ООО «3к-эксперт»

ФГБУН
Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН

ФГБУН
Институт теплофизики им. Кутателадзе Сибирского отделения РАН

ФГБОУ ВПО
«Сибирский государственный технологический университет»

Компьютерная программа

«Виртуальный тренажер Сигма ПБ»

Виртуальный дидактический материал по курсу

«Пожарная безопасность»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Красноярск 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки **4**

Определения **5**

Обозначения и сокращения **6**

1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА И ЭВАКУАЦИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ **7**

1.1 Концеция использования вычислительного эксперимента 7

1.2 Использование компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации в оценке степени пожаробезопасности объектов науки и образования 9

1.3 Ипользование компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации в образовательном процессе 11

1.4 Концеция учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» 14

1.5 Описание учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» применительно к задачам демонстрации эффектов применения современных средств пожарной безопасности 17

2 МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЧЕБНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР СИГМА ПБ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ **19**

2.1 Описание учебного програмного комплекса «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» 19

2.2 Функции программы 20

2.3 Принципы формирования базы сценариев, проведения расчетов и визуализации 22

2.4 Описание базы сценариев для общеобразовательного учреждения..... 24
2.5 Развернутое описание сценариев для общеобразовательного учреждения 36
3 ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА СЦЕНАРИЕВ..... 58
3.1 Пояснения к технологии выполнения расчетов и визуализации 58
3.2 Общеобразовательное учреждение 60
3.2.1 Особенности геометрии здания..... 60
3.2.2 Расположение очагов пожара 62
3.2.3 Влияние геометрических факторов..... 64
3.2.3.1 Объем здания, доступный для распространения ОФП 64
3.2.3.2 Расположение очага пожара 67
3.2.3.3 Геометрические факторы и эвакуация..... 69
3.2.4 Влияние пожарных факторов 75
3.2.4.1 Применение первичного пожаротушения (огнетушителей) 75
3.2.4.2 Противодымные двери 78
3.2.4.3 Двери с доводчиками..... 80
3.2.4.4 Площадь пожарной нагрузки 82
3.2.4.5 Тип пожарной нагрузки..... 84
3.2.5 Влияние человеческих факторов..... 90
3.2.5.1 Квалификация пользователя огнетушителем 90
3.2.5.2 Задержка начала эвакуации 92
3.2.5.3 Использование эвакуационных выходов..... 95
3.2.6 Обобщение исследования для здания общеобразовательного учреждения 97
3.3 Рекомендации по практическому снижению пожароопасности объектов сферы науки и образования 98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 100

Нормативные ссылки

В настоящем руководстве использованы ссылки на следующие стандарты.

ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.033-81. Пожарная безопасность. Термины и определения.

ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

ППБ 01-03. «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации».

ППБ 101-89. «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, школ-интернатов, детских домов, дошкольных, внешкольных и других учебно-воспитательных учреждений».

Об утверждении норм пожарной безопасности «Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций», Приказ МЧС РФ от 12.12.2007 г., зарегистрировано в Минюсте РФ 21.01.2008 г. № 10938.

СП 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

СП 2.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре».

СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».

СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации».

ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123.

МЕТОДИКА определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (в новой редакции, утвержденной Приказом МЧС № 749 от 12.12.2011).

Определения

В настоящем руководстве применены следующие термины с соответствующими определениями.

Опасный фактор пожара – фактор пожара, воздействие которого приводит к травме, отравлению или гибели человека, а также к материальному ущербу.

Очаг пожара – место первоначального возникновения пожара.

Пожар – явление, приводящее к образованию опасных факторов пожара.

Пожарная нагрузка – количество теплоты, отнесенное к единице поверхности пола, которое может выделиться в помещении или здании при пожаре.

Помещение объекта – комната (кабинет) и часть коридоров, лестничной клетки в которых могут находиться люди или через которые проходит эвакуация людей.

Развитие пожара – увеличение зоны горения и/или вероятности воздействия опасных факторов пожара.

Сценарий пожара – система принимаемых при расчете допущений о месте возникновения пожара и характере его развития. Сценарий пожара формулируется на основе данных об объемно-планировочных решениях, размещении горючей нагрузки на объекте, размещении людей, материальных ценностей и т.д.

Сценарий эвакуации – система принимаемых при расчете допущений о расположении людей, их физических и эмоциональных состояниях, действий при пожаре, состоянии эвакуационных выходов, расположении мебели. Сценарий эвакуации формулируется на основе данных о функциональном назначении объекта, режиме дня объекта, текущих или предполагаемых условий эксплуатации объекта, условий информированности людей об инфраструктуре, знаний правил ПБ.

Эвакуация людей при пожаре – вынужденный процесс движения людей из зоны, где имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара.

Обозначения и сокращения

БД	База данных
ГМ	Горючий материал
ЛК	Лестничная клетка
ОП	Очаг пожара
ОУ	Общеобразовательное учреждение
ОФП	Опасный(е) фактор(ы) пожара
ПН	Пожарная нагрузка
ПБ	Пожарная безопасность
ПДЗ	Предельно допустимые значения

1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА И ЭВАКУАЦИИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Концеция использования вычислительного эксперимента

В настоящее время методы математического моделирования и вычислительные технологии достигли уровня, когда можно проводить компьютерное моделирование очень сложных процессов. Современное развитие вычислительной техники позволяет сделать доступным вычислительный эксперимент для решения широкого круга задач, в число которых входят и задачи пожарной безопасности, в том числе в части обучения в области пожарной безопасности.

Вычислительный эксперимент является быстрым, дешевым и надежным способом оценивания возможных сценариев развития событий. А в задачах пожарной безопасности, порой, единственным. Только с помощью вычислительного эксперимента можно проиграть опасные ситуации без риска нанести ущерб жизни и здоровью людей. С помощью вычислительного эксперимента, то есть компьютерного моделирования (имитирования) процессов развития пожара и эвакуации, можно наглядно показывать влияние различных условий на исход эвакуации, включая применение современных средств пожарной безопасности.

Компьютерное моделирование развития пожара и эвакуации на объекте при различных условиях и сопутствующий качественный (пространственная визуализация людских потоков и распространения ОФП) и количественный анализ расчетов дают представление о пространственно-временных характеристиках процессов в заданных условиях, о влиянии этих условий на соответствующие процессы.

Динамическая пространственная (2D-3D) визуализация является неотъемлемой частью вычислительного эксперимента благодаря современному

развитию вычислительной техники и компьютерных технологий. Визуализация позволяет сделать обучение наглядным, «оживляет» ту информацию, которая раньше могла быть подана либо словесно, либо на статических картинках, задействует дополнительный канал доставки информации до «цели». Тем самым повышается эффективность обучения.

Моделирование процесса всегда дает лишь оценку его динамики и характерных показателей, но чем адекватней и гибче используемый математический аппарат - модель процесса, тем достоверней получаемая оценка.

Моделирование распространения ОФП целесообразно проводить полевой моделью, как более мощным и универсальным инструментом, чем зональная модель [1]. Вместо одной или нескольких больших зон в полевых моделях выделяется большое количество (обычно десятки тысячи или сотни тысяч) контрольных объемов, никак не связанных с предполагаемой структурой потока. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных: уравнение неразрывности, уравнения сохранения количества движения (уравнения Навье-Стокса), уравнение сохранения энергии. В своей основе полевой метод не содержит никаких априорных допущений о структуре течения, и в связи с этим принципиально применим для рассмотрения любого сценария развития пожара.

Наиболее универсальным подходом к моделированию движения людей, используемым для моделирования эвакуации из зданий, является индивидуально-поточный [1]. В этом случае моделируется движение каждого отдельного человека с учетом наличия других участников движения и граничных условий. Моделью индивидуально- поточного типа можно моделировать следующие явления, свойственные поточному движению: слияние, переформирование (растекание, уплотнение), неодновременность слияния потоков, образование и рассасывание скоплений, обтекание поворотов, движение в помещениях с развитой внутренней планировкой, противотоки и пересекающиеся потоки. Предусмотрена возможность учета изменения видимости (например, по причине задымления), информированности людей о планировке здания, использование различных стратегий движения (кратчайшего пути и кратчайшего времени). Размеры и формы проекции людей, скорости свободного движения могут задаваться индивидуально в зависимости

от цели моделирования. Скорость движения человека зависит от плотности и группы мобильности и удовлетворяет известным зависимостям изменения скорости с изменением плотности потока [1, 3, 7].

1.2 Использование компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации в оценке степени пожаробезопасности объектов науки и образования

Современные возможности компьютерного моделирования в области пожарной безопасности позволяют определять условия эксплуатации, присущие объектам образования и науки, как варьируемые переменные моделирования и изучать их влияние на исход эвакуации при пожаре. Список варьируемых переменных определяется математическим аппаратом, используемым для моделирования эвакуации и распространения ОФП.

Для объектов науки и образования можно выделить следующие параметры как рискообразующие [2]:

1. Время обнаружения возгорания.
2. Пожарная нагрузка.
3. Пожаротушение на начальной стадии пожара.
4. Время начала эвакуации.
5. Количество людей в здании.
6. Распределение людей по зданию.
7. Геометрические характеристики путей эвакуации (включая загроможденность путей эвакуации).
8. Характеристики работы системы противопожарной защиты.
9. Состояние эвакуационных выходов.
10. Состояние дверей и дверных проемов.
11. Управление эвакуацией.

Если использовать для моделирования развития пожара полевую модель (Computational Fluid Dynamics model), а для моделирования эвакуации модель

индивидуально-поточного типа, то эти рискообразующие факторы могут быть учтены как варьируемые параметрами моделирования.

Выполнение расчета эвакуации или эвакуации при пожаре с различными значениями варьируемых параметров (в том числе соответствующих реальным условиям эксплуатации объекта) позволяет изучать, представляют ли эти условия угрозу жизни и здоровью людей на объекте. Результатами моделирования является отчет о результатах эвакуации с этажей и здания в целом, временах блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара, количестве людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших предельно допустимых значений. Это является информацией для оценивания пожаробезопасности объекта, и, как следствие, для оценивания его защищенности. Основываясь на результатах расчетов можно формировать план по снижению уровня угроз пожарной безопасности на объекте.

Сценарная база учебного программного комплекса «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» позволяет демонстрировать возможности вычислительного эксперимента с точки зрения оценивания степени пожаробезопасности объекта на примере конкретных объектов науки и образования.

Целесообразно с точки зрения повышения пожарозащищенности объектов науки и образования является оснащение конкретных объектов программным комплексом аналогичным по функционалу программе «Виртуальный тренажер Сигма ПБ», но со сценарным наполнением соответствующим зданиям учреждения. Такой программный комплекс на объекте может использоваться и как инструмент для руководителя, ответственного за обеспечение безопасного пребывания людей на объекте, и как инструмент обучения нормам безопасности с учетом специфики данного объекта. Отдельные сценарии можно использовать в пассивном режиме обучения. Пассивный режим представляет регулярный виртуальный ПБ инструктаж по эвакуации посредством 2D, 3D-визуализации планов эвакуации на мониторах, расположенных в здании. Пассивный режим доступен не только для

постоянных посетителей здания (учащихся и сотрудников), но и для случайных посетителей, не знакомых с планировкой здания и путями эвакуации.

1.3 Ипользование компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации в образовательном процессе

Вычислительный эксперимент целесообразно использовать в образовательном процессе в области пожарной безопасности в качестве инструмента для повышения эффективности и наглядности обучения, повышения качества усвоения материала.

Сопровождение учебного процесса вычислительным экспериментом может проходить в разных ключах в зависимости от целей обучения. Рассмотрим варианты использования в образовательном процессе учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

1). Образовательный процесс в рамках профессионального обучения, когда слушателями являются специалисты в области безопасности, в том числе пожарной. Компьютерное моделирование сценариев развития пожара и эвакуации на объекте при различных условиях и сопутствующий качественный и количественный анализ расчетов дают представление о пространственно-временных характеристиках процессов в заданных условиях.

Сценарное и функциональное наполнение программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» таково, что анализ отдельного сценария или совокупности сценариев позволяет решать следующие задачи на профессиональном уровне:

- изучение особенностей распространения ОФП (в том числе с привязкой к объемно-планировочным решениям);
- изучение влияния типа и объема пожарной нагрузки на динамику пожара;
- изучение влияния своевременных мер по пожаротушению на исход эвакуации;
- изучение влияния времени начала эвакуации на исход эвакуации при пожаре;

– изучение влияния степени использования эвакуационных путей и выходов на исход эвакуации;
– изучения влияния использования мер противопожарной защиты;
– априорная выработка наборов решений (планов эвакуации) для различных сценариев протекания пожара с привязкой к конкретному объекту (включая поэтапную эвакуацию);
– изучение «узких» мест планировки зданий с целью формирования способов управления людскими потоками;
– формирование схем эвакуации.

Примеры сравнительного анализа влияния различных условий на динамику развития пожара и исход эвакуации, выполненного с применением сценарной базы и инструментов анализа программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» приведены в главе 3.

2). Общий курс по теме «Пожарная безопасность»: слушателями являются представители различных организаций, руководители и специалисты по пожарной безопасности. Цель обучения - изучение общих принципов норм и правил пожарной безопасности. В этом случае в соответствии с темами учебного плана средствами вычислительного эксперимента на примере отдельных зданий можно демонстрировать влияние тех или иных условий (рискообразующих факторов) на исход эвакуации при пожаре. Рискообразующими факторами, влияние которых учтено при составлении сценарной базы учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ», являются:

– объемно-планировочное решение (включая противопожарные двери, доводчики),
– место возгорания,
– типы и площадь пожарной нагрузки,
– применение пожаротушения на начальной стадии горения,
– функционирование пожарной сигнализации,

– пути эвакуации (загроможденность, доступность эвакуационных выходов),
– время реакции на оповещение.

Для того чтобы показать влияние какого-либо условия (рискообразующего фактора) на исход эвакуации изменяется состояние только этого фактора при всех прочих равных условиях. Сценарная база программы позволяет это делать.

Визуализация каждого сценария сопровождается количественным анализом в виде отчета, содержащего информацию:

– общее время эвакуации,
– время эвакуации с этажей через каждый выход с этажа,
– время блокирования ОФП каждого этажа и времена достижения критических значений всеми другими ОФП,
– общая статистика по воздействию на людей ОФП, достигших предельно допустимых концентраций (время начала воздействия и вид ОФП, максимальная продолжительность пребывания людей в зоне, где ОФП достигли предельно допустимых концентраций, количество человек, попавших во время эвакуации в такую).

В качестве ОФП рассматриваются: тепловой поток, температура окружающей среды, концентрация CO (угарный газ), концентрация CO_2 (углекислый газ), концентрация HCl (хлороводород), концентрация O_2 (кислорода), видимость в дыму. Предельно допустимые значения каждого из ни принимаются по Методике расчета пожарного риска [1]

3). Курс по пожарной безопасности для сотрудников и руководителей конкретного учреждения, целью которого является изучение общих принципов норм и правил пожарной безопасности, выработка конкретных решений для собственного здания(ий) (управление людскими потоками, формирование планов эвакуации для различных сценариев развития ЧС и в целом пространственно-временная организация безопасного движения людей).

База данных программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» может быть расширена новыми объектами и сценариями, учитывающими специфику новых объектов. В этом случае саму программу можно позиционировать как

«настольный» инструмент ответственного за пожарную безопасность на объекте.

4). Обучение пожарной безопасности для учащихся образовательных учреждений. Цель – изучение норм и правил ПБ с привязкой к конкретному объекту образовательного учреждения (изучение путей эвакуации, расположения эвакуационных выходов, выполнение ситуационных заданий в трехмерном виртуальном пространстве здания в условиях приближенных к реальному пожару).

Использование средств вычислительного эксперимента в целях обучения в области пожарной безопасности предложено и реализовано впервые. В силу наглядности (за счет трехмерной визуализации процессов и подробного количественного отчета) этот подход предполагает быть эффективным способом повышения качества усвоения учебного материала. Как следствие ожидается повышение уровня пожаробезопасности объектов образования и науки, снижение угрозы жизни и здоровью людей, повышение культуры пожарной безопасности в целом. Такой подход при обучении в области пожарной безопасности является новационным в России.

1.4 Концеция учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ»

Проведение вычислительного эксперимента обеспечивается использованием программных продуктов, реализующих модели соответствующих процессов. В настоящее время существуют программные комплексы, позволяющие выполнять моделирование эвакуации и распространения ОФП. Все они рассчитаны либо на расчет времени блокирования либо на расчет времени эвакуации, выполнение взаимоувязанных расчетов не предполагается, далеко не все программы имеют графическую среду для трехмерной визуализации расчетов. Все программы являются коммерческими продуктами. Это все

является причинами, затрудняющими или исключающими вообще их использование в образовательном процессе.

Концепция учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» - применение вычислительного эксперимента в качестве наглядного инструмента в учебном процессе. Тем самым программа является виртуальным наглядным дидактическим материалом для обучения пожарной безопасности.

Для удобства использования в учебном процессе были предварительно разработаны[1] и рассчитаны с помощью программных комплексов, реализующих полевую модель пожара и модель движения людей индивидуально-поточного типа, актуальные сценарии для двух зданий (типовое общежитие ВУЗа коридорного типа, типовая общеобразовательная школа). Для расчетов использовались отечественные программные комплексы «SigmaFire»© [5] и «SigmaEva»© [6] соответственно. Результаты расчетов помещены в базу данных программы.

Сценарное наполнение программы соответствует содержанию курса «Пожарная безопасность». Путем пространственной визуализации, сопровождаемой количественным анализом, программа позволяет наглядно изучать динамику развития различных сценариев пожара, эвакуации при пожаре, оценивать влияние различных условий (в том числе рискообразующих факторов) на исход эвакуации.

Для проведения анализа сценариев в программе организована поддержка следующих функций:

1) доступ к описанию зданий образовательного учреждения и общежития;
2) доступ к списку сценариев развития пожара, эвакуации (без учета пожара) и эвакуации при пожаре для общеобразовательного учреждения и описанию расчетных ситуаций для каждого сценария;

[1] Процесс введения исходных данных для расчета сценария эвакуации и пожара требует времени, сам расчет является времеемким (требуется от десятков часов зависимости от объема расчетной области) и ресурсоемким.

3) доступ к списку сценариев развития пожара, эвакуации (без учета пожара) и эвакуации при пожаре для общежития и описанию расчетной ситуации для каждого сценария;
4) интерактивный интерфейс для выбора сценария;
5) подробное описание выбранного сценария (размещение очага пожара, тип пожарной нагрузки, площадь пожарной нагрузки, состояние внутренних дверей, сработка сигнализации, тушение на начальной стадии, использование выходов из здания (все выходы, только центральный), время начала эвакуации, загроможденность путей эвакуации, распределение людей по зданию);
6) визуализация расчета выбранного сценария с возможностью менять позицию наблюдателя, «скрывать» элементы здания, демонстрировать динамику полей ОФП (тепловой поток, температура окружающей среды, концентрация CO, концентрация CO_2, концентрация HCl, концентрация O_2, видимости в дыму) на высоте 1,7 м, динамику поля плотности потока в единицах [чел/м^2];
7) интерактивный режим запроса текущей статистической информации в режиме работы визуализатора (количество людей в текущий момент в выделенном помещении, площадь помещения, на которой заданный ОПФ достиг предельно допустимых значений), информация выдается в численном и графическом виде;
8) доступ к итоговому отчету о результатах эвакуации с этажей и здания в целом, временах блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара, количестве людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших предельно допустимых значений (тепловой поток > 1400 Вт/м^2, температура окружающей среды > 70 ^{o}C, концентрация CO > $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3, концентрация CO_2 > 0,11 кг/м^3, концентрация HCl > $23 \cdot 10^{-6}$ кг/м^3, концентрация O_2 < 0,226 кг/м^3, видимость в дыму (оптическая плотность дыма) > 0.119 1/м).

1.5 Описание учебной компьютерной программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» применительно к задачам демонстрации эффектов применения современных средств пожарной безопасности

Формирование базы сценариев проводилось исходя из двух принципов:

– целесообразность демонстрации и изучения влияния тех или иных условий с точки зрения целей обучения,
– возможности программных комплексов, используемых для расчета эвакуации и развития пожара.

Список варьируемых условий (параметров), учтенных при расчетах, следующий:

- размещение очага возгорания,
- тип пожарной нагрузки,
- площадь пожарной нагрузки,
- состояние внутренних дверей,
- сработка сигнализации,
- тушение на начальной стадии,
- использование выходов из здания,
- время начала эвакуации,
- загроможденность путей эвакуации.

Для каждого здания был сформирован определенный набор значений по каждому пункту из списка с тем, чтобы продемонстрировать влияние каждого параметра на исход эвакуации при пожаре как минимум для двух состояний.

Исходя их списка условий, учтенных при расчетах сценариев, сохраненных в базе данных программы, и возможности их варьировать, учебная компьютерная программа «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» обеспечивает демонстрацию эффекта применения следующих современных средств пожарной безопасности:

- использование средств тушения (ручной огнетушитель) на начальной стадии пожара,

- использование средств противодымной защиты (противодымные двери, двери с доводчиками);

- использование систем обнаружения и оповещения о пожаре;

- подготовленность персонала, преподавательского состава и учащихся к действиям в случае возникновения пожара.

Методология работы с программой подробно описываются в следующей главе. Примеры анализа сценариев с целью показать влияние состояний исследуемых параметров приведены в главе 3.

2 МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЧЕБНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР СИГМА ПБ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

2.1 Описание учебного програмного комплекса «Виртуальный тренажер Сигма ПБ»

Учебная компьютерная программа «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» предназначена для использования в обучающих целях в области пожарной безопасности применительно к объектам образования и науки.

Программа является виртуальным дидактическим материалом по курсу «Пожарная безопасность», позволяет использовать вычислительный эксперимент в учебном процессе.

Программа содержит базу расчетов сценариев развития пожара и эвакуации для типовых зданий общеобразовательного учреждения и многоэтажного общежития коридорного типа. Под сценарием понимается совокупность параметров (которые возможны на объекте), значения которых учитываются заданием начальных и граничных условий при проведении расчета: моделирование развития пожара, эвакуации при пожаре, эвакуации. Сценарии составлены в соответствии с курсом «Пожарная безопасность» и предназначены для демонстрации и изучения влияния рискообразующих факторов на развитие пожара и исход эвакуации.

Рассмотрены следующие рискообразующие факторы:

- размещение очага пожара,
- тип пожарной нагрузки,
- площадь пожарной нагрузки,
- состояние внутренних дверей,
- сработка сигнализации,
- тушение на начальной стадии,
- использование выходов из здания (все выходы, только центральный),
- время начала эвакуации,

– загроможденность путей эвакуации,

– распределение людей по зданию.

Расчеты распространения опасных факторов пожара (ОФП) выполнены полевой моделью развития пожара. Расчеты эвакуации выполнены моделью индивидуально поточного типа. Для расчетов использовались отечественные программные комплексы «SigmaFire»© и «SigmaEva»© соответственно.

Модуль визуализации расчетов сценариев позволяет менять позицию наблюдателя и в разных частях здания наблюдать процесс эвакуации, распространения дыма и полей опасных факторов пожара: 1) тепловой поток; 2) температура окружающей среды; 3) концентрация CO (угарный газ); 4) концентрация CO_2 (углекислый газ); 5) концентрация HCl (хлороводород); 6) концентрация O_2 (кислород); 7) видимость в дыму, на высоте 1,7 м от пола в зависимости от заданных условий. По запросу пользователя в интерактивном режиме выдается статистическая информация по сценарию (времена эвакуации с этажей и здания в целом, времена блокирования путей эвакуации, длительность плотных (> 6 чел./м^2) скоплений, количество людей, подвергшихся воздействию ОФП, превышающих критические значения).

Пространственная визуализация, сопровождаемая количественным анализом, позволяет наглядно изучать динамику развития пожара, оценивать влияние рискообразующих факторов на исход эвакуации.

2.2 Функции программы

Программа поддерживает следующие функции:

1) предоставляет информацию о программе, ее назначении;
2) предоставляет доступ к описанию зданий образовательного учреждения и общежития;
3) предоставляет доступ к списку сценариев развития пожара, эвакуации (без учета пожара) и эвакуации при пожаре для общеобразовательного учреждения и описанию расчетных ситуаций для каждого сценария;

4) предоставляет доступ к списку сценариев развития пожара, эвакуации (без учета пожара) и эвакуации при пожаре для общежития и описанию расчетной ситуации для каждого сценария;
5) обеспечивает интерактивный интерфейс для выбора сценария;
6) предоставляет подробное описание выбранного сценария (размещение очага пожара, тип пожарной нагрузки, площадь пожарной нагрузки, состояние внутренних дверей, сработка сигнализации, тушение на начальной стадии, использование выходов из здания (все выходы, только центральный), время начала эвакуации, загроможденность путей эвакуации, распределение людей по зданию);
7) обеспечивает визуализацию расчета выбранного сценария с возможностью менять позицию наблюдателя, «скрывать» элементы здания, демонстрировать динамику полей ОФП (тепловой поток, температура окружающей среды, концентрация CO, концентрация CO_2, концентрация HCl, концентрация O_2, видимости в дыму) на высоте 1,7 м, динамику поля плотности потока в единицах [чел/м^2];
8) обеспечивает интерактивный режим запроса текущей статистической информации в режиме работы визуализатора (количество людей в текущий момент в выделенном помещении, площадь помещения, на которой заданный ОПФ достиг критических значений), информация выдается в численном и графическом виде;
9) предоставляет доступ к итоговому отчету о результатах эвакуации с этажей и здания в целом, временах блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара, количестве людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших критических значений (тепловой поток > 1400 Вт/м^2, температура окружающей среды > 70 ^{o}C, концентрация CO > $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3, концентрация CO_2 > 0,11 кг/м^3, концентрация HCl > $23 \cdot 10^{-6}$ кг/м^3, концентрация O_2 < 0,226 кг/м^3, видимость в дыму (оптическая плотность дыма) > 0.119 1/м).

2.3 Принципы формирования базы сценариев, проведения расчетов и визуализации

Программа содержит базу сценариев для двух объектов сферы науки и образования: общеобразовательное учреждение и общежитие. Сценарии разделены на три группы:

- сценарии пожара (эвакуация не моделируется),
- сценарии эвакуации (развитие пожара не моделируется),
- сценарии эвакуации при пожаре (выполнены взаимоувязанные расчеты).

Формирование базы сценариев проводилось исходя из двух принципов:

– целесообразность демонстрации и изучения влияния тех или иных условий с точки зрения целей обучения,

– возможности программных комплексов, используемых для расчета эвакуации и развития пожара.

Для демонстрации влияния рискообразующих факторов (параметров) предусмотрено как минимум два состояния каждого из них. В базе сценариев преимущественно содержатся парные сценарии, в которых варьируется лишь один параметр.

Рассматриваются локализованные пожары в помещениях, т.е. при проведении расчета считается, что область горения не выходит за границы помещения, в котором расположен очаг пожара. Расчеты эвакуации проводились при условии одновременного начала эвакуации людей из всех помещений здания.

Визуализация расчетов ОФП осуществляется посредством отображения плоского среза трехмерного поля опасного фактора пожара на высоте 1,7 м от пола этажа. Шкала дает представление о соответствии числовых значений визуализируемого среза цветовому отображению. Цвет изменяется от синего (безопасная зона, соответствует безопасным значениям визуализируемого среза) к красному (опасная зона, соответствует предельно допустимым (критическим для жизни и здоровья человека) значениям визуализируемого среза). В таблице 2.1 приводятся минимальное и максимальное числовые

значения визуализируемого среза. Значения взяты в соответствии с Методикой расчета пожарного риска [1].

Таблица 2.1 – Граничные значения ОФП

Н.п.	**Наименование ОФП**	**Безопасная зона (значение ОФП)**	**Опасная зона (значение ОФП)**	**Единицы измерения**
1.	Потеря видимости (оптическая плотность дыма)	0	0.119	1/м
2.	Содержание O_2 (кислород)	0,252	0,226	кг/м^3
3.	Содержание CO_2 (углекислый газ)	0	0,11	кг/м^3
4.	Содержание CO (угарный газ)	0	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	кг/м^3
5.	Содержание HCL (хлороводород)	0	$23 \cdot 10^{-6}$	кг/м^3
6.	Температура	20	70	^{o}C
7.	Тепловой поток	0	1400	Вт/м^2

Рассматриваемые факторы можно условно поделить на группы:

- геометрические (связаны с объемно-планировочными аспектами),

- пожарные (связаны с характеристиками пожарной нагрузки и работой противопожарных систем в здании),

- человеческие (связаны с совокупностью условий, являющихся следствием действий людей).

2.4 Описание базы сценариев для общеобразовательного учреждения

На рисунке 2.1 представлено здание общеобразовательного учреждения (ОУ). Здание переменной этажности с максимальным количеством этажей – 3. Степень огнестойкости здания – II. Класс функциональной пожарной опасности – Ф4.1 Школы, внешкольные учебные заведения, средние специальные учебные заведения, профессионально-технические училища. Отопление – центральное, водяное. Освещение – электрическое, проводка скрытая. Фундамент – железобетонный сборно-монолитный на свайном основании. Стены и их наружная отделка – керамзитобетонные панели, толщиной 350 мм. Перегородки – бетонные монолитные. Перекрытия чердачное и междуэтажное – железобетонные сборные плиты. Крыша – железобетонная совмещенная. Полы – бетонные (на путях эвакуации), линолеумовые (в кабинетах). Проемы оконные – стеклопакет двойной. Проемы дверные – металлические, деревянные распашные филенчатые. Внутренняя отделка – окраска стен водоэмульсионная. Лестницы – железобетонные. Крыльца – бетонные.

Здание имеет геометрию кругового типа, что накладывает некоторые особенности на распространение ОФП. В большинстве случаев в зданиях такого типа распространение ОФП в начале пожара происходит сразу в двух направлениях от места возникновения пожара для любой области кругового пространства (кроме области вблизи очага пожара). По достижении устойчивой стадии процесса течение может переформировываться, и ОФП распространяются интенсивно лишь в одном направлении.

Основные лестничные клетки ЛК 1 и ЛК 2 являются закрытыми. ЛК 2 имеет по два выхода на каждый этаж, выходы на этажи оформлены дверными проемами. Аналогично устроена ЛК 1 за исключением границы с 1 этажом. Здесь ЛК 1 имеет непосредственный выход в коридор первого этажа. Это накладывает определенные особенности на распространение ОФП.

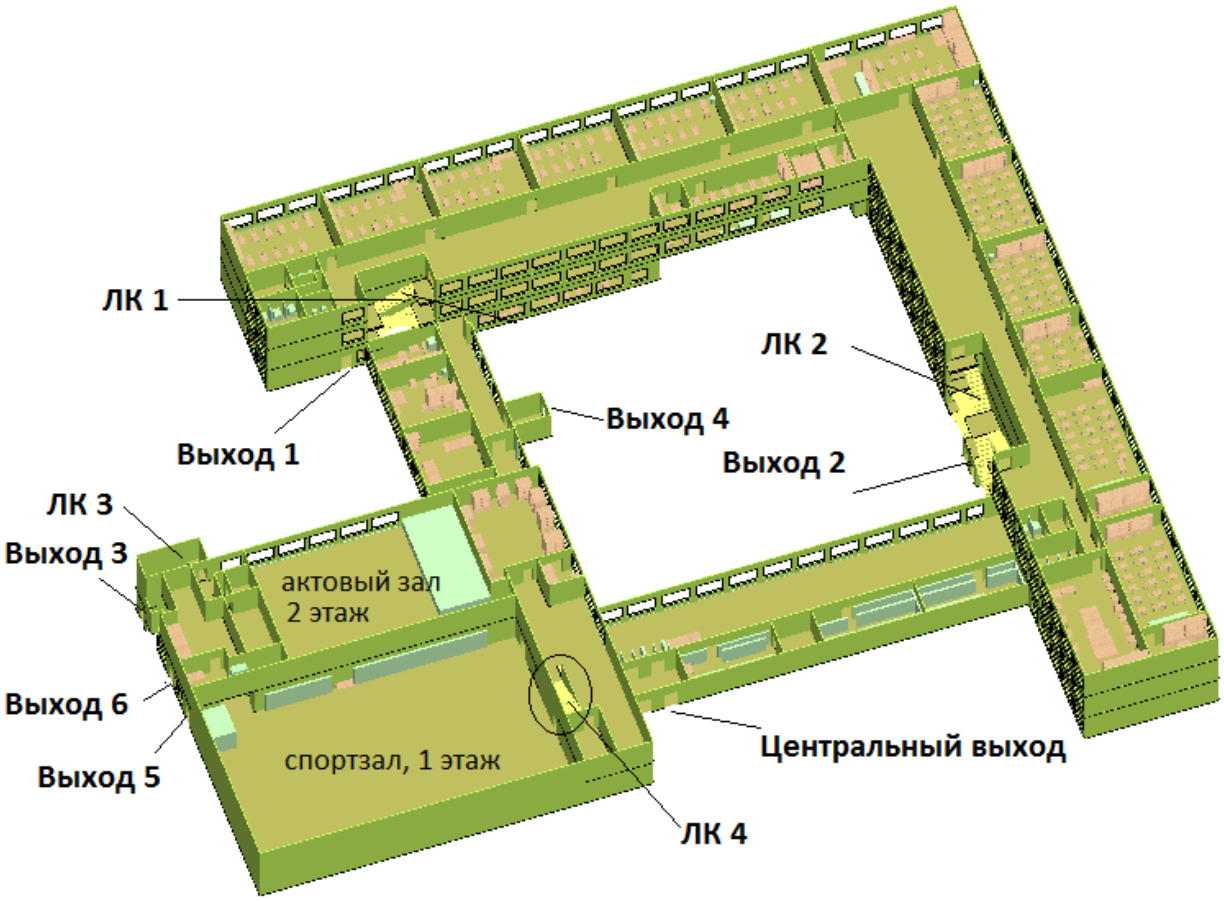


Рисунок 2.1 – Геометрия общеобразовательного учреждения

В таблицах 2.2-2.4 схематично представлены описания сценариев для ОУ, хранящихся в базе программы. Здесь использованы следующие обозначения (таблица 2.5) и сокращения:

ОЗ – объект защиты;

«полная» геометрия – в расчете предполагается, что ОФП распространяются во все помещения здания;

«коридорная» геометрия – в расчете принимается, что ОФП распространяется по путям эвакуации и в очаге возгорания;

ОП – очаг пожара;

ПН – пожарная нагрузка;

ДО – двери на всех лестничных клетках (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков),

ДЗ – все предусмотренные двери на ЛК закрыты (т. е. доводчики функционируют, сценарий без учета эвакуации),

ППД – на путях эвакуации стоят противодымные двери (при расчетах принимается, что ОФП через них не «просачивается»),

ЛДО – двери на ЛК оборудованы доводчиками, по мере движения людей двери открыты/закрыты,

кв. – квалифицированный пользователь пользуется огнетушителем (начало тушения через 30 секунд после обнаружения возгорания (см. состояние параметра «Сигнализация»));

не кв. – не квалифицированный пользователь пользуется огнетушителем (начало тушения через 60 секунд после обнаружения возгорания (см. состояние параметра «Сигнализация»));

Ц – используется только центральный выход (а также работниками кухни – выход из кухни),

В – используются все выходы из здания.

На рисунках 2.2 представлено размещение очагов пожара в здании общеобразовательного учреждения.

Рисунок 2.2 – Расположение очагов пожара в ОУ

Таблица 2.2 – Сценарии пожара в общеобразовательном учреждении

Параметр	**Значения**										
Геометрия ОЗ	полная	Коридорная									
Размещение ПН	№1	№1								№2	№3
Тип ПН	№2	№2							№4	№1	№3
Площадь ПН	№1	№1						№2	№1	№1	№1
Состояние дверей	ДО	ДО				ППД+ДО	ДЗ	ДО	ДО	ДО	ДО
Сигнализация	-	-	№1		№2	-	-	-	-	-	-
Тушение	нет	нет	кв.	не кв.	кв.	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Номер сценария пожара	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**

Таблица 2.3 – Сценарии эвакуации в общеобразовательном учреждении

Параметр	**Значения**						
Выходы из здания	Ц		В				
Время начала эвакуации	№1		№1				
Размещение людей по зданию	№1	№2	№1		№2		№3
Загроможденность путей эвакуации	нет	нет	есть	нет	есть	нет	нет
Номер сценария эвакуации	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**

Таблица 2.4 – Сценарии эвакуации при пожаре в общеобразовательном учреждении

<table>
<tr><th>Параметр</th><th colspan="15">Значение</th></tr>
<tr><td>Геометрия ОЗ</td><td>полная</td><td colspan="14">Коридорная</td></tr>
<tr><td>Размещение ОП</td><td>№1</td><td colspan="12">№1</td><td colspan="2">№2</td><td>№3</td></tr>
<tr><td>Тип ПН</td><td>№2</td><td colspan="11">№2</td><td>№4</td><td colspan="2">№1</td><td>№3</td></tr>
<tr><td>Площадь ПН</td><td>№1</td><td colspan="10">№1</td><td>№2</td><td>№1</td><td colspan="2">№1</td><td>№1</td></tr>
<tr><td>Состояние дверей</td><td>ДО</td><td colspan="5">ДО</td><td>ППД+ДО</td><td colspan="2">ЛДО</td><td>ДО</td><td>ДО</td><td colspan="2">ДО</td><td>ДО</td></tr>
<tr><td>Сигнализация</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">№1</td><td>№2</td><td>-</td><td colspan="2">-</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Тушение</td><td>нет</td><td>нет</td><td>кв.</td><td>не кв.</td><td>кв.</td><td>нет</td><td colspan="2">нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td colspan="2">нет</td><td>нет</td></tr>
<tr><td>Номер сценария пожара</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td colspan="2">7</td><td>9</td><td>10</td><td colspan="2">11</td><td>12</td></tr>
<tr><td>Выходы из здания</td><td>В</td><td>В</td><td>В</td><td>В</td><td>В</td><td>В</td><td colspan="2">В</td><td>В</td><td>В</td><td>В</td><td>Ц</td><td>В</td></tr>
<tr><td>Время начала эвакуации</td><td>№2</td><td>№2</td><td>№3</td><td>№2</td><td>№2</td><td>№3</td><td>№3</td><td>№2</td><td>№3</td><td>№2</td><td>№2</td><td>№2</td><td>№2</td><td colspan="2">№2</td></tr>
<tr><td>Загроможденность путей эвакуации</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>нет</td><td>есть</td></tr>
<tr><td>Размещение людей по зданию</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td><td>№1</td></tr>
<tr><td>Номер сценария эвакуации при пожаре</td><td>1</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7.1</td><td>7.2</td><td>9</td><td>10</td><td>11.1</td><td>11.2</td><td>12.1</td><td>12.2</td></tr>
</table>

Таблица 2.5 – Список варьируемых параметров для сценариев в ОУ

Название параметра	**Состояния параметра и их обозначения в таблице сценариев**
Размещение ОП	№1 – подсобное помещение около главного входа; №2 – офисное помещение (нет учебного процесса); №3 – 2 этаж, кабинет рядом с двусторонней лестницей (библиотека)
Тип ПН	№1 – кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25); №2 – здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия; №3 – библиотеки архивы; книги, журналы на стеллажах; №4 – верхняя одежда; ворс, ткани (шерсть+нейлон)
Площадь ПН	№1 – стандартная (50 % площади помещения); №2 – нестандартная, то есть свыше нормы (80% площади помещения)
Сигнализация	№1 – активная (сигнал о пожаре поступает сразу, как пожар идентифицирован); №2 – неактивная (в этом случае в расчете принимается, что сигнализация не сработала и пожар обнаружен естественным образом)
Время начала эвакуации	№1 - 0 сек.; №2 – 30 сек. после начала пожара; №3 – 120 сек. после начала пожара
Размещение людей по зданию	№1 –равномерно по зданию (учебное время), всего 784 человека, №2 – мероприятие в спортивном зале, всего 500 человек, №3 – одновременно мероприятие в спортивном зале (500 человек) и учебный процесс (равномерное распределение по зданию 675 человек), всего 1175 человек

В качестве базовых сценариев рассматриваются сценарий пожара № 2 и соответствующий ему сценарий эвакуации при пожаре – 2.1. Для базового сценария при расчете распространения ОФП принимаются наихудшие условия: ОФП распространяется только по путям эвакуации, двери в помещения считаются закрытыми. Сценарий № 16 – базовый сценарий эвакуации, когда эвакуация проходит по ближайшим лестничным клеткам, через ближайшие выходы наружу, из правого крыла первого этажа люди эвакуируются через центральный выход.

Сценарии пожара демонстрируют развитие пожара при заданных условиях, соответствующие им сценарии эвакуации при пожаре демонстрируют влияние этих условий на исход эвакуации.

Для удобства пользования базой сценариев в учебном процессе приводится классификация сценариев по темам курса «Пожарная безопасность», таблица 2.6. Для каждой темы приводится набор сценариев пожара и/или сценариев эвакуации при пожаре и/или сценариев эвакуации. В каждом случае приводится по два сценария, сравнение которых показывает влияние состояний исследуемого параметра при все прочих равных условиях.

Таблица 2.6 – Классификация сценариев для ОУ по темам ПБ

Номер п/п	**Тема**	**Номера сценариев пожара**	**Номера сценариев эвакуации при пожаре**	**Номера сценариев эвакуации**
1	**Использование средств тушения на начальной стадии пожара:**			
	Использование ручного огнетушителя квалифицированным пользователем, начало тушения через 60 секунд после начала пожара (сигнализация сработала)	2, 3	2.1, 3	
	Использование ручного огнетушителя квалифицированным пользователем, начало тушения через 120 секунд после начала пожара (сигнализация не сработала)	2, 5	2.2, 5	
	Использование ручного огнетушителя НЕ квалифицированным пользователем, начало тушения 90 секунд после начала пожара (сигнализация сработала)	2, 4	2.1, 4	

2	**Использование средств противодымной защиты:**			
	На путях эвакуации стоят противодымные двери	2, 6	2.2, 6	
	Двери на ЛК закрыты (доводчики), люди открывают двери во время движения, задержка начала эвакуации 30 секунд		2.1, 7.1	
	Двери на ЛК закрыты (доводчики), люди открывают двери во время движения, задержка начала эвакуации 120 секунд		2.2, 7.2	
3	**Использование систем обнаружения и оповещения о пожаре**			
	Влияние скорости обнаружения пожара на результат применения первичного пожаротушения (ручной огнетушитель, квалифицированный пользователь)	3, 5	3, 5	

	Влияние противодымных дверей на путях эвакуации (задержка начала эвакуации 120 секунд)	2, 6	2.2, 6	
	Влияние дверей на ЛК, закрытых на доводчики	2, 8		
	Влияние дверей на ЛК, закрытых на доводчики (задержка начала эвакуации 30 секунд)		2.1, 7.1	
	Влияние дверей на ЛК, закрытых на доводчики (задержка начала эвакуации 120 секунд)		2.2, 7.2	
4	**Пожарная нагрузка:**			
	Тип	2, 10	2.1, 10	
		2, 11	2.1, 11.1	
		2, 12	2.1, 12.1	
	Площадь	2, 9	2.1, 9	
	Размещение	2, 11, 12	2.1, 11.1, 12.1	

5	**Объемно-планировочные аспекты** (влияние доступного объема здания на распространение ОФП)	1, 2	1, 2.1	
6	**Состояние путей эвакуации**			
	Использование выходов из здания (все / центральный) при равномерном распределении людей по зданию		11.1, 11.2	16, 13
	Использование выходов из здания (все / центральный) при мероприятии в спортивном зале			18, 14
	Загроможденность путей эвакуации при равномерном распределении людей по зданию		12.1, 12.2	15, 16
	Загроможденность путей эвакуации при мероприятии в спортивном зале			17, 18
7	**Нагрузка здания** (равномерное размещение по зданию (учебный процесс) / одновременно мероприятие в актовом зале + учебный процесс)			16, 19

8	**Подготовленность персонала, преподавательского состава и учащихся к действиям в случае возникновения пожара**			
	Применение ручного огнетушителя на начальной стадии пожара, своевременное начало эвакуации (задержка 30 секунд)	2, 3	2.1, 3	
	Влияние времени начала эвакуации (задержка 30 секунд / задержка 120 секунд), тушение не применяется		2.1, 2.2	
	Использование выходов из здания (все / центральный) при равномерном распределении людей по зданию		11.1, 11.2	16, 13
	Использование выходов из здания (все / центральный) при мероприятии в спортзале			18, 14

2.5 Развернутое описание сценариев для общеобразовательного учреждения

В таблицах 2.7 - 2.10 представлены характеристики пожарной нагрузки для сценариев в общеобразовательном учреждении.

Таблица 2.7 - ПН для сценариев № 1-9: здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия.

Параметры ПН	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0108
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01450
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	270,00
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,0300
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,20300
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,00220
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,01400

Таблица 2.8 - ПН для сценария № 10: верхняя одежда; ворс, ткани (шерсть+нейлон).

Параметры ПН	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	23300,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0835
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01300
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	129,00

Параметры ПН	Единица измерения	Значение
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-3,6980
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,4670
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,01450
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

Таблица 4.10.9 - ПН для сценария № 11: кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25).

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	14002,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,042
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01290
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	53,00
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,1610
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,64200
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,03170
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

Таблица 4.10.10 - ПН для сценария № 12: библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах.

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	14500,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0103

Параметр	Единица измерения	Значение
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01100
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	49,50
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,1540
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	1,10870
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,09740
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

Ниже приводятся подробные описания сценариев пожара, соответствующих им сценариев эвакуации при пожаре и сценариев эвакуации, разработанные для общеобразовательного учреждения.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**1**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются во все помещения здания.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при**	**№**	**1**	**(общеобразовательное**

	ПОЖАРЕ			**учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются во все помещения здания.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**2**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**2.1**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**2.2**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 4.10.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 120 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**3**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – сработала.

Тушение пожара – производится квалифицированным пользователем, начато через 60 секунд после начала пожара.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**3**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ПН) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – сработала.

Тушение пожара – производится квалифицированным пользователем, начато через 60 секунд после начала пожара.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**4**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – сработала.

Тушение пожара – производится НЕ квалифицированным пользователем, начато через 90 секунд после начала пожара.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**4**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – сработала.

Тушение пожара – производится НЕ квалифицированным пользователем, начато через 90 секунд после начала пожара.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**5**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – НЕ сработала.

Тушение пожара – производится квалифицированным пользователем, начато через 120 секунд после начала пожара.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**5**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – НЕ сработала.

Тушение пожара – производится квалифицированным пользователем, начато через 120 секунд после начала пожара.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 120 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**6**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации – на путях эвакуации стоят противопожарные двери (см. рисунок), двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**6**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации – на путях эвакуации стоят противопожарные двери (см.рисунок), двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 120 сек. после начала пожара

Загроможденность путей эвакуации - нет

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**7.1**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки на доводчиках, по мере движения людей двери меняют состояние (открыты/закрыты).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**7.2**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки на доводчиках, по мере движения людей двери меняют состояние (открыты/закрыты).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 120 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**8**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации – доводчики на дверях лестничных клеток функционируют (двери закрыты), сценарий без учета эвакуации людей.

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**9**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - нестандартная, то есть свыше нормы (80% площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**9**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия (таблица 2.7).

Площадь ПН - нестандартная, то есть свыше нормы (80% площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**10**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - верхняя одежда; ворс, ткани (шерсть+нейлон), таблица 2.8.

Площадь ПН - стандартная (50% площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**10**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - подсобное помещение около главного входа (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - верхняя одежда; ворс, ткани (шерсть+нейлон), таблица 2.8.

Площадь ПН – стандартная (50% площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**11**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - офисное помещение, нет учебного процесса (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25), таблица 2.9.

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**11.1**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - офисное помещение, нет учебного процесса (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25).

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения), таблица 2.9.

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**11.2**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - офисное помещение, нет учебного процесса (см. рисунок 2.2).

Тип ПН - кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25), таблица 2.9.

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используется только центральный выход.

Время начала эвакуации – 90 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ПОЖАРА**	**№**	**12**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - 2 этаж, библиотека - кабинет рядом с двусторонней лестницей (см. рисунок 2.2).

Тип ПН – библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах, таблица 2.10.

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**12.1**	**(общеобразовательное учреждение)**

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ОП) - 2 этаж, библиотека - кабинет рядом с двусторонней лестницей (см. рисунок 2.2).

Тип ПН – библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах, таблица 2.10.

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ при ПОЖАРЕ**	**№**	**12.2**	**(общеобразовательное учреждение)**

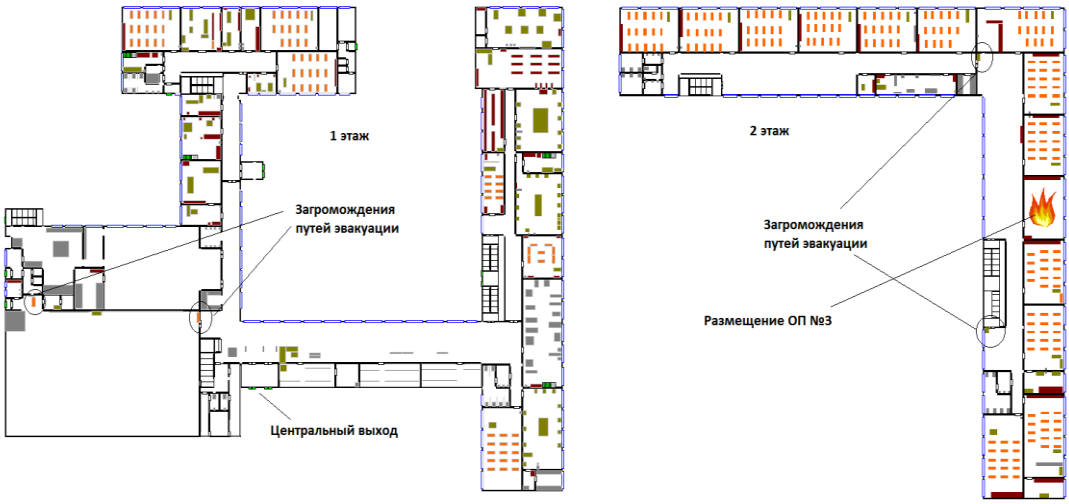


Рисунок 2.3 – Загромождения путей эвакуации в сценарии № 12.2

Расчет развития пожара проводится так, что ОФП распространяются только по путям эвакуации и в помещении, где располагается очаг пожара.

Размещение очага пожара (ПН) - 2 этаж, библиотека - кабинет рядом с двусторонней лестницей (см. рисунок 2.2).

Тип ПН – библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах, таблица 2.10.

Площадь ПН - стандартная (50 % площади помещения).

Состояние дверей на путях эвакуации - двери на лестничные клетки (ЛК) открыты (т.е. нет доводчиков).

Сигнализация – не учитывается.

Тушение пожара – не производится.

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – 30 сек. после начала пожара.

Загроможденность путей эвакуации – есть (загромождены выходы на улицу из здания, дверные проемы на лестничные клетки, см. рисунок 4.10.3).

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**13**	**(общеобразовательное учреждение)**

Выходы из здания – используется только центральный выход из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**14**	**(общеобразовательное учреждение)**

Выходы из здания – используется только центральный выход из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию – мероприятие в спортивном зале (вне учебное время), всего 500 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**15**	**(общеобразовательное учреждение)**

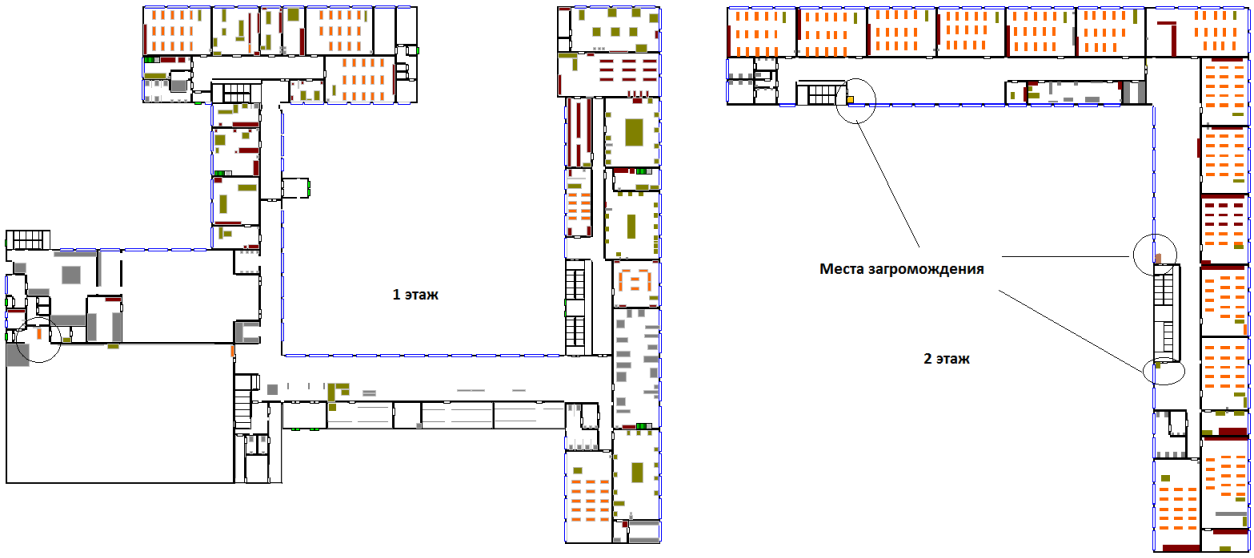


Рисунок 2.4 – Загромождения путей эвакуации в сценарии № 15

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – есть (загромождены выходы на улицу из здания, дверные проемы на лестничные клетки, рисунок 2.4).

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**16**	**(общеобразовательное учреждение)**

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию - равномерно по зданию (учебное время), всего 785 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**17**	**(общеобразовательное учреждение)**

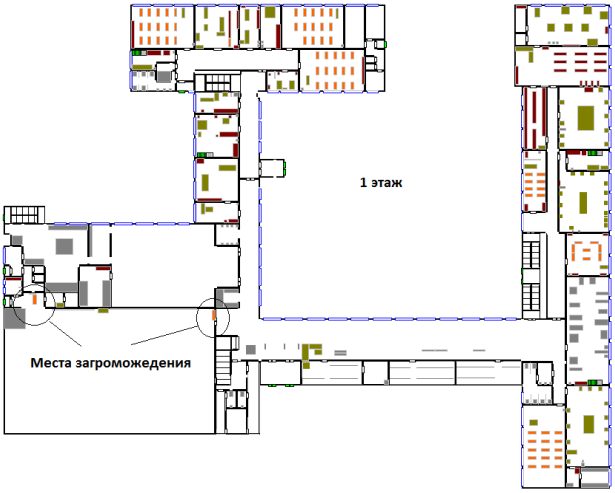


Рисунок 2.5 – Загромождения путей эвакуации в сценарии № 17

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию - мероприятие в спортивном зале (вне учебное время), всего 500 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – есть (загромождены выходы из спортзала, рисунок 2.5).

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**18**	**(общеобразовательное учреждение)**

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию - мероприятие в спортивном зале (вне учебное время), всего 500 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

Сценарий	**ЭВАКУАЦИИ**	**№**	**19**	**(общеобразовательное учреждение)**

Выходы из здания – используются все выходы из здания.

Время начала эвакуации – эвакуация начинается одновременно с началом расчета, рассматривается только сценарий эвакуации (без учета пожара).

Размещение людей по зданию – одновременно мероприятие в спортивном зале (500 человек) и учебный процесс (равномерное распределение по зданию 675 человек), всего 1175 человек, средняя скорость свободного движения 1,75 м/с.

Загроможденность путей эвакуации – нет.

3 ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА СЦЕНАРИЕВ

Наиболее удобным инструментом исследования различных условий, возникающих при функционировании зданий и сооружений, с точки зрения пожарной безопасности является вычислительный эксперимент. Разработанная в рамках выполнения данной работы компьютерная программа «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» содержит базу расчетов сценариев развития пожара и эвакуации для типовых зданий общеобразовательного учреждения и общежития. Сценарии составлены в соответствии с курсом «Пожарная безопасность» и имеют целью наглядную демонстрацию влияния рискообразующих факторов на исход эвакуации. Расчеты выполнены с помощью отечественных программных комплексов © SigmaFire [5] и © SigmaEva[6], реализующих полевую модель распространения ОФП [1] и модель движения людей индивидуально-поточного типа [1] соответственно. Анализ расчетов сценариев из базы программного комплекса позволяет провести исследование возможного развития пожара в зависимости от нагрузки конкретного здания и его геометрии, сформировать рекомендации по снижению интенсивности и площади распространения пожара по зданию. Под нагрузкой будем понимать совокупность типа пожарной нагрузки (ПН) и расположения людей по зданию.

3.1 Пояснения к технологии выполнения расчетов и визуализации

База программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ» содержит расчеты 23-х сценариев развития пожара для типовых проектов общеобразовательного учреждения и общежития (коридорного типа). Расчеты развития пожара сопровождены расчетом эвакуации при соответствующих условиях, что сказывается на выборе путей эвакуации. Также имеются расчеты эвакуации (без учета пожара).

Отметим, что рассматриваются локализованные пожары в помещениях, т.е. при проведении расчета считается, что область горения не выходит за

границы помещения, в котором расположен очаг пожара. Расчеты эвакуации проводились при условии одновременного начала эвакуации людей из всех помещений здания.

Визуализация расчетов ОФП осуществляется посредством отображения плоского среза трехмерного поля опасного фактора пожара на высоте 1,7 м от пола этажа. Шкала дает представление о соответствии числовых значений визуализируемого среза цветовому отображению. Цвет изменяется от синего (безопасная зона, соответствует безопасным значениям визуализируемого среза) к красному (опасная зона, соответствует критическим для жизни и здоровья человека значениям визуализируемого среза). В таблице 3.1 приводятся минимальное и максимальное числовые значения визуализируемого среза. Значения соответствуют Методике расчета пожарного риска [1].

Таблица 3.1 – Граничные значения ОФП

Н.п.	**Наименование ОФП**	**Безопасная зона (значение ОФП)**	**Опасная зона (значение ОФП)**	**Единицы измерения**
1.	Потеря видимости (оптическая плотность дыма)	0	0.119	1/м
2.	Содержание O_2 (кислород)	0,252	0,226	кг/м^3
3.	Содержание CO_2 (углекислый газ)	0	0,11	кг/м^3
4.	Содержание CO (угарный газ)	0	$1{,}16 \cdot 10^{-3}$	кг/м^3

5.	Содержание HCL (хлороводород)	0	$23 \cdot 10^{-6}$	кг/м^3
6.	Температура	20	70	^{o}C
7.	Тепловой поток	1400	1400	Вт/м^2

Использовался такой инструмент компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации, в котором многие рискообразующие факторы являются переменными моделирования. На примере представленных сценариев показывается влияние на скорость и характер распространения ОФП следующих факторов: размещение очага пожара, тип пожарной нагрузки, площадь пожарной нагрузки, состояние внутренних дверей, сработка сигнализации, тушение на начальной стадии, использование выходов из здания (все выходы, только центральный), время начала эвакуации, загроможденность путей эвакуации, распределение людей по зданию.

Рассматриваемые факторы можно условно поделить на группы:

- геометрические (связаны с объемно-планировочными решениями здания),
- пожарные (связаны с характеристиками пожарной нагрузки и работой противопожарных систем в здании),
- человеческие (связаны с совокупностью действий людей в случае возникновения пожара).

Проведем исследование влияния этих факторов на исход эвакуации при пожаре на примере общеобразовательного учреждения и общежития.

3.2 Общеобразовательное учреждение

3.2.1 Особенности геометрии здания

На рисунке 3.1 представлено здание рассматриваемого общеобразовательного учреждения (ОУ).

Здание переменной этажности с максимальным количеством этажей – 3. Степень огнестойкости здания – II. Класс функциональной пожарной опасности – Ф4.1 Школы, внешкольные учебные заведения, средние специальные учебные заведения, профессионально-технические училища. Отопление – центральное, водяное. Освещение – электрическое, проводка скрытая. Фундамент – железобетонный сборно-монолитный на свайном основании. Стены и их наружная отделка – керамзитобетонные панели, толщиной 350 мм. Перегородки – бетонные монолитные. Перекрытия чердачное и междуэтажное – железобетонные сборные плиты. Крыша – железобетонная совмещенная. Полы – бетонные (на путях эвакуации), линолеумовые (в кабинетах). Проемы оконные – стеклопакет двойной. Проемы дверные – металлические, деревянные распашные филенчатые. Внутренняя отделка – окраска стен водоэмульсионная. Лестницы – железобетонные. Крыльца – бетонные.

Здание имеет геометрию кругового типа, что накладывает некоторые особенности на распространение ОФП. В большинстве случаев в зданиях такого типа распространение ОФП в начале пожара происходит сразу в двух направлениях от места возникновения пожара для любой области кругового пространства (кроме области вблизи очага пожара). По достижении устойчивой стадии процесса течение может переформировываться, и ОФП распространяются интенсивно лишь в одном направлении. Эту особенность необходимо учитывать при построении системы противопожарной защиты.

Основные лестничные клетки ЛК 1 и ЛК 2 являются закрытыми. ЛК 2 имеет по два выхода на каждый этаж, выходы на этажи оформлены дверными проемами. Аналогично устроена ЛК 1 за исключением границы с 1 этажом. Здесь ЛК 1 имеет непосредственный выход в коридор первого этажа. Это накладывает определенные особенности на распространение ОФП.

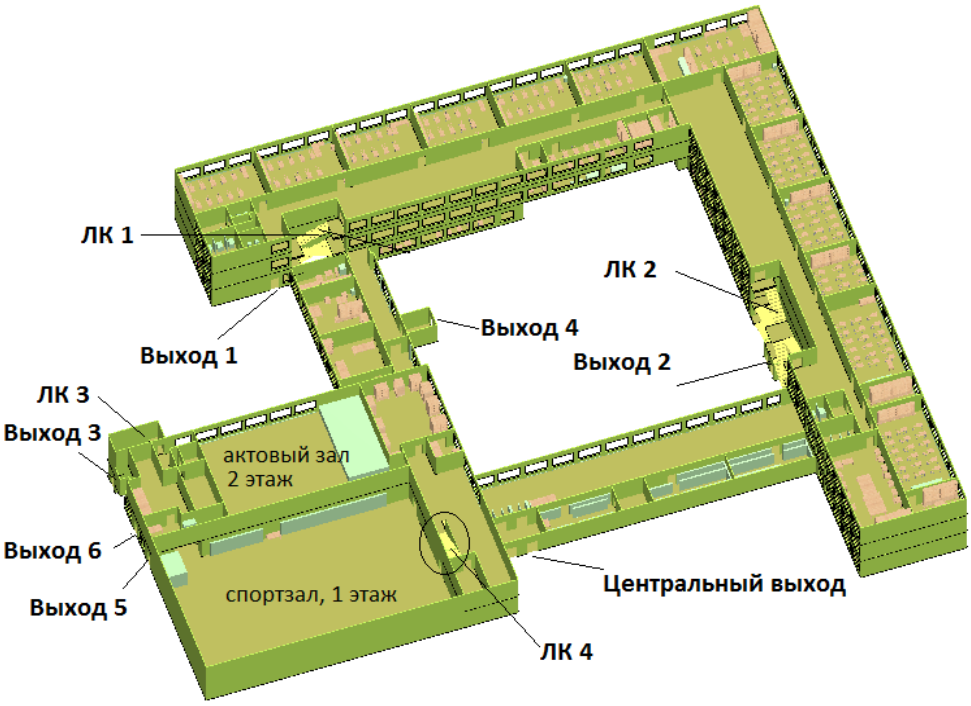
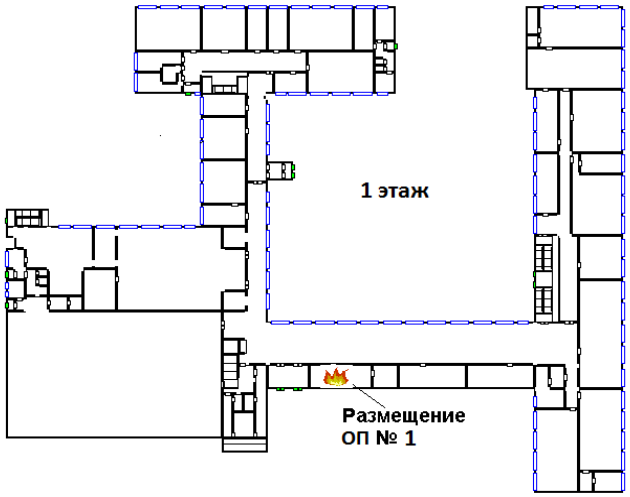


Рисунок 3.1 – Геометрия общеобразовательного учреждения

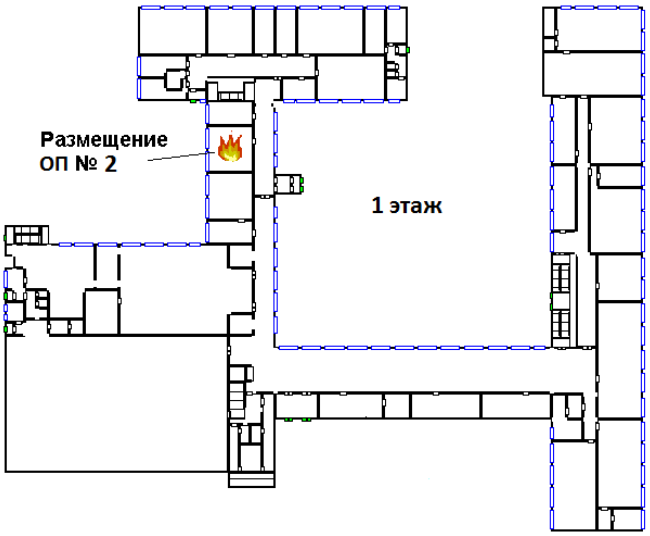
Организация эвакуации людей также имеет особенности. В зданиях такого типа при блокировке ОФП ближайшей лестничной клетки практически всегда имеется безопасная возможность воспользоваться альтернативной лестницей в силу замкнутого кругового пространства.

3.2.2 Расположение очагов пожара

Рассмотрим три расположения очагов пожара, они схематично представлены на рисунке 3.2. В качестве базового расположения очага возгорания примем вариант, представленный на рис. 3.2а. Это связано с его наибольшей опасностью для эвакуации людей, так как в этом случаи быстро блокируется центральный выход. Очаг пожара расположен примерно равноудаленно от выходов 2 и 4, которые являются наиболее известными эвакуационными выходами. Другие два места возгорания позволяют провести анализ влияния расположения места возгорания на распространение ОФП.



а)



б)

в)

Рисунок 3.2 – Расположение очагов пожара в ОУ

3.2.3 Влияние геометрических факторов

3.2.3.1 Объем здания, доступный для распространения ОФП

Рассмотрим, как влияет доступный объем здания на скорость распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев №1 и №2 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

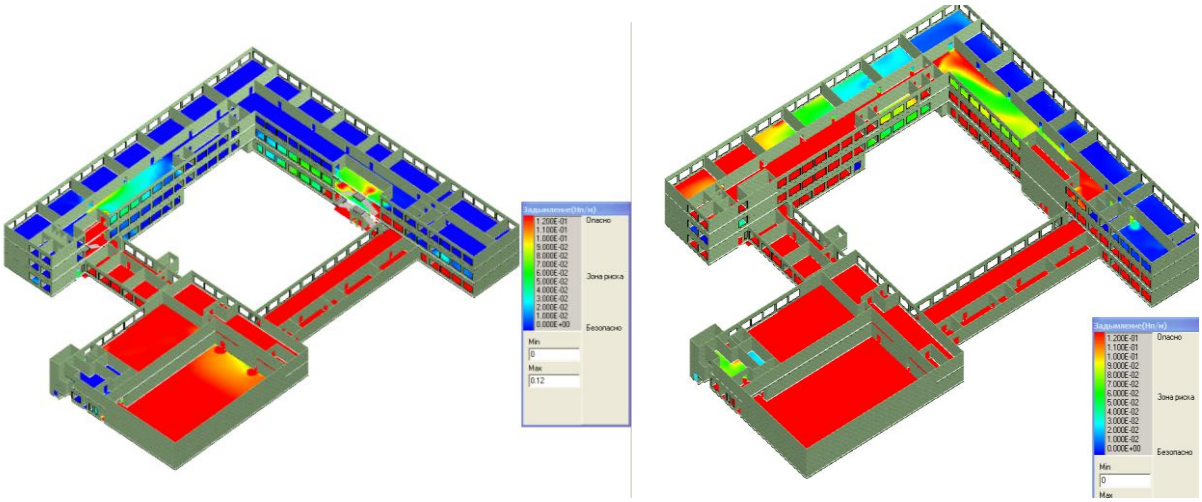
При выполнении расчета согласно сценарию №1 предполагалось, что внутренние двери во все помещения здания открыты, тем самым ОФП распространяются по всему объему здания (рисунок 3.3).

Расчет для сценария № 2 проводился в условиях, когда двери во все помещения кроме лестничных клеток считались закрытыми и таким образом дым распространялся в основном в коридорах и в связанных с ними открытыми проемами помещениях, рисунок 3.4.

Данные сценарии представляют собой две крайние ситуации, связанные со скоростью заполнения ОФП путей эвакуации. Так, в сценарии №1 задымление лестничных клеток 1 и 2 происходит только к 8-ой минуте (рисунок 3.3 а) [2], а полное задымление всего здания не происходит к 15-ой минуте (рисунок 3.3 б). В сценарии №2 уже на 6-ой минуте задымлены лестничные клетки (рисунок 3.4 а), к 13-ой минуте происходит задымление всех коридоров (рисунок 3.4 б).

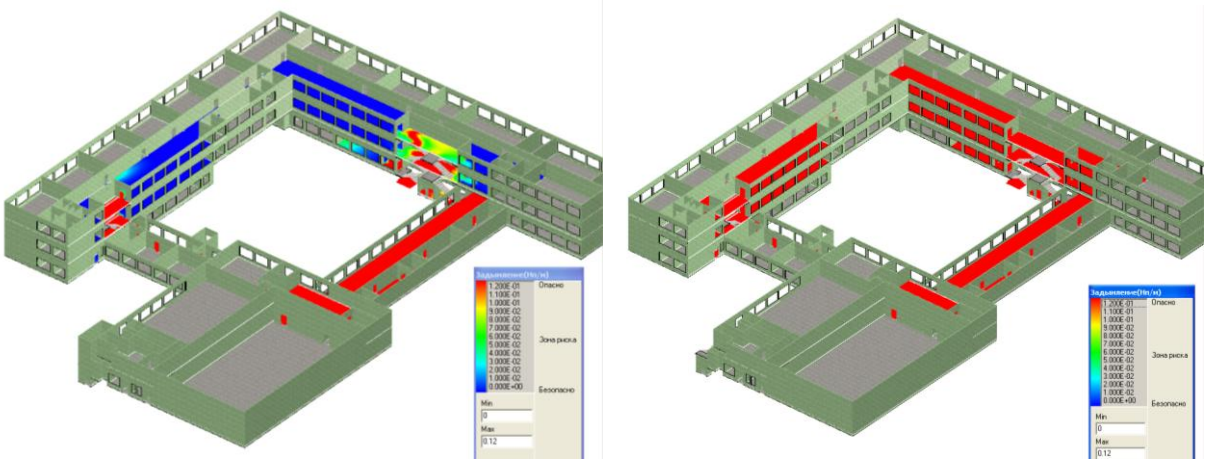
Объем возможного задымления здания в сценарии № 1 более чем в два раза превосходит доступный объем в сценарии № 2. Однако скорости задымления путей эвакуации отличаются существенно меньше. Это связано с тем, что пока площадь пожара не достигает максимальной величины, скорость выделения ОФП имеет степенную (степень <=3) зависимость от времени. Для представленных сценариев площадь горения становится максимальной только после 6-ой минуты.

[2] Здесь и везде далее на аналогичных рисунках представлены срезы ОФП на высоте 1,7 м от пола.



а) 8 мин.; б) 15 мин.

Рисунок 3.3 – Срезы поля оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 1



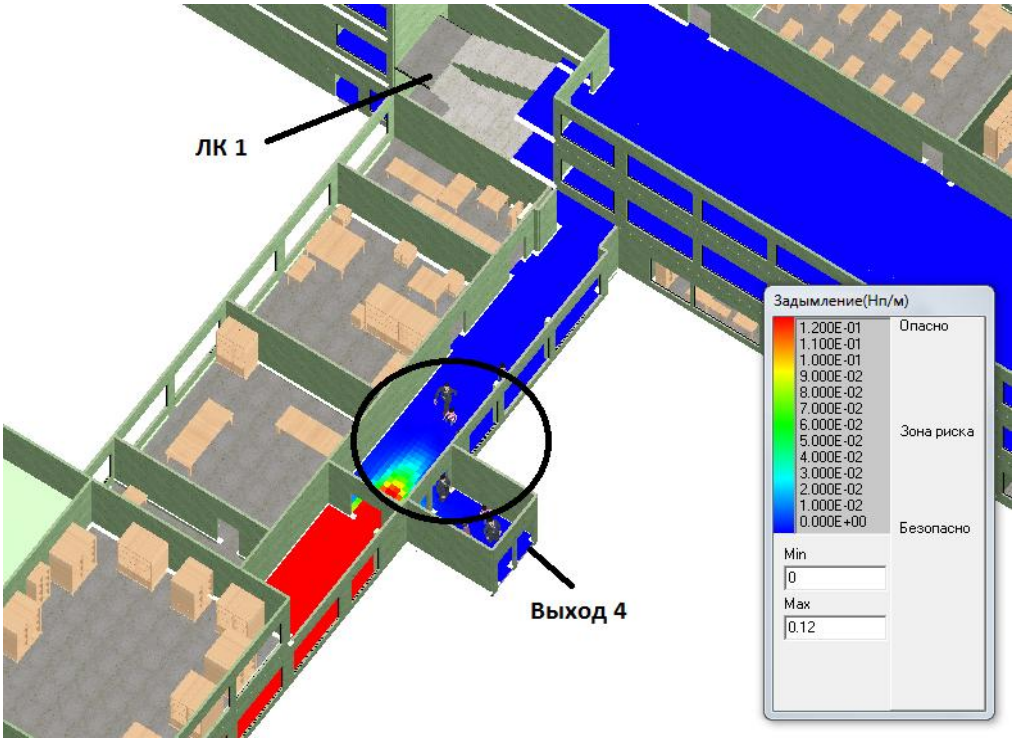
а) 6 мин.; б) 13 мин.

Рисунок 3.4 – Срезы поля оптической плотности, Нп/м. Сценарий №2

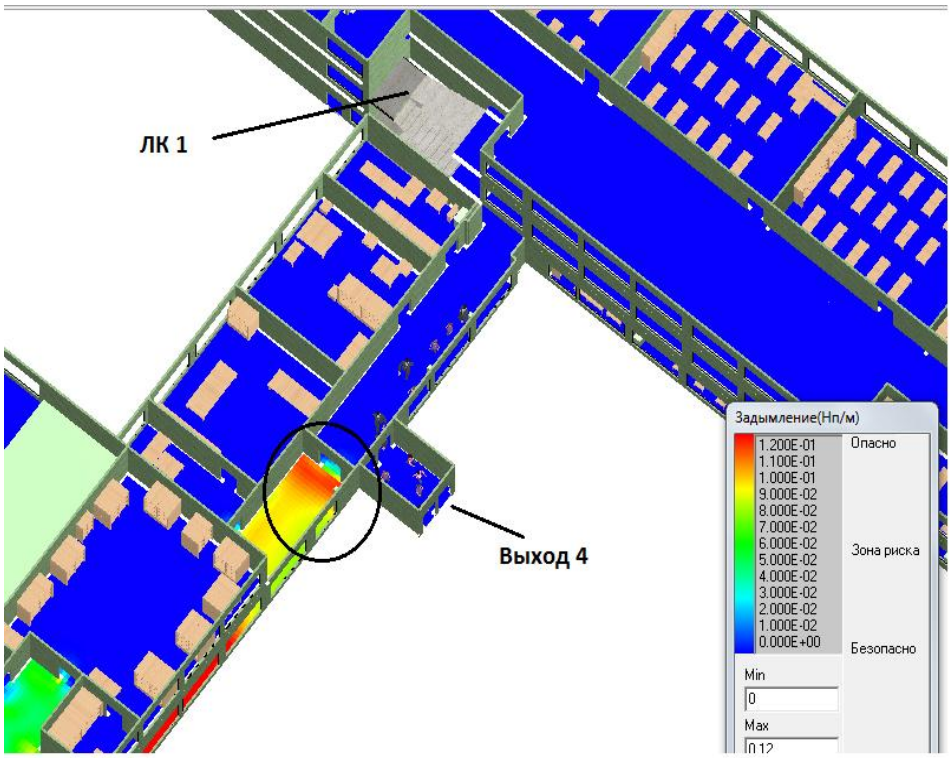
На полную эвакуацию из здания с использованием всех эвакуационных выходов уходит не более 170 секунд. В силу расположения очага пожара удаленно от учебных классов, люди используют ближайшие лестницы и ближайшие эвакуационные выходы к ним.

При равномерном расположении людей по зданию, нормативной загрузке здания и своевременном начале эвакуации (с задержкой не более 30 секунд от начала пожара) люди успевают эвакуироваться до достижения ОФП предельно

допустимых значений [1] на путях эвакуации. Однако последние эвакуирующиеся через выход 4 попадают в зону риска, рисунок 3.5



а) Сценарий № 2.1, 165 секунда;



б) Сценарий № 1, 165 секунда;

Рисунок 3.5 – Состояние поля оптической плотности, Нп/м, на высоте 1,7 м и эвакуация людей через Выход 4.

Причем в случае худшего сценария № 2 это выражено более ярко (рисунок 3.5 а). За счет большего рабочего объема в сценарии № 1 ситуация более благоприятная с точки зрения исхода эвакуации, рисунок 3.5 б.

3.2.3.2 Расположение очага пожара

Рассмотрим влияние места расположения очага пожара (рисунок 3.2) на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2, № 11 и № 12 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценарии №2 возгорание происходит на первом этаже вблизи центрального выхода в помещении без окон. В сценарии №11 очаг возгорания располагается также на первом этаже в помещении с окнами, вблизи выходов 1 и 4. В сценарии № 12 очаг пожара располагается в помещении библиотеки на втором этаже.

Для всех случаев наблюдается различная динамика распространения ОФП, которая зависит не только от пространственного положения очага возгорания, но и наличия окон и дверей.

В сценариях №11 и №12 в помещениях, где расположен очаг пожара, температура достигает таких значений, что происходит разрушение окон. С одной стороны это приводит к интенсификации процесса горения за счет доступа кислорода (интенсивность горения возросла примерно в 2 раза). С другой - часть ОФП выходит наружу.

Динамика распространения ОФП в сценарии №11 (рисунок 3.6) сильно отличается от сценария №2 (рисунок 3.4), хотя оба очага расположены на первом этаже. В сценарии №11 ОФП распространяется в основном в одном направлении – в сторону ЛК 1, в то время как в сценарии №2 в двух направлениях. Это связано с тем, что в сценарии №11 коридор, в который поступают ОФП из зоны горения, напрямую связан с ЛК1, в то время как другой конец коридора заканчивается дверным проемом, ограничивающим распространение ОФП в сторону центрального выхода. В результате этот

дверной проем обеспечивает подсос воздуха к образующейся на ЛК 1 устойчивой конвективной колонке, рисунок 3.6. При таком течении третий этаж в сценарии № 11 блокируется ОФП раньше второго.

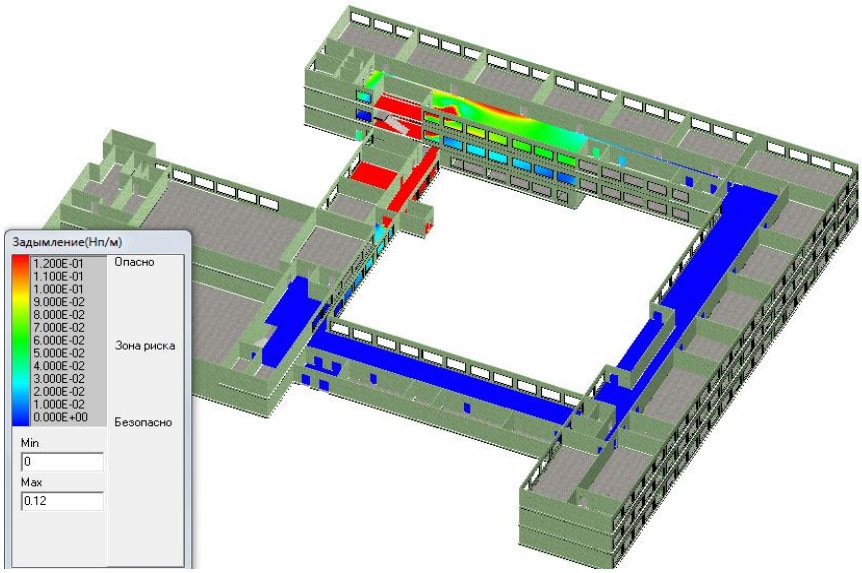


Рисунок 3.6 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий №11, 2 мин.

Сценарий №12 ближе по характеру распространения к сценарию №2 – ОФП распространяется в обе стороны от места возгорания, рисунок 3.7. Главное отличие сценария №12 – это более низкие скорости распространения ОФП: ЛК 2, находящаяся радом с очагом пожара, на 2 этаже блокируется в интервале 150-185 секунд, на 3 этаже – 310-330 секунд; ЛК 1 не блокирована на 6 минуте (рисунок 3.7). Это связано с разрушением окон в помещении, где находится очаг возгорания, что приводит к «выветриванию» ОФП, и типом пожарной нагрузки в этом сценарии.

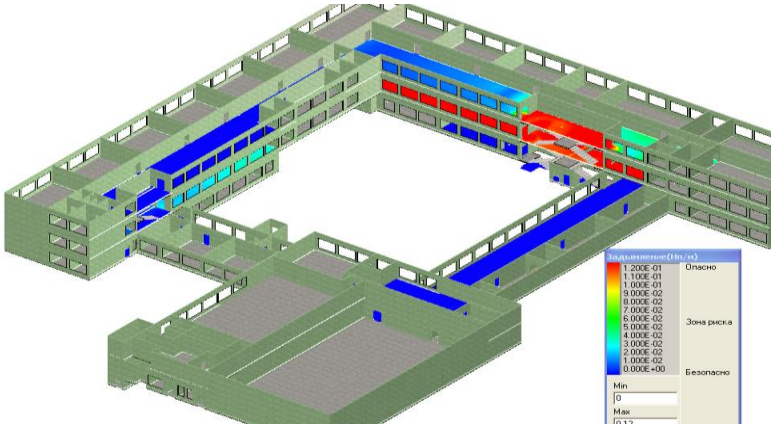


Рисунок 3.7 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий №12, 6 мин.

3.2.3.3 Геометрические факторы и эвакуация

Расположение очагов пожара, пожалуй, самый сущесвтенный фактор, влияющий на выбор путей эвакуации.

Объемно-планировочное решение здания таково, что в случае возгорания у центрального выхода (рисунок 3.2.а) и его блокировании эвакуация с этажей осуществляется по ближайшим лестницам, через ближайшие выходы из здания. Люди должны быть пропорционально распределены по лестницам для минимазации времени спуска на 1 этаж. Распределение людей по лестницам может быть определено расчетным путем, и выработаны соответствующие указания по действиям в близких по характеру блокирования путей эвакуации и выходов из здания ситуациях.

Рассмотрим при всех прочих равных услвоиях варианты выбора лестничной клетки для людей, находящихся на 2 этаже в помещении, помещенном маркером «1», всего 30 человек, рисунок 3.8. Имеется два варианта, которые условно назовем «Вариант ЛК 1» и «Вариант ЛК 2» (они реализованы с сценариях № 10 и № 2.1 соответственно).

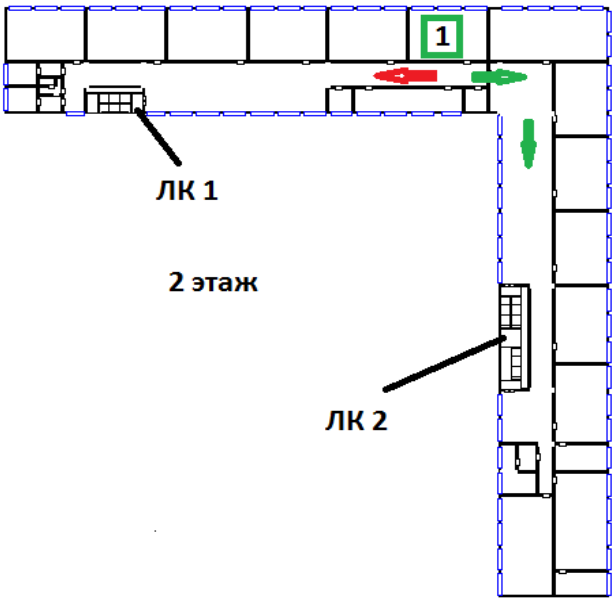


Рисунок 3.8 – Возможные варианты движения к ЛК для помещения «1» на 2 этаже ОУ.

Было проведено моделирование эвакуации, при всех прочи равных условиях изменению подлежало лишь направление движения людей из

помещения «1» на 2 этаже. Времена, соответствующие этим вариантам приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Времена эвакуации

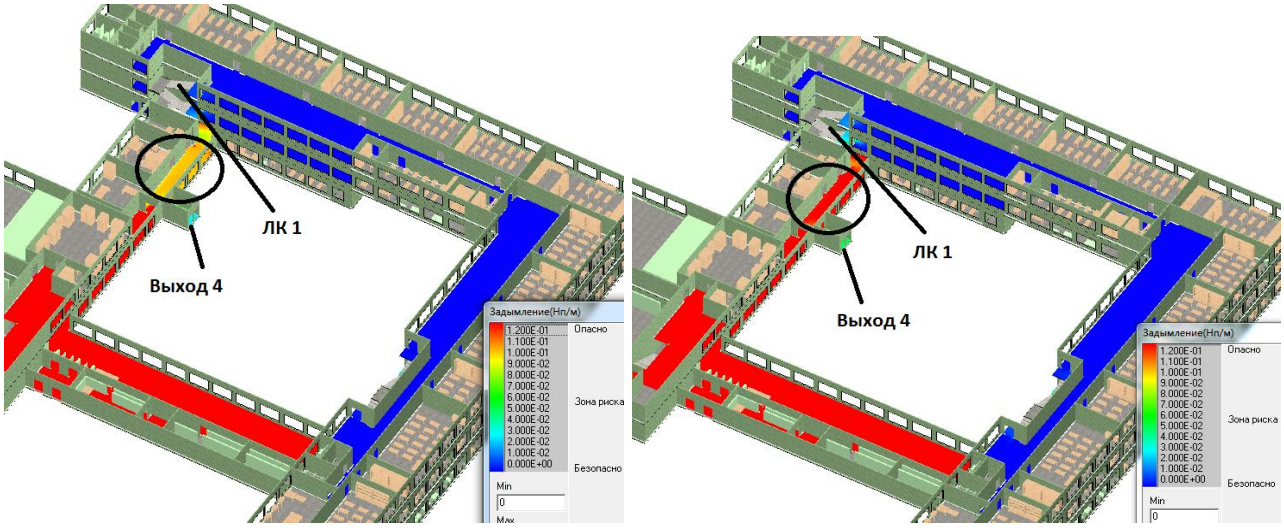
Номер варианта	**Название варианта**	**Времена эвакуации, сек**			
		ЛК 1 (2 этаж)	**ЛК 2 (2 этаж)**	**Выход 4**	**Выход 2**
1	Вариант ЛК 1	110	80	190	160
2	Вариант ЛК 2	90	92	170	165

Сравнение столбцов показывает:

- в «варианте ЛК 1» по сравнению с «вариантом ЛК 2» эвакуация со второго этажа длится почти на 20 секунд дольше;
- в варианте №1 потоки по ЛК 1 и ЛК 2 достигают выхода из здания с разницей в 30 секунд;
- в варианте №2 соответствующие потоки достигают выхода из здания почти в одно время (разницу в 5 секунд можно считать незначительной);
- добавление 30 человек в поток движущийся по ЛК2 увеличивает время эвакуации со второго этажа на 12 секунд;
- добавление 30 человек в поток движущийся по ЛК2 на выход 4 увеличивает время эвакуации через этот выход всего на 5 секунд

Таким образом, расчетным путем показано влияние выбора путей эвакуации с этажей. Перераспределение между лестничными клетками всего 30 человек может уменьшить врем эвакуации с этажа почти на 20 секунд, уменьшить время движения соответтсвующего потока до выхода из здания на 20 секунд, при этом время эвакуации второго потока существенно не увеличивается. В условиях пожара такие разницы во времени могут быть

критичными. На рисунке 3.9 приведены срезы задымления на 167 и 187 секундах.



а) 167 секунда.; б) 187 секунда.

Рисунок 3.9 – Срезы поля оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 10

Видно, что выход с ЛК 1 и коридор, ведущий к выходу 4, еще не блокированы по задымлению на 167 секунде и блокированы на 187 секунде. Таким образом, если осуществляется эвакуация людей при таком развитии ОФП, то увеличение времени эвакуации на 20 секунд приведет к вынужденному попаданию людей в зону критических значений ОФП, опасных для жизни и здоровья. Или другими словами: если распределение людей по лестничным клеткам реализовывать в сосответсвтии с «вариантом ЛК 1», то люди пострадают; если в соответствии с «вариантом ЛК 2» - люди имеют шанс безопасно эвакуироваться из здания.

Расположение очага пожара в помещении непосредственно рядом с ЛК 1 (рисунок 3.2 б) приводит к быстрой блокировке ЛК 1 и исключает ее использование во время эвакуации. Но за счет того, что

1) это закрытая лестничная клетка,

2) со вторым и третьи этажом она соединена через проемы (которые сами по себе, даже при открытых дверях, являются препятствием для распространения ОФП),

3) круговой геометрии здания,

люди, находящиеся в левом крыле на втором и третьем этаж здания имеют возможность воспользоваться ЛК 2 (рисунок 3.10).

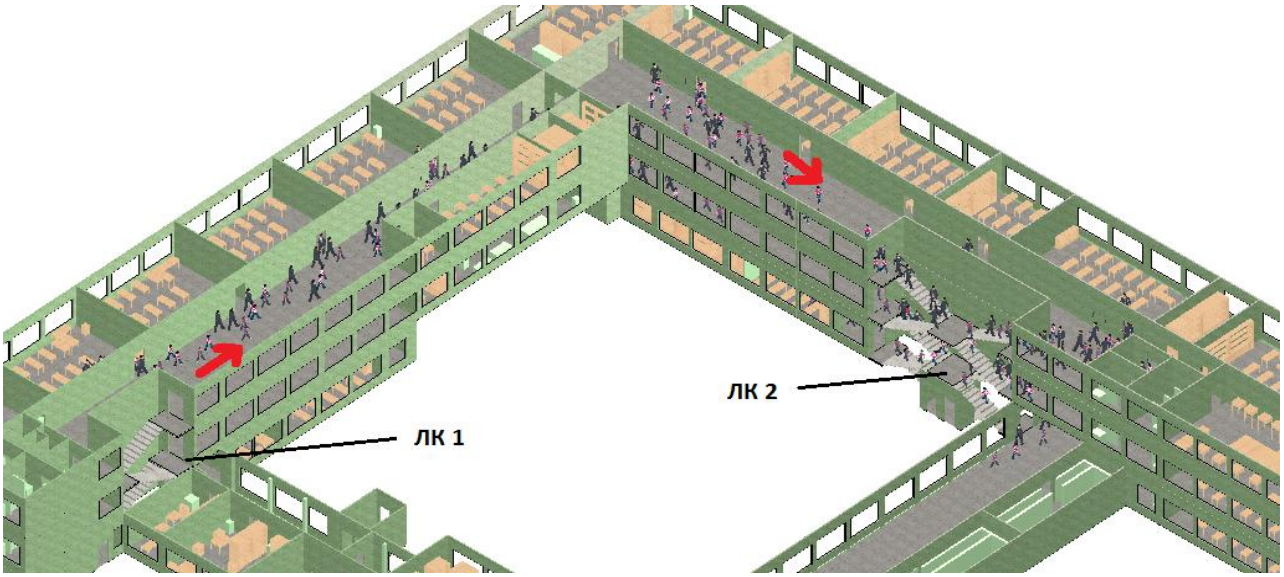


Рисунок 3.10 – Эвакуация 2 и 3 этажей через ЛК 2. Сценарий № 11, 55 секунда

Но при этом следует отметить такую особенность. ЛК 2 имеет два выхода с этажа, и существенно большую нагрузку получает левый выход за счет дополнительного притока людей из левого крыла здания. Без управления эвакуацией возникают скопления в предверии левых выходов на ЛК 2 на втором и третьем этажах, в то время как правый выход на ЛК 2 уже свободен (но он находится вне зоны видимости), рисунок 3.11.

Для сравнения времена эвакуации через левый и правый выходы на ЛК 2 на втором и третьем этажах приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Времена эвакуации

Номер этажа	**Времена эвакуации, сек**	
	ЛК 2, левая сторона	**ЛК 2, правая сторона**
2	146	70
3	186	93

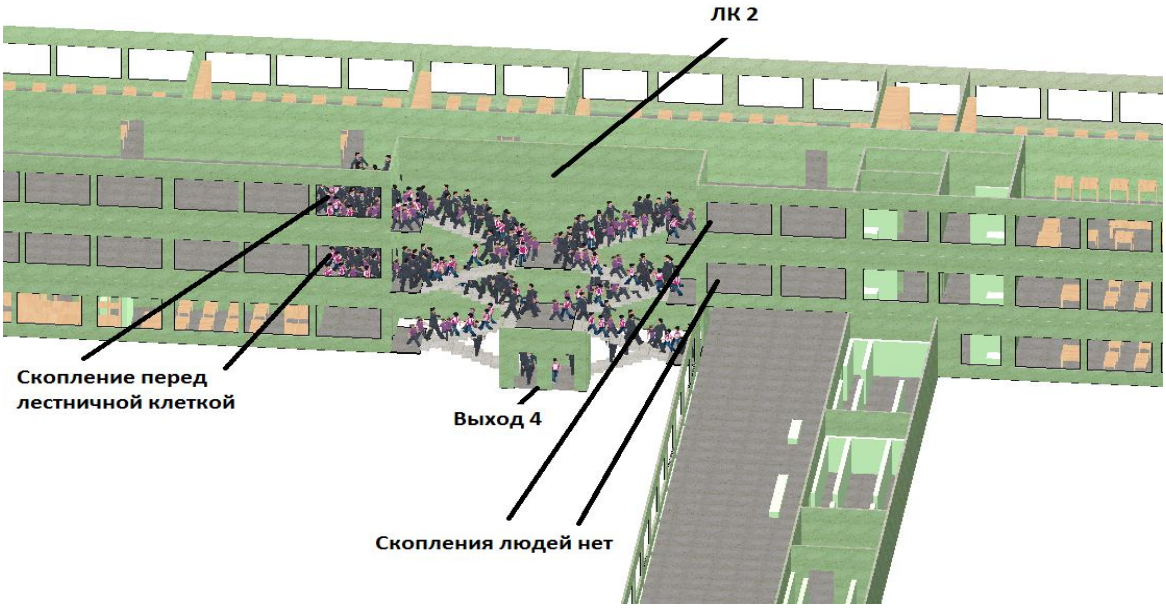


Рисунок 3.11 – Эвакуация 2 и 3 этажей через ЛК 2.Скопление людей у выхода на лестницу. Сценарий № 11, 127 секунда.

Таким образом, в данной ситуации для уменьшения времен эвакуации и длительности скопления людей, эффективного использования имеющихся ресурсов здания, необходимо управлять эвакуацией, перенаправляя людей по свободному пути, то есть на правую сторону ЛК 2 на втором и третьем этажах. Эту же особенность требуется учитывать при организации противодымной защиты здания.

Расположение очага пожара на втором этаже правого крыла здания (рисунок 3.2 в) также сказывается на выборе путей эвакуации. В силу того, что ЛК 2 закрытая, ее задымление не происходит сразу, ею могут воспользоваться, как ближайшей, люди, находящиеся в правом крыле здания на третьем этаже. А также часть людей на втором этаже, отрезанная от остальной части этажа очагом пожара. Часть людей правого крыла второго этажа здания не может пользоваться ЛК 2 (ЛК 2 отрезана для них очагом пожара), они направляются на ЛК 1, рисунок 3.12.

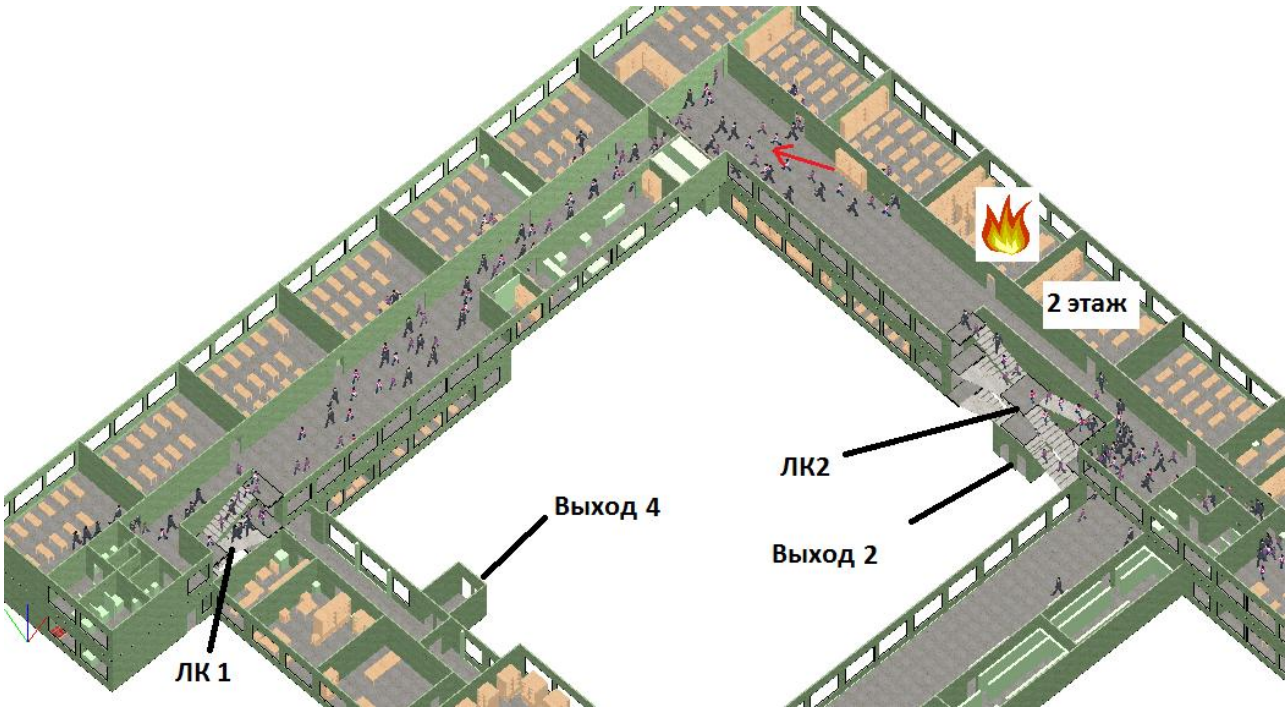


Рисунок 3.12 – Распределение людей правого крыла 2 этажа по ЛК 1 и ЛК 2. Сценарий № 12.1, 40 секунда.

Тем самым повышается нагрузка на ЛК 1 в целом. В таблице 3.4 приведены времена эвакуации по ЛК 1 без дополнительной нагрузки (данные сценария 2.1) и с дополнительной нагрузкой (данные сценария 12.1).

Таблица 3.4 - Времена эвакуации

Номер этажа	**Времена эвакуации, сек**	
	ЛК 1, без дополнительной нагрузки	**ЛК 1, с дополнительной нагрузкой**
3	123	188
2	89	152
Выход 4	175	235

Как и в предыдущем случае, ситуация с дополнительной нагрузкой лестничной клетки ведет к увеличению времен пребывания людей на этажах. Этот факт следует учитывать при организации противодымной защиты здания.

3.2.4 Влияние пожарных факторов

3.2.4.1 Применение первичного пожаротушения (огнетушителей)

Рассмотрим влияние своевременного использования первичных мер пожаротушения (огнетушителей) и систем оповещения на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2, № 3 и № 5 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

Во всех трех сценариях очаг пожара расположен вблизи центрального выхода (рисунок 3.2 а). В сценарии № 2 тушение пожара не предусмотрено. Сценарий № 3 предусматривает, что через 60 секунд после начала пожара начато тушение, и очаг пожара ликвидирован. В сценарии № 5 предполагается, что система оповещения о начале пожара не сработала, тушение было начато через 120 секунд после начала пожара, в результате чего не удается затушить пожар полностью.

Расчеты показывают, что при наличии огнетушителя и правильном обращении с ним возможно полностью ликвидировать пожар еще на начальной стадии (до достижения ОФП критических значений на путях эвакуации), рисунок 3.13. Но неотъемлемым условием такого благополучного исхода является функционирование системы раннего обнаружения возгорания для возможности своевременного и быстрого реагирования. В расчетах учитывается начало тушения на 60 секунде после возгорания.

Отдаление момента начала тушения от начала пожара (120 секунд) приводит к развитию пожара, и даже эффективное использование огнетушителя (объемом 2 литра) не позволяет полностью ликвидировать возгорание, рисунок 3.14, и развитие пожара продолжается.

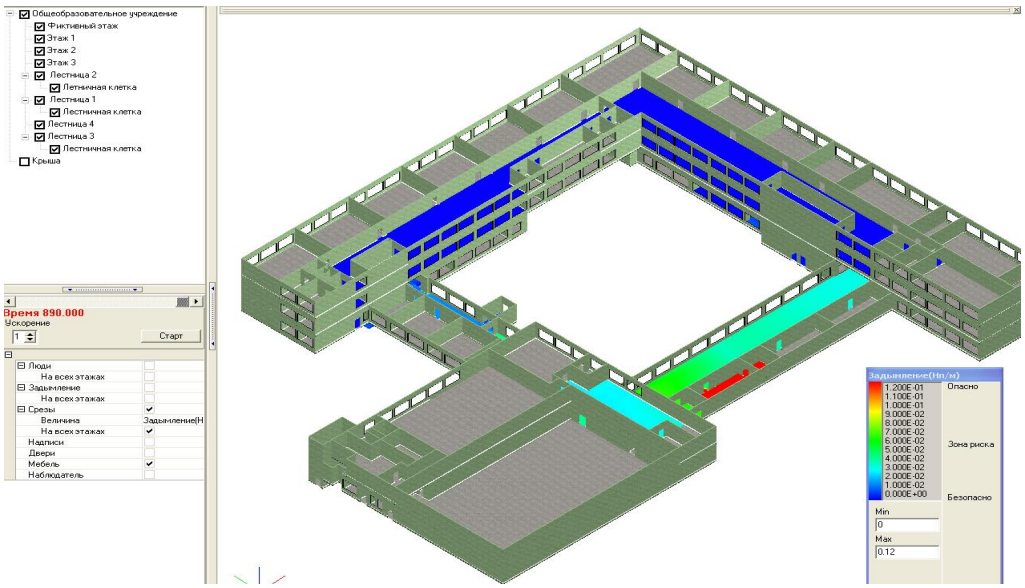


Рисунок 3.13 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 3, 15 мин.

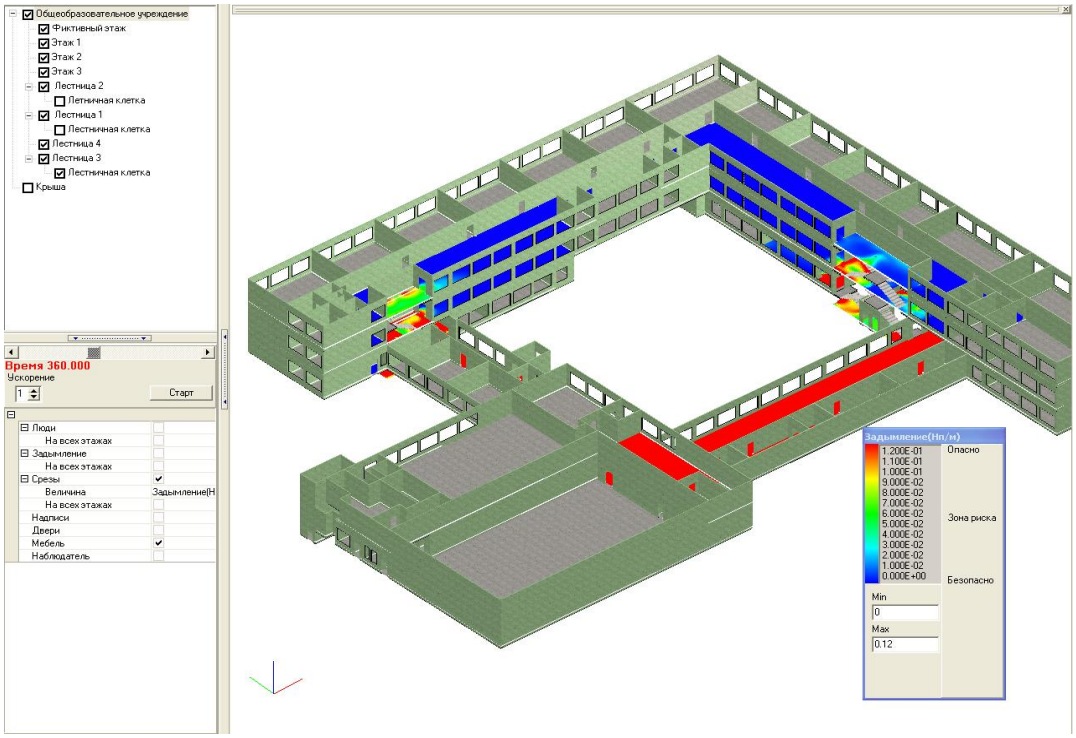


Рисунок 3.14 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 5, 6 мин.

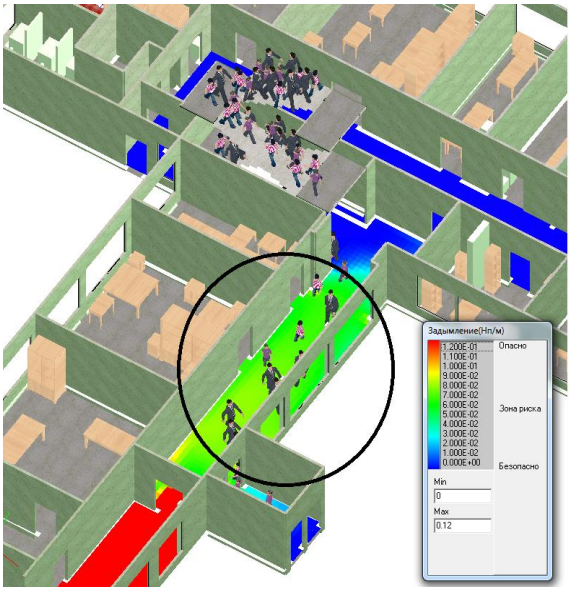
Однако отметим, что даже при частичном тушении пожара, можно замедлить скорость распространения ОФП в здании. Примерные времена начала блокирования и эвакуации с лестничных клеток на первом этаже в сравнении с аналогичным сценарием, где тушение не проводилось (сценарий № 2), приведены в таблице 3.2, в среднем задержка начала блокирования

лестничных клеток по задымлению составила 20-25 секунд. Также для обоих сценариев приводятся оценки количества людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших критических значений. Данные по эвакуации приводятся для сценариев соотнесенных со сценариями пожара № 5 и № 2, где задержка начала эвакуации относительно начала пожара была 120 секунд.

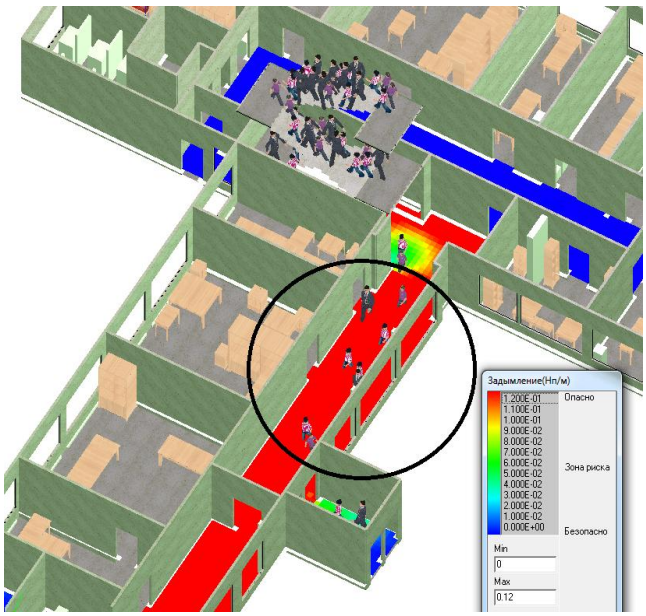
Из таблицы 3.5 видно, что задержка начала блокирования путей эвакуации примерно на 20-25 секунд позволяет эвакуироваться без угрозы здоровью большему числу людей. Примерно на 60 человек меньше подвергается воздействию ОПФ, достигших критических значений, в сценарии № 5 по сравнению со сценарием, где тушение не проводилось.

Таблица 3.5 – Сравнительная таблица времен для сценариев № 5 и № 2

Номер сценария	**ЛК 1 на первом этаже**	**ЛК 2 на первом этаже**
	Время начала блокирования по задымлению, сек	
Сценарий № 5 (тушение начато с задержкой в 120 секунд)	255	185
Сценарий № 2 (тушение не проводилось)	230	160
	Время окончания эвакуации с ЛК, сек	
Сценарий № 5, Сценарий № 2.2	255	260
	Количество людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших критических значений, чел.	
Сценарий № 5	25-30	7-10
Сценарий № 2.2	65-70	35-40



а) Сценарий № 5;



б) Сценарий № 2.2.

Рисунок 3.15 – Сравнительная картина состояния среза «Задымление», Нп/м, на 227 секунде

Иллюстрацией этого факта также служат скриншоты процессов эвакуации в обоих сценариях, представленные на рисунке 3.13.

3.2.4.2 Противодымные двери

Рассмотрим влияние противодымной защиты в виде противодымных дверей на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2, № 6 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценарии № 6 предполагается, что на путях эвакуации в коридоре первого этажа стоит проиводымная дверь, рисунок 3.16. Очаг возгорания расположен у главного входа.

Использование противодымной двери меняет динамику распространения ОФП в сравнении со случаем отсутствия такой двери (сценарий № 2). Так, задымление ЛК 2 происходит быстрее. Особенно это выражено для второго и третьего этажей, таблица 3.6 (здесь представлены временные интервалы, в течение которых происходит задымление лестничной клетки ЛК 2 с первого по третий этаж, временные интервалы приводятся потому что каждый этаж имеет

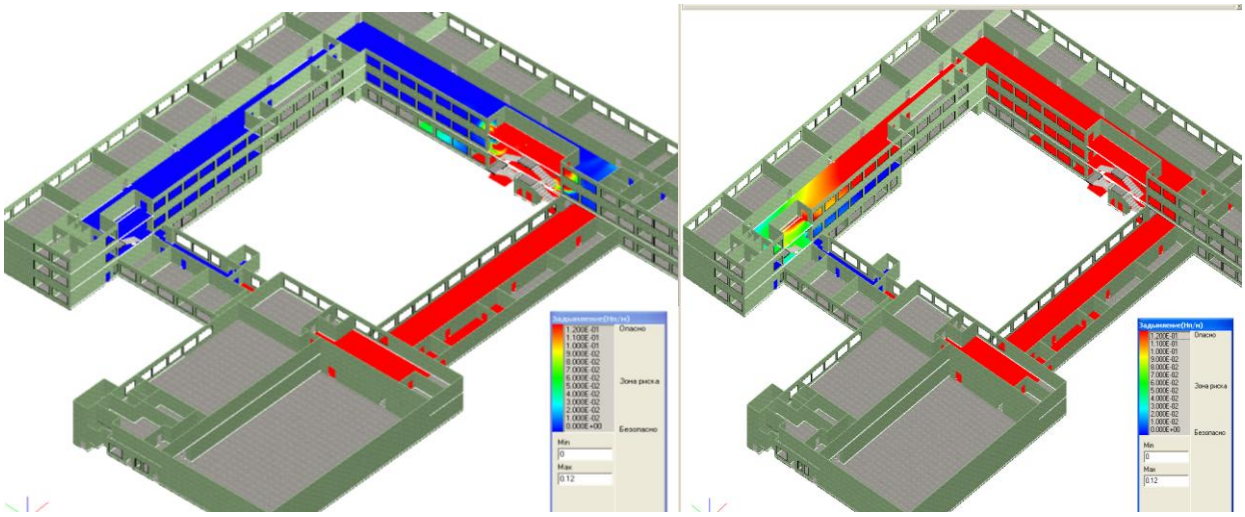
по два выхода на ЛК2). Это происходит из-за изменения доступного объема для распространения ОФП в здании.

Рисунок 3.16 – Расположение противодымной двери в коридоре школы

Таблица 3.6– Сравнительная таблица времен блокирования для сценариев 6 и 2

Номер сценария	**ЛК 2, 1 этаж**	**ЛК 2, 2 этаж**	**ЛК 2, 3 этаж**
	Время блокирования, сек		
Сценарий № 6 (противодымная дверь)	155-250	265-300	325-330
Сценарий № 2 (нет противодымной двери)	160-255	285-310	360-420

С другой стороны задымление в части здания вблизи выходов 1 и 4 не наблюдается и к 15 минуте (рисунок 3.17 б).



а) 6 мин.; б) 15 мин.

Рисунок 3.17 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 6

Таким образом, установка противодымных дверей позволяет снизить задымление отдельных участков в здании, тем самым позволяя людям без угрозы жизни и здоровью покинуть здание по соответствующим путям эвакуации. Но необходимо учитывать, что такие решения приводят к локальному увеличению скорости задымления.

3.2.4.3 Двери с доводчиками

Рассмотрим влияние противодымной защиты в виде дверей с доводчиками на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2 и № 8 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценарии № 8 при расчете предполагается, что все выходы с этажей на лестничные клетки оборудованы дверями с доводчиками, находящимися в рабочем состоянии, расчет сделан без учета эвакуации людей. Очаг пожара располагается рядом с центральным выходом (рисунок 3.2а). Поскольку речь идет не о противодымных дверях, а об обычных дверях, это предполагает, что двери пропускают ОФП, поэтому до 8 % площади дверного проема при расчете были открытыми.

Отметим следующие особенности объемно-планировочного решения здания относительно данного сценария:

- ЛК 1 имеет непосредственный выход в коридор первого этажа;

- ЛК 2 расположена ближе к месту очага пожара, чем ЛК 1;

- ЛК 2 отделена от коридора первого этажа дверьми;

- ЛК 4 располагается рядом в местом возгорания и не отделена от коридора 1 этажа дверьми, поэтому через нее идет расход ОФП;

- в расчетную область включено помещение столовой (куда также идет расход ОФП);

- в районе дверей, отделяющих ЛК 2 от коридора 1 этажа, ОФП достигает критических значений на 145 секунде (2 минуты 25 секунд), рисунок 3.18.

Однако при всех этих условиях ЛК 1 блокируется ОФП примерно на 8 минуте. ЛК 2 - примерно к 9 минуте. Это означает, что двери с доводчиком и уплотнением в притворе примерно в течение 6 минут выполняли роль противодымной защиты ЛК 2.

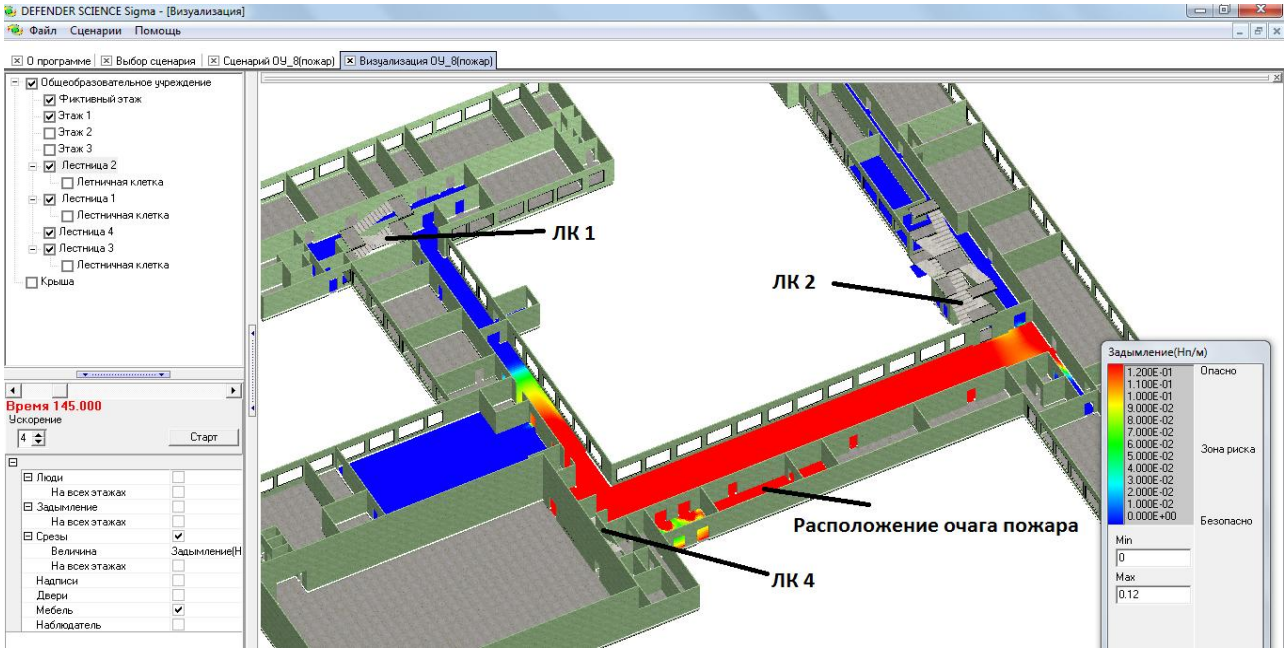


Рисунок 3.18 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий №8, 2 мин. 25 сек.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что использование дверей с доводчиками является эффективной защитой от распространения

дыма, при этом их цена существенно меньше цены противодымных дверей. Поскольку двери с доводчиками являются преградой для распространения ОФП, необходимо учитывать, что их наличие может приводить к более быстрому достижению критических значений ОФП в области связанной с очагом пожара.

Важность демонстрации эффективности работы дверей с доводчиками связана с тем, часто в процессе эксплуатации здания доводчики отключают (чтобы не ломались!), и двери на лестничные клетки находятся в открытом состоянии.

3.2.4.4 Площадь пожарной нагрузки

Рассмотрим влияние площади пожарной нагрузки (ПН) на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2 и № 9 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценариях № 2 и № 9 очаг пожара располагается рядом с центральным выходом (рисунок 3.2а) в помещении, где нет окон. В сценарии № 2 при расчетах принималось, что площадь выгораемой ПН составляет 50 % площади помещения, в котором располагается очаг пожара, что соответствует норме. В сценарии № 9 - площадь выгораемой ПН составляет 80 % площади помещения, что может быть интерпретировано как захламление помещения.

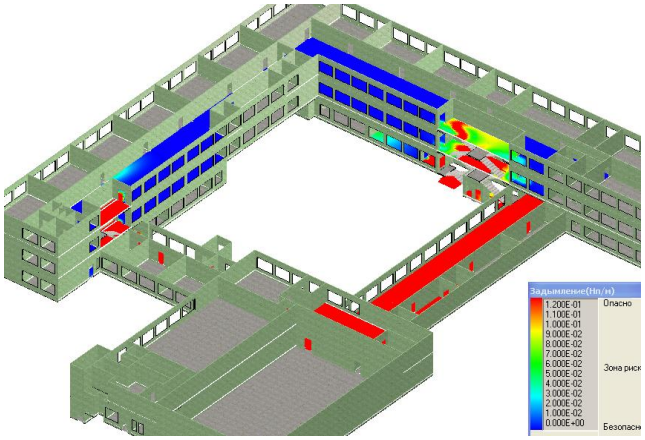
Примерно до 2-ой минуты развитие пожара в представленных сценариях протекают практически одинаково, но в дальнейшем начинает сказываться бОльшая площадь пожарной нагрузки для сценария №9. В целом лестничные клетки блокируются раньше на 20-30 секунд. Сильно ускоряется задымление ЛК 2, таблица 3.7, рисунок 3.19.

Скорость выделения ОФП зависит не только от площади горения, но и от доступа кислорода. В данном случае в помещении, где располагается очаг пожара, возможность притока воздуха отсутствует из-за отсутствия окон, поэтому количество сгораемого вещества не увеличивается прямо пропорционально увеличению площади. Это обстоятельство можно назвать

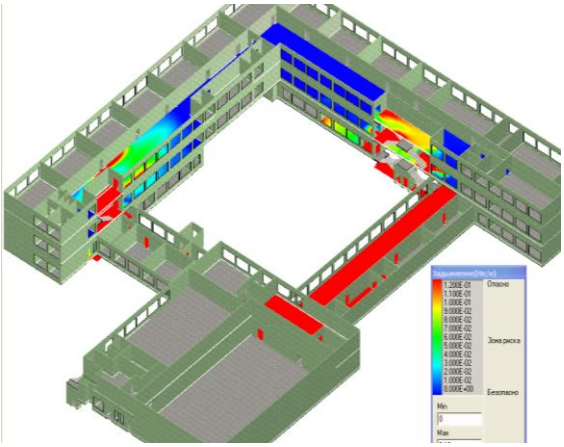
смягчающим фактором, в сравнении с ситуацией, когда возгорание происходит в захламленном помещении с окнами.

Таблица 3.7 – Сравнительная таблица времен для сценариев № 9 и № 2

Номер сценария	**ЛК 1, 1 этаж**	**ЛК 1, 2 этаж**	**ЛК 1, 3 этаж**
	Время блокирования, сек		
Сценарий № 9 (увеличенная площадь ПН)	210	265	285
Сценарий № 2 (нормальная площадь ПН)	230	290	310
	ЛК 2, 1 этаж	**ЛК 2, 2 этаж**	**ЛК 2, 3 этаж**
	Время блокирования, сек		
Сценарий № 9 (увеличенная площадь ПН)	150-185	190-215	345-360
Сценарий № 2 (нормальная площадь ПН)	160-255	280-305	360-420



а) Сценарий № 2;



б) Сценарий № 9.

Рисунок 3.19 - Поле оптической плотности, Нп/м, 6 мин.

3.2.4.5 Тип пожарной нагрузки

Рассмотрим влияние типа пожарной нагрузки (ПН) на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2, № 10, № 11 и № 12 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

При расчетах принимались следующие пожарные нагрузки:

- сценарий № 2, таблица 3.8 (имеет наибольше дымовыделение из рассмотренных ПН),
- сценарий № 10, таблица 3.9 (наибольшие скорость распространения пламени и величина тепловыделения),
- сценарий № 11, таблица 3.10 (наименьшее выделения дыма, но сравнительно большая скорость распространения пламени по сравнению со сценариями №2 и №12 и наибольшая скорость выгорания ПН),
- сценарий № 12 – таблица 3.11 (по совокупности характеристик наименее опасная ПН из рассмотренных).

Таблица 3.8 - ПН для сценариев №1-9: здание I-II степени огнестойкости; мебель + бытовые изделия.

Параметры ПН	**Единица измерения**	**Значение**
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0108
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01450
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	270,00
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,0300
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,20300

Параметры ПН	Единица измерения	Значение
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,00220
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,01400

Таблица 3.9 - ПН для сценария №10: верхняя одежда; ворс, ткани (шерсть+нейлон).

Параметры ПН	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	23300,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0835
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01300
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	129,00
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-3,6980
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,4670
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,01450
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

Таблица 3.10 - ПН для сценария №11: кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25).

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	14002,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,042
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01290
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	53,00

Параметр	Единица измерения	Значение
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,1610
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,64200
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,03170
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

Таблица 3.11 - ПН для сценария №12: библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах.

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	14500,0
Линейная скорость пламени	кг/м^3	0,0103
Удельная скорость выгорания	кг/м^2·с	0,01100
Дымообразующая способность	Нп·м2/кг	49,50
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	-1,1540
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	1,10870
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,09740
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,00000

В силу того, что сценарии № 2 и № 10 предполагают одинаковое размещение очага пожара – в помещении рядом с центральным выходом (рисунок 3.2 а), можно проводить прямое количественное сравнение этих сценариев. Сценарий №10 наиболее опасен на ранних стадиях, когда за счет большой скорости распространения пламени очень быстро распространяются ОФП по первому этажу. Это хорошо видно из таблиц 3.12 и 3.11: блокирование

ЛК 1 и ЛК 2 по задымлению на первом этаже в сценарии № 10 начинается примерно на 50 секунд раньше, чем в сценарии № 2.

В дальнейшем, когда очаг имеет максимальную площадь, но испытывает недостаток кислорода (очаг пожара расположен в помещении без окон), скорость распространения ОФП падает. Это видно из сравнения времен начала блокирования ЛК 2 по задымлению на третьем этаже. В силу круговой геометрии здания фронт опасной (красной) зоны добирается от ЛК 1 до ЛК 2 по третьему этажу примерно за одинаковое время, 250 секунд, в обоих сценариях. При этом блокировка ЛК 1 в сценарии № 10 началась примерно на 50 секунд раньше. Это и свидетельствует о падении скорости распространения ОФП в сценарии № 10.

Таблица 3.12 – Сравнительная таблица времен блокирования ЛК 1 для сценариев № 10 и № 2

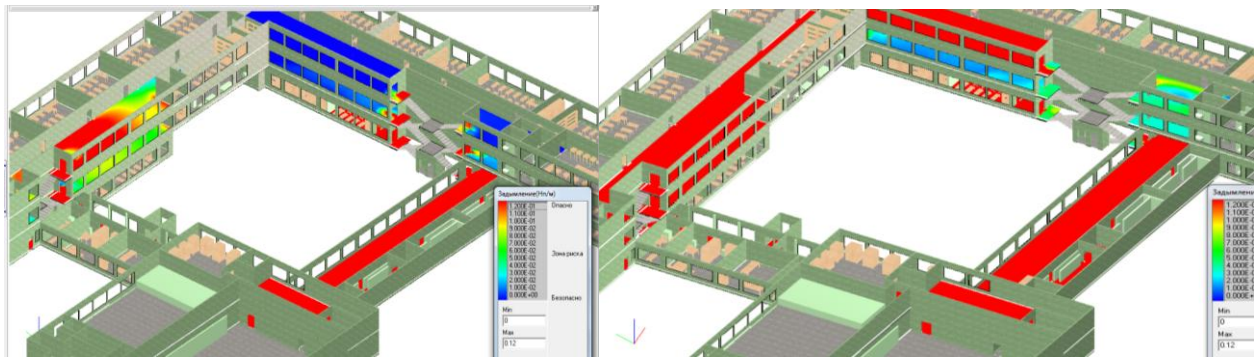
Номер сценария	**ЛК 1, 1 этаж**	**ЛК 1, 2 этаж**	**ЛК 1, 3 этаж**
	Время блокирования по задымлению, сек		
Сценарий № 10	175	245	265
Сценарий № 2	230	290	310
	ЛК 1, 1 этаж	**ЛК 1, 2 этаж**	**ЛК 1, 3 этаж**
	Время блокирования по температуре, сек		
Сценарий № 10	215	285	295
Сценарий № 2	350	420	430

Таблица 3.13 – Сравнительная таблица времен блокирования ЛК 2 для сценариев № 10 и № 2

Номер сценария	**ЛК 2, 1 этаж**	**ЛК 2, 2 этаж**	**ЛК 2, 3 этаж**
	Время блокирования по задымлению, сек		
Сценарий № 10	110-240,	590-605	510-555

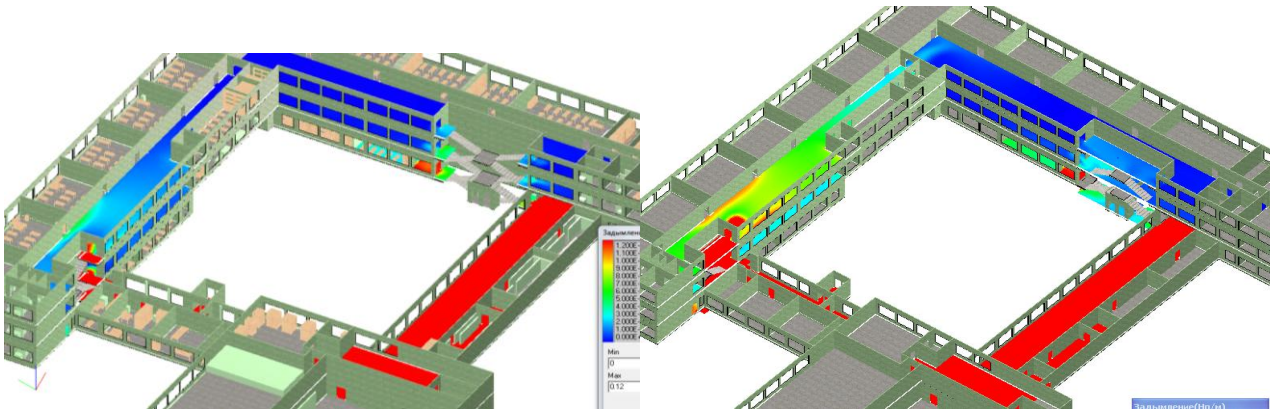
	625-640		
Сценарий № 2	160-255	285-310, 625-645	370-420, 545-595
	Время блокирования по температуре, сек		
Сценарий № 10	130, 680	605-620	525-580
Сценарий № 2	300, 820	740-780	660-715

Повышенное тепловыделение в сценарии № 10 приводит к изменению структуры течения по сравнению со сценарием № 2. Это выражается в том, что блокировка ЛК 2 на уровне второго этажа по задымлению и по температуре происходит по принципу сверху-вниз, таблица 3.13. Динамику блокирования ЛК 2 по задымлению в сценарии № 10 можно проследить по скриншотам на рисунке 3.21.

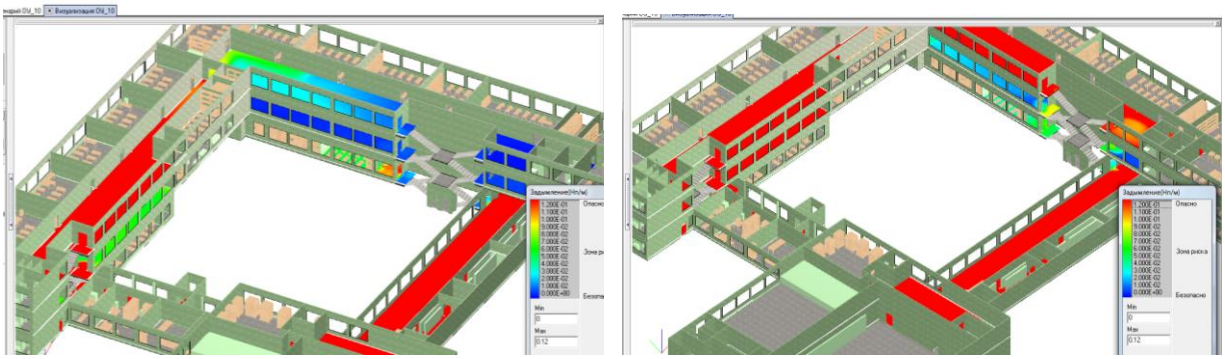


а) 7 мин; б) 9мин.

Рисунок 3.20 - Поле оптической плотности, Нп/м, Сценарий № 2



а) 5 мин; б) 6 мин.



в) 7 мин; г) 9мин.

Рисунок 3.21 - Поле оптической плотности, Нп/м, Сценарий № 10

Пожарная нагрузка в сценарии № 11 уступает по опасности как сценарию № 2, так и сценарию № 10: за счет низкого дымовыделения и за счет меньшей скорости распространения пламени и меньшего тепловыделения соответственно.

Наименее опасным оказывается пожар в помещении библиотеки, рисунок 3.2 в. Для этого сценария не происходит задымления первого этажа в течении как минимум 15 мин, рисунок 3.13.

Таким образом вид ПН оказывает существенно влияние на распространение ОФП. Из чего следует необходимость классификации функционального назначения помещений с точки зрения ПН для правильного их размещения их внутри здания.

3.2.5 Влияние человеческих факторов

3.2.5.1 Квалификация пользователя огнетушителем

Рассмотрим влияние квалификации пользователя при тушении пожара ручным огнетушителем на ранней стадии на характер распространения ОФП. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 3 и № 4 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценариях № 3 и № 4 очаг пожара располагается рядом с центральным выходом (рисунок 3.2а) в помещении, где нет окон.

В сценарии № 3 при расчетах принималось, что тушение пожара ручным огнетушителем объемом 2 литра начинается через 60 секунд после возгорания, весь объем огнетушителя используется на тушение (то есть действует обученный человек).

В сценарии № 4 при расчетах принималось, что тушение пожара ручным огнетушителем объемом 2 литра начинается через 90 секунд после возгорания, объем огнетушителя лишь частично используется на тушение (то есть действует НЕобученный человек).

Расчеты показывают, что при своевременном начале тушения и правильном обращении с огнетушителем возможно полностью ликвидировать пожар еще на начальной стадии (до достижения ОФП редельно допустимых значений на путях эвакуации), рисунок 3.22. Но неотъемлемым условием такого благополучного исхода является функционирование системы раннего обнаружения возгорания для возможности своевременного и быстрого реагирования.

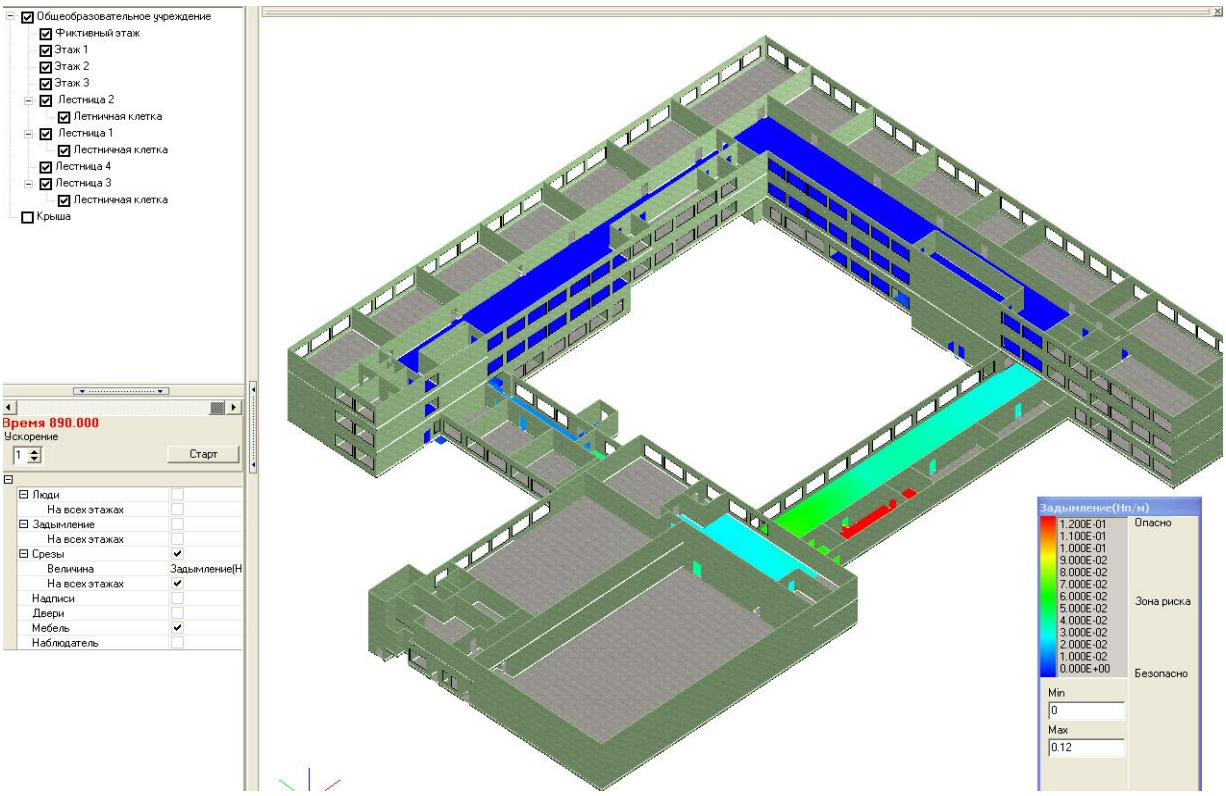


Рисунок 3.22 - Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий № 3, 15 мин.

В сценарии № 4 очаг пожара потушить полностью не удалось (рисунок 3.23), хотя скорость распространения ОФП была снижена и время блокировки путей эвакуации выросло (в сравнении с отсутствием тушения), таблица 3.14.

Таблица 3.14 – Сравнительная таблица времен для сценариев № 4 и № 2

Номер сценария	**ЛК 1 на первом этаже**	**ЛК 2 на первом этаже**
	Время начала блокирования по задымлению, сек	
Сценарий № 4 (тушение начато с задержкой в 90 секунд, не квалиф.)	265	200
Сценарий № 2 (тушение не проводилось)	230	160

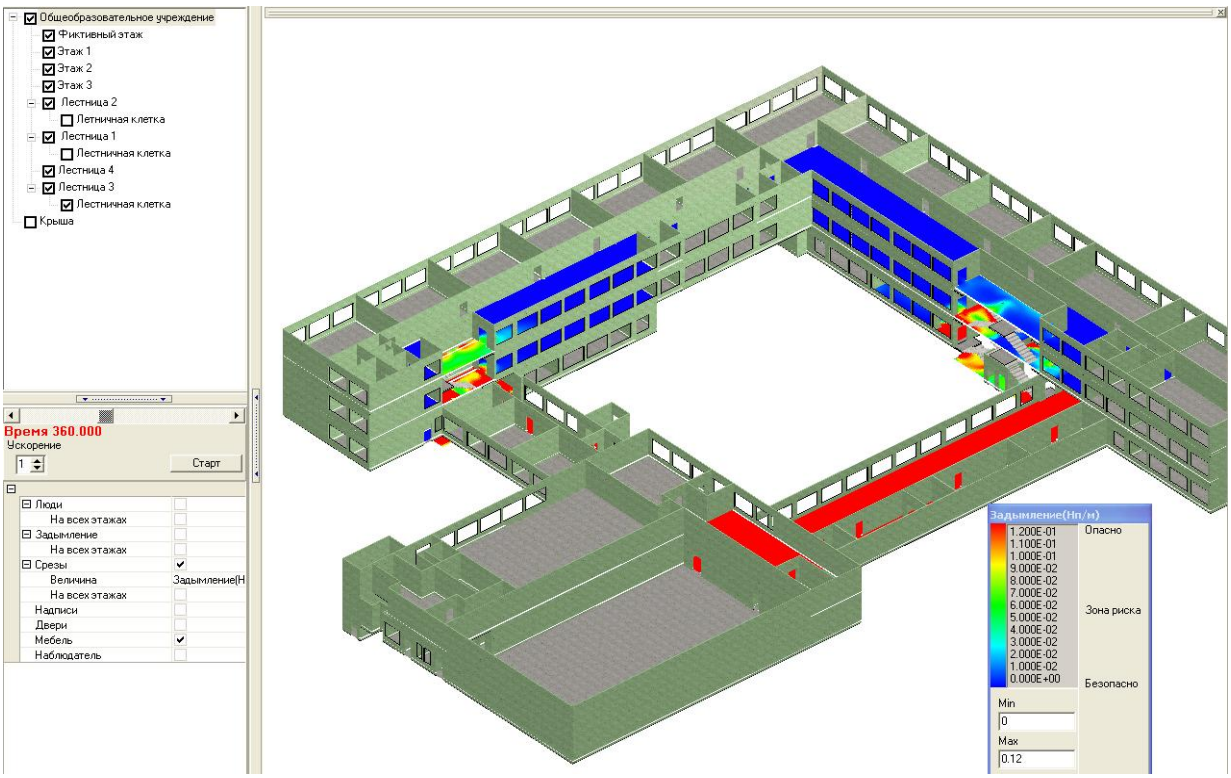


Рис. 3.23. Поле оптической плотности, Нп/м. Сценарий №4, 6 мин.

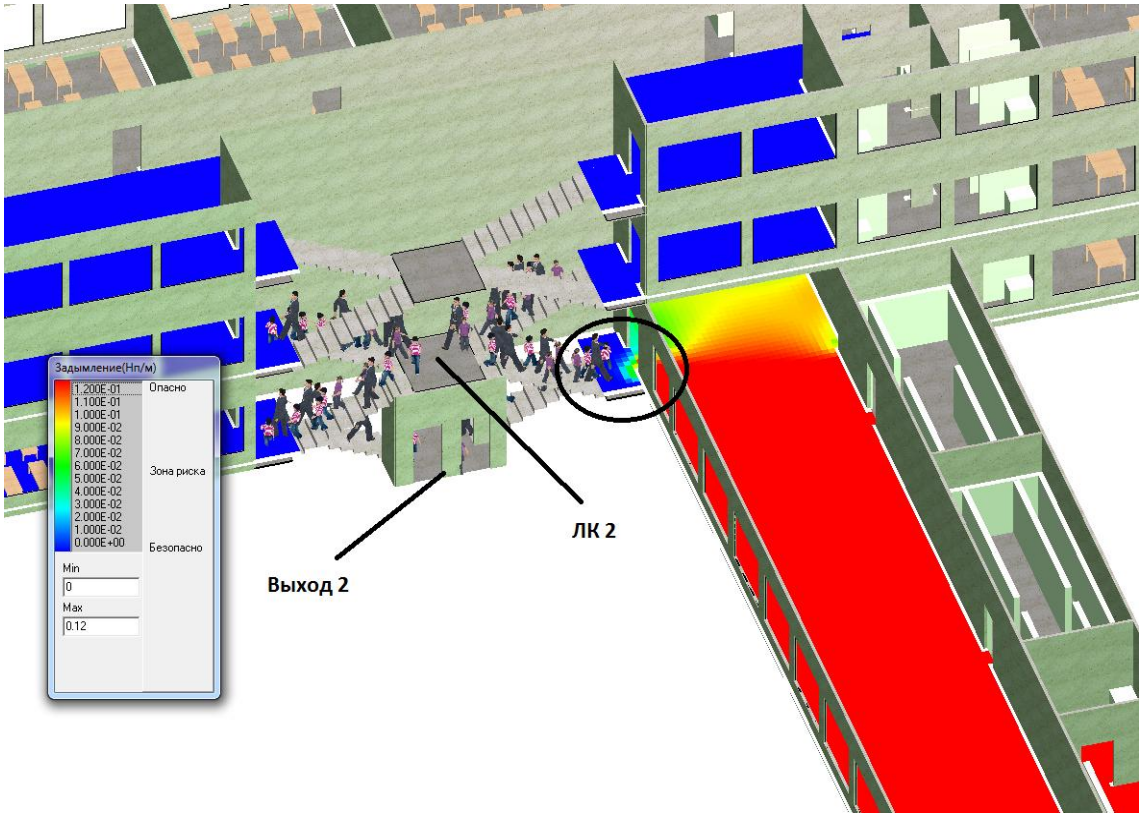
3.2.5.2 Задержка начала эвакуации

Рассмотрим влияние задержки начала эвакуации на исход эвакуации при одинаковом сценарии развития пожара. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 2.1 и № 2.2 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

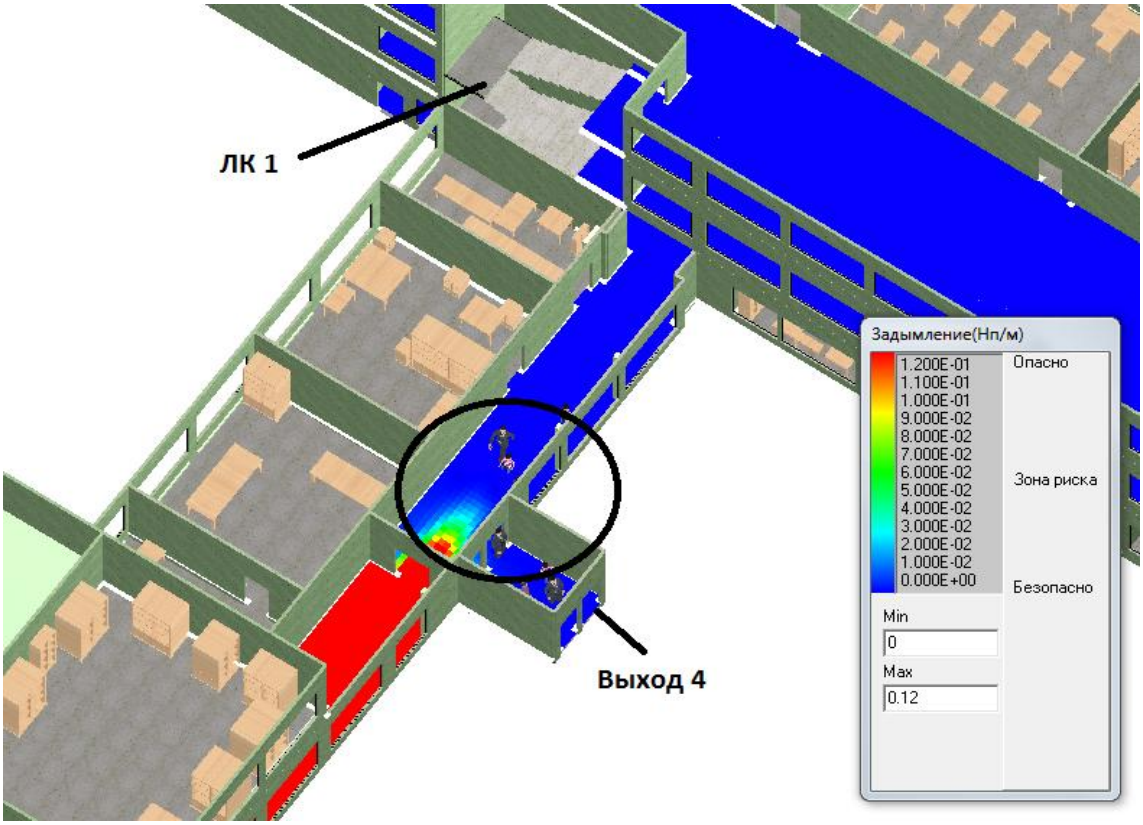
В сценариях № 2.1 и № 2.2 развитие пожара принималось в соответствии со сценарием № 2, где очаг пожара располагается рядом с центральным выходом (рисунок 3.2а). В соответсвтии с этим сценарием двери на лестничных клетках считаются открытыми.

В сценариях № 2.1 и № 2.2 люди равномерно распределены по зданию (учебный процесс). В сценарии № 2.1 принимается, что эвакуация началась своевременно по сигналу пожарной сигнализации, не позднее 30 секунд от начала пожара. В сценарии № 2.2 принимается, что эвакуация началась не раньше 120 секунд от начала пожара.

В силу расположения очага пожара удаленно от учебных классов, люди используют ближайшие лестницы и ближайшие эвакуационные выходы к ним.



а) Сценарий № 2.1, Выход 2, 142 секунда;

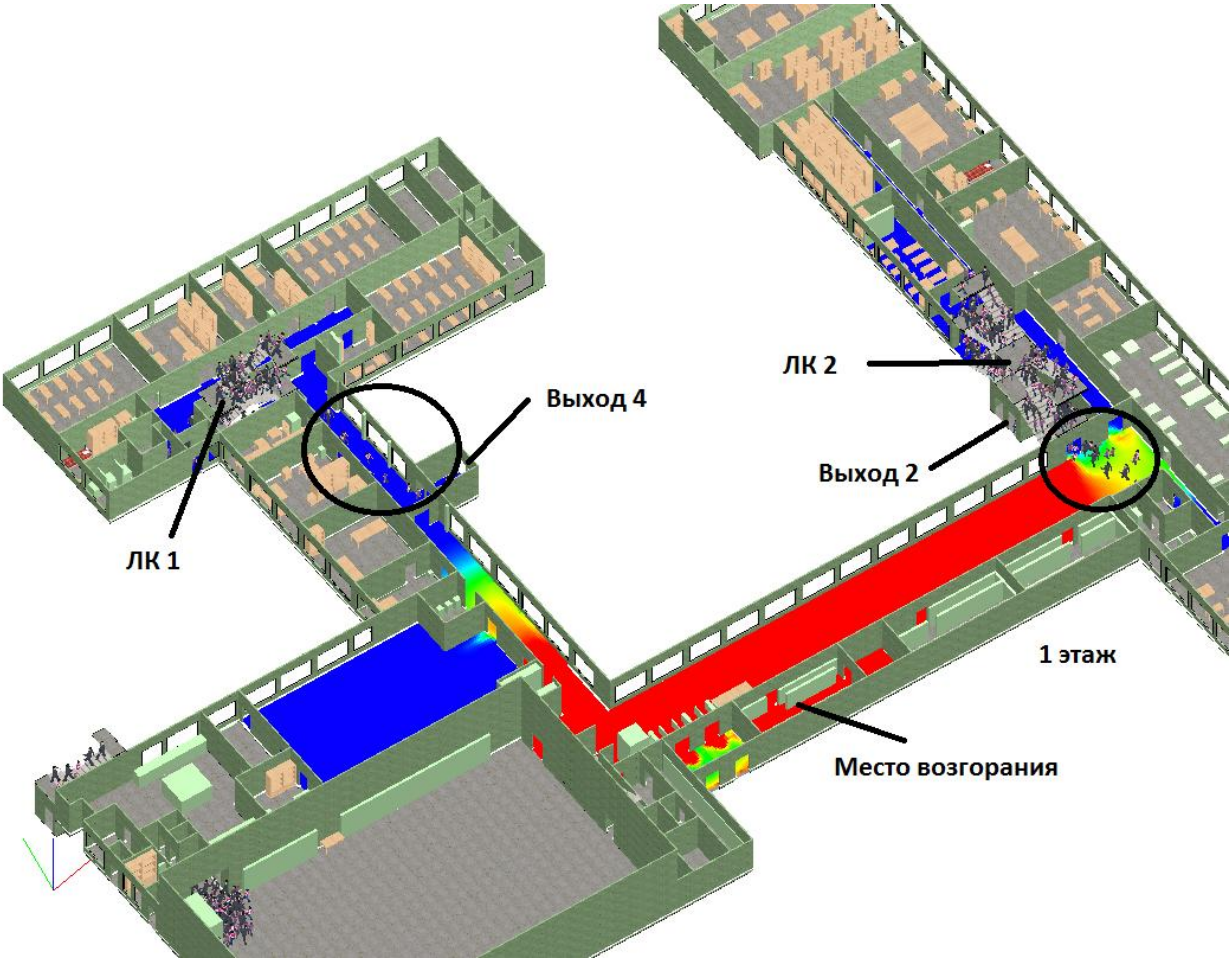


б) Сценарий № 2.1, Выход 4, 165 секунда;

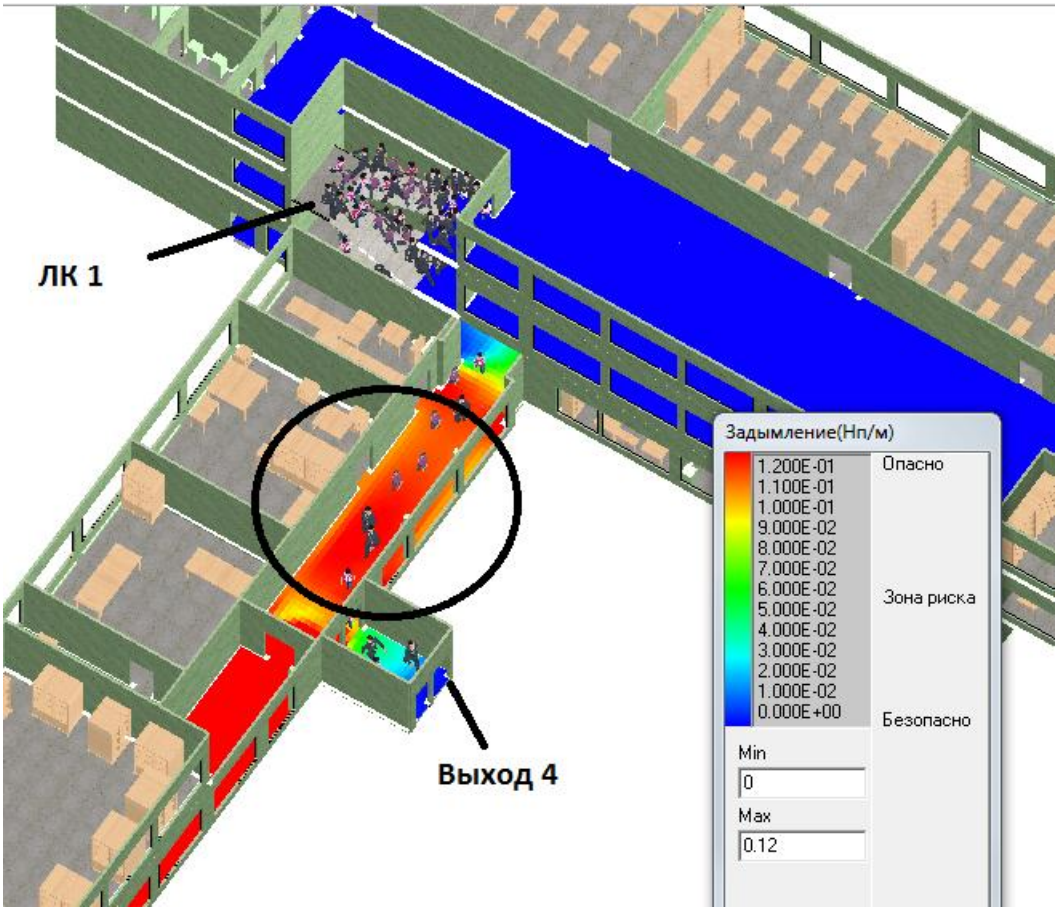
Рисунок 3.24 – Поле оптической плотности, Нп/м, на высоте 1,7 м, сценарий 2.1

При равномерном расположении людей по зданию, нормативной загрузке здания и своевременном начале эвакуации (с задержкой не более 30 секунд от начала пожара) люди успевают эвакуироваться до достижения ОФП предельно допустимых значений [1] на путях эвакуации. Однако в сценарии № 2.1 последние эвакуирующиеся через выход 4 (6-10 человек) и выход 2 (6-10 человек) попадают в зону риска, рисунок 3.24 а, б.

При задержке начала эвакуации от 120 секунд (сценарий № 2.2) более 100 (!) человек в общей сложности попадают под воздействие ОФП, достигших предельно допустимых значений, рисунок 3.25.



б) Сценарий № 2.2, 141 секунда;



б) Сценарий № 2.2, 215 секунда;

Рисунок 3.25 – Поле оптической плотности, Нп/м, на высоте 1,7 м и эвакуация людей через Выход 4

3.2.5.3 Использование эвакуационных выходов

Рассмотрим влияние использования эвакуационных выходов на длительность эвакуации. Для этого будем использовать расчеты сценариев № 13 и № 16 из базы программы «Виртуальный тренажер Сигма ПБ».

В сценариях № 13 и № 16 развитие пожара не рассматривается. Предполагается, что люди равномерно распределены по зданию (учебный процесс), 784 и 797 человека соответственно. В сценарии № 13 принимается, что эвакуация осуществляется только через центральный выход (только кухонные работники эвакуируются через выход 5 из кухни). В сценарии № 16 – через ближайший выход из здания. С этажей люди эвакуируются через ближайшие лестницы. Начало эвакуации одновременное.

Таблица 3.15 дает представление о временах эвакуации основных потоков с этажей и из здания в обоих сценариях:

Таблица 3.15 – Сравнительная таблица времен эвакуации
для сценариев № 13 и № 16

Контрольные отметки	**Время эвакуации, сек.**	
	Сценарий № 13	**Сценарий № 16**
3 этаж		
ЛК 1	96	94
ЛК 2 (левая сторона)	55	45
ЛК 2 (правая сторона)	44	47
2 этаж		
ЛК 1	61	60
ЛК 2 (левая сторона)	49	54
ЛК 2 (правая сторона)	38	36
1 этаж		
ЛК 1	134	135
ЛК 2 (левая сторона)	114	-
ЛК 2 (правая сторона)	126	-
Выход 4	-	144
Выход 2	-	130
Центральный выход	162	72

При использовании только одного выхода общее время эвакуации увеличиваетя примерно на 20 секунд. Но основную опасность в сценарии № 13 представляет плотная масса людей, скапливающаяся перед центральным выходом, рисунок 3.26. Длительность плотного скопления более 100 секунд.

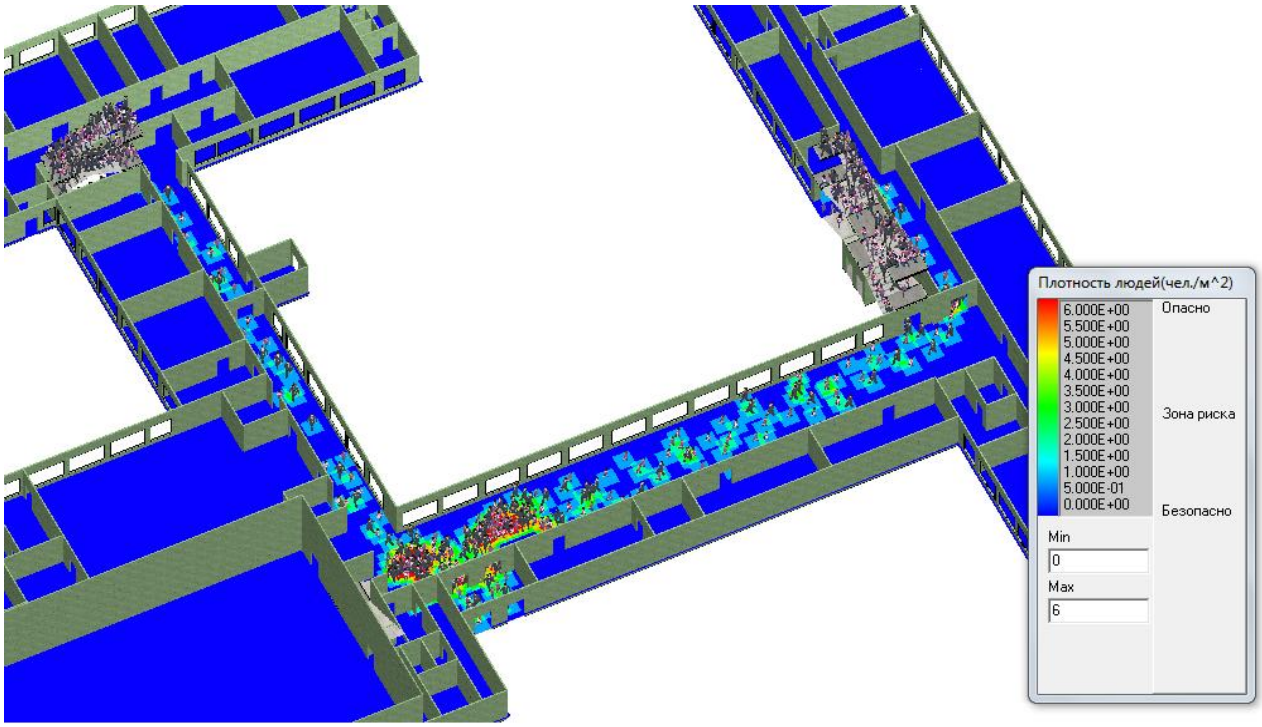


Рисунок 3.26 – Состояние поля плотности, чел/м^2, и эвакуация людей через Центарльный выход, сценарий № 13, 60 секунда.

3.2.6 Обобщение исследования для здания общеобразовательного учреждения

На основе проведенного исследования можно сделать следующие обобщения:

1) использование доводчиков на дверях лестничных клеток является эффективным (и экономически выгодным) противодымным инструментом, дающим существенную задержку времен блокирования ОФП путей эвакуации;
2) своевременное квалифицированное применение пожаротушения (ручной огнетушитель) позволяет затушить пожар на начальной стадии и обезопасить людей в здании;
3) размещение пожарной нагрузки следует соотносить с ее характеристиками, объемно-планировочным решением здания, устройством противодымной защиты;

4) устройство притиводымных дверей на путях эвакуации следует сопровождать другими мерами противодымной защиты;
5) своевременная эвакуация – безопасная эвакуация;
6) предварительный расчет и планирование путей эвакуации позволяет сократить время эвакуации с этажей и здания в целом;
7) управление эвакуацией позволяет сократить время эвакуации с этажей и здания в целом.

3.3 Рекомендации по практическому снижению пожароопасности объектов сферы науки и образования

Проведенный анализ не является исчерпывающим, но тем не менее помогает сделать определенные выводы общего характера по обеспечению пожаробезопасности зданий образовательных учреждений. Будем исходить из того, что для успешного исхода эвакуации людей из здания требуется максимальная задержка блокирования путей эвакуации ОФП и минимальная задержка начала эвакуации относительно начала пожара.

Пожалуй, основной рекомендацией, вытекающей из анализа расчетов, является обеспечение противодымной защиты здания путем установки и соблюдения правил эксплуатации дверей с доводчиками в проемах, ограничивающих лестничные клетки. Эта мера эффективна с точки зрения обеспечения запаса времени, необходимого для безопасной эвакуации, и является экономически привлекательной в сравнении с другими методами ПБ-защиты.

В зданиях со сложной геометрией (например, круговой) требуется планирование путей эвакуации для различных сценариев пожара. При планировании маршрутов необходимо учитывать, особенности объемно-планировочного решения здания, нагрузку здания (с учетом режима эксплуатации) и пропускную способность участков путей эвакуации. Современное развитие программно-аппаратной базы позволяет на основе

расчетов эвакуации и развития ОФП определять маршруты, формировать рекомендации по управлению эвакуацией для различных ситуаций.

Своевременное оповещение о начале пожара и своевременная реакция на оповещение являются залогом успешного исхода эвакуации.

Показано, что применение пожаротушения на начальной стадии при эффективном использований всего объема огнетушителя позволяет либо совсем потушить пожар, либо локализовать распространении ОФП и также обеспечить запас времени для безопасной эвакуации. В этой связи обучение персонала и повышение в обществе культуры пожарной безопасности являются приоритетными задачами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Текст]: Приказ МЧС России № 749 от 12 декабря 2011 года.

2 Отчет о НИР по теме «Разработка модели информационно-управляющей системы принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах сферы науки и образования на основе оценки рисков и моделирования последствий возникновения опасных факторов в условиях дефицита времени и пространства», часть 1 // Госконтракт № 09.0708.11.014 от «19» марта 2010 г., Красноярск: ИВМ СО РАН, 2010. – 453 с.

3 Предтеченский, В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков [Текст] / В. М. Предтеченский, А. И. Милинский ; Стройиздат.– М., 1979, – 375 с.

4 Рыжов А.П., Хасанов И.Р., Дектерев А.А., Амельчугов С.П. и др. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях [Текст]: Методические рекомендации ; ВНИИПО. – М., 2003. – 35 с.

5 Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2010613073. Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Гаврилов А.А., Дектерев А.А., Негин В.А., Харламов Е.Б. «Программный комплекс для численного моделирования динамики пожаров (σFire)», регистр. 11 мая 2010 г.

6 Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2013610824. Кирик Е.С., Малышев А.В. «Программа по расчету времени эвакуации из многоэтажных зданий и сооружений моделью идивидуально поточного типа (SigmaEva)», 9 января 2013г.

7 Холщевников, В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах. [Текст]: учеб. пособие / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин; Академия ГПС МЧС России. – М., 2009. – 212 с.