученное с помощью АИСВ при горении древесины при угле обзора системы равном  $6^\circ$  (рисунок б г, д, е). В пассивном режиме работы системы полученные изображения (рисунок б г) аналогичны изображениям, наблюдаемым через фотоаппарат и тепловизор (рисунок б а, б).





а) цифровой фотоаппарат; б) тепловизор (человек – за пламенем); в) тепловизор (человек – слева от источника пламени); г) АИСВ в пассивном режиме; д), е) АИСВ в импульсном режиме

### Рисунок 6. – Сравнительная оценка применения технических средств

При применении импульсного режима работы электронно-оптического преобразователя (ЭОП) системы ростовая фигура отчетливо видна на мониторе системы как в случае, когда проекция фигуры выходит за проекцию пламени (рисунок 6 д), так и когда проекция фигуры не выходит за проекцию пламени (рисунок 6 е). Установлено, что при применении АИСВ с углом обзора равном  $20^\circ$  ориентиры практически не просматриваются как при горении древесины, так и при горении резины. Это объясняется квадратичным уменьшением энергии, попадающей на ЭОП с единицы площади ориентира при увеличении угла обзора на  $1^\circ$ . Для получения изображения с применением АИСВ при наличии в поле ее

зрения пламени или создаваемого им теплового потока более предпочтительным является применение систем с меньшим углом обзора.

Основными параметрами, которые влияют на возможность применения АИСВ в помещениях в условиях задымления, являются: длительность светового импульса лазерного прожектора  $\Delta t_{\text{лаз}}$ , длительность включенного состояния ЭОПа  $\Delta t_{\text{эоп}}$ , максимальная временная задержка между моментом излучения импульса света лазерным прожектором и моментом открывания ЭОП  $\Delta t_{\text{зад}}$ , частота следования лазерных импульсов  $f$ . Проведенные расчеты позволили сформулировать требования к временным параметрам АИСВ: при длине помещения от 3 до 5 м указанные параметры должны соответственно составлять:  $\Delta t_{\text{лаз}} \approx 4...7$  нс;  $\Delta t_{\text{эоп}} \leq 4...7$  нс;  $\Delta t_{\text{зад}} \approx 20...33$  нс,  $f = 5000 - 10\,000$  Гц. Представлено схемотехническое решение узла АИСВ, позволяющее реализовать указанные выше значения временных параметров системы. В частности, длительность импульса тока по уровню 0,5–5 нс с фронтами около 5...7 нс и амплитудой – 50А.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложена методика определения удельного выхода дыма для расчета расстояния предельной видимости с применением полевой модели развития пожара. Методика позволяет более точно рассчитывать значения удельного выхода дыма на основе значений коэффициента дымообразования, который определяется по стандартизированному методу расчета. Корректность определения удельного выхода дыма достигается за счет учета удельного массового коэффициента экстинкции для конкретного материала и реальной массы сгоревшего материала при расчете его коэффициента дымообразования по стандартизированному методу [3, 5, 6].

2. Рассмотрено влияние характеристик помещений и свойств пожарной нагрузки на расчетное время наступления критических значений видимости при пожаре. Показано, что расчетное время наступления значения расстояния предельной видимости при пожаре увеличивается приблизительно на 10 % при отсутствии учета реальной массы сгоревшего материала при расчете его коэффициента дымообразования по стандартизированному методу. Для повышения точности расчета времени наступления значения расстояния предельной видимости при пожаре определены средние значения коэффициента, учитывающего реальную массу сгоревшего материала при расчете его коэффициента дымообразования, равные 0,8 для природных полимерных и композиционных (на основе древесины) материалов и 0,75 для материалов из синтетических полимеров [6].

3. Коэффициент отражения поверхностей и пространственное распределение освещенности помещения оказывают значительное влияние на расчетное время

наступления значения расстояния предельной видимости при пожаре. Установлено, что для помещений с темными поверхностями и для помещений, в которых возможно наличие осажженной темной пыли на стенах (коэффициент отражения около 0,1), расчетное время наступления значений расстояния предельной видимости при пожаре уменьшается в среднем на 13 % относительно усредненного (при коэффициенте отражения равном 0,3). В помещениях со светлыми поверхностями стен (коэффициент отражения 0,8...0,9) указанное время относительно усредненного увеличивается приблизительно на 10 %. Показано, что учет светораспределения приборов освещения, их размещения в помещении, размеров помещения позволяет увеличить расчетное время наступления значений расстояния предельной видимости при пожаре в среднем на 10 % [6, 7].

4. Предложена методика расчета расстояния предельной видимости при пожаре, дополненная учетом цветовой окраски интерьера и материалов помещений, пространственного распределения освещенности его поверхностей, а также доли сгорания материала при определении его коэффициента дымообразования и аддитивных свойств дымообразующей способности пожарной нагрузки, позволяющая повысить точность расчета расстояния предельной видимости в помещениях до 30 % и оптимизировать объемно-планировочные решения, обеспечивающие эвакуацию людей при пожаре [7].

5. Рассмотрены основные методы и устройства, применяемые для проведения аварийно-спасательных работ по поиску людей при пожаре. Определена перспективность применения для этих целей активно-импульсных систем видения, принцип действия которых основан на применении метода стробирования по дальности. Установлено, что эффективность применения данных систем в условиях пожара зависит от их временных характеристик и от ослабления оптического излучения, проходящего через дым [1].

6. Определены средние значения коэффициента ослабления излучения лазера ( $\lambda = 632,8$  нм), проходящего через дым, образованный при тлении и горении современных материалов. При пламенном горении материалов коэффициент ослабления варьируется от 0,13 до 2,73 м<sup>-1</sup>, а при тлении – от 0,35 до 3,61 м<sup>-1</sup> [2].

7. Установлена эффективность применения активно-импульсных систем видения в условиях пожара. Применение активно-импульсной системы видения при наличии «светлых» дымов (древесина) позволяет улучшить видимость в 2,6±0,8 раза, а при наличии «темных» дымов (резина) – в 3,5±1,2 раза. Улучшение видимости при наличии световозвращающих элементов составляет 3,4±1,0 раза и 4,5±1,6 раза соответственно. Определена возможность применения активно-импульсной системы видения для получения изображения пространства при наличии в поле зрения пламени или создаваемого им теплового потока. Более предпочтительным является применение систем с меньшими углами обзора. Предложено схмотехническое решение узла активно-импульсной системы

видения, позволяющее реализовывать ее временные характеристики для формирования изображений при задымлении в помещении в условиях пожара [4, 16–18].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Учет реальной массы сгоревшего материала при определении его коэффициента дымообразования может быть использован для повышения точности классификации материалов по дымообразующей способности по ГОСТ 12.1.044.

2. Предложенная методика определения удельного выхода дыма на основании стандартизированного в Республике Беларусь метода расчета коэффициента дымообразования может быть применена для определения удельного выхода дыма как основной применяемой в мировой практике характеристики, определяющей дымообразующую способность материалов.

3. Предложенная методика расчета расстояния предельной видимости, учитывающая свойства пожарной нагрузки и оптические характеристики помещений, может быть использована проектными и научными организациями для повышения точности расчета необходимого времени эвакуации и оптимизации объемно-планировочных и инженерных решений, обеспечивающих своевременную эвакуацию людей при пожаре.

4. Экспериментальные данные, определяющие эффективность применения активно-импульсных систем видения в условиях задымления и ее параметры, могут быть использованы при проведении опытно-конструкторских работ и производстве приборов улучшения видимости для оснащения пожарных аварийно-спасательных подразделений.

5. Результаты исследований применены для расчета временных параметров эвакуации людей из объекта ГУК «Слонимский центр культуры и отдыха», расположенного по адресу: г. Слоним, ул. Красноармейская, 25, и при проектировании объекта «Реконструкция комплекса объектов стадиона «Динамо» в г. Минске.

6. Материалы диссертации внедрены в образовательный процесс ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» при преподавании дисциплины «Безопасность объектов, зданий и сооружений».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЯ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научно-технических журналах

1. Суриков, А.В. Основные методы и устройства, применяемые и перспективные для улучшения видимости при ЧС / А.В. Суриков, В.О. Петухов, В.В. Горобец // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 1 (29). – С. 121–129.

2. Суриков, А.В. Количественная оценка ослабления оптического излучения, проходящего через задымленную среду / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк, В.О. Петухов // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2011. – № 2 (14). – С. 14–18.

3. Суриков, А.В. Исследование процесса дымообразования с применением CFD-модели / А.В. Суриков // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2014. – Т. 9, № 1. – С. 34–41.

4. Оптико-электронная система улучшения видимости при задымлении / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк, Б.Ф. Кунцевич, В.А. Горобец // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 2 (20). – С. 4–12.

5. Суриков, А.В. Расчет видимости в помещениях в условиях пожара с применением программного комплекса FDS / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник УГЗ МЧС Республики Беларусь. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 147–160.

6. Суриков, А.В. Определение значений параметров моделирования и интерпретация выходных данных в программном комплексе FDS при расчете видимости в условиях задымления / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник УГЗ МЧС Республики Беларусь. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 308–319.

7. Суриков, А.В. Методика расчета видимости при пожаре / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник УГЗ МЧС Республики Беларусь. – 2019. – Т. 3, № 4. – С. 412–419.

### Статьи и тезисы докладов в сборниках научных трудов, материалов конференций

8. Суриков, А.В. Исследование оптических свойств дымов / А.В. Суриков // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г.: в 2 ч. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. фил. Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: И.И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2012. – Ч. 1. – С. 236.

9. Суриков, А.В. Ослабление оптического излучения при горении целлюлозосодержащих материалов / А.В. Суриков // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г.: в 2 ч. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. фил. Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: И.И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2012. – Ч. 1 – С. 237.

10. Суриков, А.В. Совершенствование определения дымообразующей способности строительных материалов / А.В. Суриков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. научн.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И.С. Сазонов (гл. ред) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 148.

11. Суриков, А.В. Влияние условий испытаний на определение дымообразующей способности материалов / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 сент. 2013 г. / КИИ; редкол.: И.И. Полевада [и др.]. – Минск, 2013. – С. 266.

12. Суриков, А.В. Моделирование процесса определения коэффициента дымообразования различных материалов / А.В. Суриков // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 мая 2014 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: И.И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. – С. 269.

13. О некоторых результатах исследования оптико-электронной системы улучшения видимости при задымлении / А.В. Суриков Н.С., Лешенюк, Б.Ф. Кунцевич, В.А. Горобец // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 мая 2014 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: И.И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. – С. 270.

14. A. Surikau, A. System of object display in conditions of smoke screening / A Surikau // Bezpieczenstwo pożarowe obiektoww budowlanych: VIII Miedzynar. Konf., Warszawa, 4–6 list. 2014 / Szkoła Głowna Sluzby Pożarniczej. – Warszawa, 2014. – P. 136–139.

15. Новак, А.Н. О моделировании процесса определения дымообразующей способности / А.Н. Новак, Т.С. Коптилеу, А.В. Суриков // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы IX междунар. науч. конф., Минск, 2–3 апр. 2015 г.: в 2 ч. / Командно-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь; орг. ком. И.И. Полевада [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 1. – С. 52.

16. Исследование возможности создания лазерной подсветки малой длительности для работы активно-импульсных систем видения при задымлении / В.А. Горобец, В.К. Кулешов, Б.Ф. Кунцевич, Н.С. Лешенюк, А.В. Суриков // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе : сб. ст. 10 Белорус.-рос. сем., Минск, 26–29 мая 2015 г. / Ин-т физики НАН Беларуси. – Минск, 2015. – С. 70–72.

17. Суриков, А.В. О разработке системы улучшения видимости в условиях

тепловых помех / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Предупреждение, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и спасение людей на местах проведения спортивно-массовых мероприятий: материалы Межд. видеоконф., Баку, 27 мая 2015 г. / Академия МЧС Азербайджанской Республики. – Баку, 2015. – С. 14–16.

18. Суриков, А.В. Система визуализации объекта при пониженной прозрачности окружающей среды и повышенных температурах / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. ст. по материалам IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. 15–16 дек. 2015 г.: в 2 ч. / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2015. – Ч. 1. – С. 441–444.

## РЕЗЮМЕ

Суриков Андрей Валерьевич

Видимость в помещении при пожаре и система ее улучшения

**Ключевые слова:** видимость, коэффициент ослабления оптического излучения, дымообразующая способность, моделирование, активно-импульсная система видения.

**Цель работы** – повысить безопасность людей при пожаре путем разработки методики расчета критического значения расстояния предельной видимости, учитывающую свойства пожарной нагрузки и оптические характеристики помещений, и определения условий применения и параметров активно-импульсной системы видения в условиях задымления.

**Методы исследования и аппаратура.** Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований видимости в условиях задымления. Для определения расстояния предельной видимости применялись визуальные и инструментальные методы измерения. Для контроля параметров результатов использовались: измеритель оптической плотности среды ИОП-1, дальномер Bosch DLE 50 Professional, тепловизор FLIR ThermaCAM E300; фотокамеры. Для обработки результатов измерений применялись статистические методы с использованием персонального компьютера.

**Полученные результаты и их новизна.** Предложена методика определения удельного выхода дыма при горении различных материалов. Разработана методика расчета расстояния предельной видимости в помещениях, позволяющая повысить точность расчета необходимого времени эвакуации людей при пожаре. Получены значения по улучшению видимости при применении активно-импульсной системы видения в условиях задымления. Установлена возможность применения активно-импульсной системы видения при наличии в поле зрения системы пламени или создаваемого им теплового потока. Предложено схемотехническое решение узла активно-импульсной системы видения, позволяющее реализовывать ее временные характеристики для формирования изображений при задымлении в помещении в условиях пожара.

**Рекомендации по использованию.** Результаты исследований могут быть использованы проектными организациями при разработке архитектурных и строительных проектов, а также органами и подразделениями МЧС при проверке проектной документации, а также производителями при разработке оборудования, предназначенного для визуализации объектов в условиях пожара.

**Область применения.** Проектно-конструкторские организации, органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям, высшие учебные заведения.



## РЭЗІЮМЭ

Сурыкаў Андрэй Валер'евіч

Бачнасць у памяшканні пры пажары і сістэма яе паляпшэння

**Ключавыя словы:** бачнасць, каэфіцыент паслаблення аптычнага выпраменьвання, дыматворная здольнасць, мадэляванне, актыўна-імпульсная сістэма бачання.

**Мэта работы** – павысіць бяспеку людзей пры пажары шляхам распрацоўкі методыкі разліку крытычнага значэння адлегласці лімітавай бачнасці, якая ўлічвае ўласцівасці пажарнай нагрузкі і аптычныя характарыстыкі памяшканняў, і вызначэння умоў прымянення і параметраў актыўна-імпульснай сістэмы бачання ва ўмовах задымлення.

**Метады даследавання і апаратура.** Агульная метадалогія працы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў бачнасці ва ўмовах задымлення. Для вызначэння адлегласці лімітавай бачнасці ва ўмовах пажару ўжываліся візуальныя і інструментальныя метады вымярэння. Для кантролю параметраў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся: вымяральнік аптычнай шчыльнасці асяроддзя ИОП-1, далямер Bosch DLE 50 Professional, цеплавізар FLIR ThermoCAM E300; фотакамеры. Для апрацоўкі вынікаў вымярэнняў ўжывалі статыстычныя метады з выкарыстаннем персанальнага кампутара.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Прапанавана методыка вызначэння ўдзельнага выхаду дыму пры гарэнні розных матэрыялаў. Распрацавана методыка разліку адлегласці лімітавай бачнасці ў памяшканнях, якая дазваляе павысіць дакладнасць разліку неабходнага часу эвакуацыі людзей пры пажары. Атрыманы значэння па паляпшэнню бачнасці пры ўжыванні актыўна-імпульснай сістэмы бачання ва ўмовах задымлення. Устаноўлена магчымасць прымянення актыўна-імпульснай сістэмы бачання пры наяўнасці ў поле зроку сістэмы полымя або што ім ствараецца цеплавога патоку. Прапанавана схематэхнічнае рашэнне вузла актыўна-імпульснай сістэмы бачання, якое дазваляе рэалізоўваць яе часовыя характарыстыкі для фарміравання малюнкаў пры задымленні ў памяшканні ва ўмовах пажару.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вынікі даследаванняў могуць быць выкарыстаны праектнымі арганізацыямі пры распрацоўцы архітэктурных і будаўнічых праектаў, а таксама органамі і падраздзяленнямі МНС пры праверцы праектнай дакументацыі, а таксама вытворцамі пры распрацоўцы абсталявання, прызначанага для візуалізацыі аб'ектаў ва ўмовах пажару.

**Галіна выкарыстання.** Праектна-канструктарскія арганізацыі, органы і падраздзяленні па надзвычайных сітуацыях, вышэйшыя навучальныя ўстановы.

## SUMMARY

Surikov Andrey

Indoor visibility during a fire and its improvement system

**Key words:** visibility, extinction coefficient of optical radiation, smoke generating ability, modeling, active-impulse vision system.

**The aim of the dissertation** – to increase the safety of people in case of fire by developing methods for calculating the critical value of the distance of maximum visibility, taking into account the properties of the fire load and the optical characteristics of the premises, and determining the application conditions and parameters of the active-pulse vision system in smoke conditions.

**The methods of analysis and equipment.** The general methodology of the work involved a combination of theoretical and experimental studies of visibility in smoke conditions. To determine the distance of the maximum visibility, visual and instrumental measurement methods were used. To control the parameters and process the results, the following were used: optical density meter IOP-1, rangefinder Bosch DLE 50 Professional, thermal camera FLIR ThermaCAM E300; cameras. To process the measurement results statistical methods were used with using a personal computer.

**The results obtained and their novelty.** A methods is proposed for determining the specific smoke output during the combustion of various materials. A methods has been developed for calculating the distance of maximum visibility in the premises, which allows to increase the accuracy of calculating the necessary time for evacuating people in case of fire. Values are obtained for improving visibility when using an active-pulse vision system in smoke conditions. The possibility of using an active-pulse vision system in the presence of a flame system or the heat flux created by it is established. A circuit solution for the node of an active-impulse vision system is proposed, which makes it possible to realize its temporal characteristics for image formation during smoke in a room in a fire.

**The practical importance of the research and the sphere of application.** The research results can be used by design organizations in the development of architectural and construction projects, as well as bodies and units of the Ministry of Emergency Situations when checking project documentation, as well as manufacturers in the development of equipment designed to visualize objects in a fire.

**The field of application.** Design organizations, Ministry of Emergency Situations, higher education establishment.

Научное издание

**Суриков Андрей Валерьевич**

**ВИДИМОСТЬ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПОЖАРЕ И СИСТЕМА ЕЕ  
УЛУЧШЕНИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность  
(горение, тепломассоперенос)

Подписано в печать 16.03.2020.  
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,74.  
Тираж 60. Заказ 019-2020.

Полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/259 от 14.10.2016.  
ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.