

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

Департамент бакалавриата

(наименование)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование и обоснование требований пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации с учетом параметров категоричности производственных помещений по пожарной опасности (на примере объектов ООО «Талисман»)

Студент

С.Е. Белов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

К.т.н. доцент И.И. Рашоян

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Термины и определения	3
Перечень сокращений и обозначений.....	4
Введение.....	5
1 Анализ действующих требований пожарной безопасности к проектированию путей эвакуации с учетом параметров категорий производственных помещений	11
1.1 Обзор действующих законодательных требований пожарной безопасности к эвакуационным путям на стадии проектирования	11
1.2 Исследование правовых норм при проектировании эвакуационных путей с учетом категорий производственных помещений	13
2 Категорирование помещений и расчет пожарных рисков как средство моделирования соблюдения требований пожарной безопасности	22
2.1 Категорирование помещений как инструмент повышения пожарной безопасности производственных помещений	22
2.2 Расчет пожарных рисков как инструмент обоснования требований пожарной безопасности	27
3 Моделирование пожара, как метод обосновывания требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации	34
3.1 Характеристика расчетной модели на примере объекта ООО «Талисман»	34
Заключение	67
Список используемых источников.....	68

Термины и определения

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Возможный пожарный риск – пожарный риск с допустимой возможной величиной, складывающейся исходя из общественной ситуации.

Допустимый пожарный риск – риск в области пожарной безопасности уровень которого можно допустить и обосновать.

Индивидуальный пожарный риск – пожарный риск, который может привести к смерти человека при пожаре.

Опасные факторы пожара – следствие пожаров, которые приводят к неблагоприятным факторам для людей.

Пожарная безопасность – состояние защиты от пожаров.

Пожарная нагрузка – количество материалов, обращающихся в помещении и выделяющих теплоту.

Пожарная опасность – состояние, при котором возможно возникновение и развитие пожара.

Пожарный риск – возможная мера возникновения пожароопасной ситуации на объектах защиты.

Эвакуационный выход – выход, который ведет из пожара.

Перечень сокращений и обозначений

ВОК – взрывоопасная концентрация,
ГОСТ – государственный стандарт качества,
ИСО – International Organization for Standardization,
ЛВЖ – легко-воспламеняемые жидкости,
МГН – маломобильные группы населения,
ОФП – опасные факторы пожара,
СНиП – строительные нормы и правила,
СП – свод правил,
ФЗ – федеральный закон.

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования.

Сохранение жизни людей при пожаре ключевой элемент безопасности современного общества и каждого человека в отдельности. В рамках действия регуляторной гильотины нарастает тенденция к исследованию чрезмерности требований пожарной безопасности для производственных объектов. Для того, чтобы не было сделано поспешных выводов о чрезмерности или недостаточности законодательных требований необходимо проводить тщательное исследование и обоснование норм. Для обоснования норм необходима разработка должного исследовательского инструментария, который помог бы объективно проанализировать те или иные требования.

В современном обществе основной ценностью является безопасность людей. Профилактика от возможных последствий опасных факторов пожаров является одной из насущных проблем, за решением которой стоит комплекс мер по возможному предотвращению пожаров, а также профилактика возможности к их возникновению. По мнению многих современных исследователей данной проблематики [1] предотвращение пожара — это ключевая проблема в области профилактики пожаров. Для обеспечения достаточного уровня безопасности при возникновении пожаров в зданиях существует разработанный ряд мер, содержащийся в нормах и законах. В современных строительных нормативно-технических документах актуализируются и совершенствуются нормы, влияющие на безопасность людей при пожаре. В соответствии с действующими правовыми нормами отдается приоритет требованиям, направленных именно на обеспечение безопасности людей при пожаре.

Обеспечение безопасной эвакуации людей из производственных помещений достигается за счет исполнения противопожарных требований. Исполнение противопожарных требований, а также создание условий и мер по

профилактике пожаров следует начинать со стадии проектирования объекта защиты.

В актуальной правовой системе России содержится большой корпус документов по пожарной безопасности на стадии проектирования, по которым предусматриваются конструктивные, объемно-планировочные и системно-технические решения, обеспечивающие возможность эвакуации людей до наступления угрозы жизни и здоровью, вследствие воздействия опасных факторов пожара. Однако ряд вопросов, в частности, касающихся влияния категорий помещений на проектируемые пути эвакуации в строительных нормативно-технических документах и нормативных правовых актах требует обоснованных дополнений. В практической деятельности специалисты сталкиваются с условиями, при которых действующие нормы и требования пожарной безопасности к эвакуационным путям производственных помещений (категорий А и Б) недостаточны для соблюдения необходимого уровня защищенности эвакуируемых людей. Совершенствование требований пожарной безопасности, предъявляемых к проектным решениям путей эвакуации, на основе учета категорий помещений является актуальным.

Объект исследования: ООО «Талисман», г. Санкт-Петербург, строительно-монтажная организация, эксплуатирующая производственные объекты.

Предмет исследования: требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации.

Цель исследования: исследование и обоснование требований пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации с учетом категорий производственных помещений по пожарной опасности.

Гипотеза исследования состоит в том, что:

1. Действующие нормы и требования пожарной безопасности к эвакуационным путям недостаточны для соблюдения высокого уровня защищенности эвакуируемых людей при их практическом

применении с учетом категорий производственных помещений по пожарной опасности;

2. Разработка обоснованных дополнений к требованиям пожарной безопасности к проектируемым эвакуационным путям с учетом категорий производственных помещений требует квалифицированного теоретического моделирования процесса эвакуации при пожаре.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Исследовать требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации с учётом категорий производственных помещений по пожарной опасности;
2. Проанализировать актуальную ситуацию в действующем законодательстве в этой области;
3. Разработать требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации с учетом категорий производственных помещений;
4. На примере моделирования сценарных ситуаций эвакуации при пожаре обосновать предлагаемые требования с учетом категорий помещений.

Теоретико-методологическую основу исследования составили:

Исследования и научные работы различных авторов. Исследование требований пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации из производственных помещений изложено в научных трудах следующих авторов: Н. В. Ландышева, Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой, В. С. Федорова. Определение расчетного времени эвакуации приводится по натурным методикам, таких ученых как В. М. Предтеченский, Т. Д. Тарасов, В. А. Копылов.

Вопросы расчета категорий производственных помещений изучались: Г. Т. Земским, В. В. Баратовым.

Основные положения по расчету категорий сформулировал коллектив авторов ФГБУ ВНИИПО МЧС России И. М. Смолин, Н. Л. Полетаев, Д. М. Гордиенко, Е. В. Смирнов.

Темами проектирования путей эвакуации и расчета категорий занимались многие ученые, однако влияние категорий производственных помещений на проектирование путей эвакуации в научных трудах не нашло достаточного отображения в научных исследованиях.

Базовыми для настоящего исследования явились также нормативные правовые документы, регламентирующие требования пожарной безопасности к путям эвакуации, такие как СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (приказ МЧС РФ от 09.12.2010 № 639), СП 12.13130.2009 (приказ МЧС РФ от 09.12.2010 № 643).

Методы исследования: Методы исследования базировались на принципах математического моделирования, теории эвакуации людей при пожаре. Расчет времени блокирования путей эвакуации и расчет необходимого времени эвакуации производился согласно рекомендациям «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. №382). Расчет производился при помощи программного комплекса: «СИТИС: Блок+». Расчет времени эвакуации выполнен в программе «СИТИС: Флоутек».

Опытно-экспериментальная база исследования состоит в использовании программных комплексов ООО «СИТИС» по расчету ОФП и времени эвакуации при пожаре.

Научная новизна исследования заключается в:

1. Выполнено исследование требований пожарной безопасности к путям эвакуации, с учетом категорий помещений по пожарной опасности;
2. Предложены возможные варианты расширения и уточнения нормативных требований;

3. Произведено теоретическое моделирование эвакуации при пожаре, с оценкой влияния категорий помещений по пожарной опасности.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

1. Проведена оценка действующего законодательства в свете изучаемой проблематики;
2. Смоделированы различные сценарии эвакуации при пожаре с учетом категорий производственных помещений.

Практическая значимость исследования: предложены рекомендации по нормативному регулированию уровня пожарной безопасности производственного объекта.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

1. Высокая степень достоверности результатов расчетов обеспечена тем, что расчеты проводились при помощи программного комплекса «СИТИС: Блок+». Расчет времени эвакуации выполнен в программе «СИТИС: Флоутек»;
2. По каждому этапу исследований проводился анализ полученных данных и интерпретация результатов.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в том, что диссертация является результатом исследования автора в период с 2018-2020 гг. Автором самостоятельно поставлена цель и определены задачи исследований, план проводимых исследований, произведены необходимые расчеты и сформулированы выводы.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты опубликованы в журналах:

1. «Охрана труда и пожарная безопасность в учреждениях здравоохранения» №5/2020;
2. «Охрана труда и пожарная безопасность в образовательных учреждениях» №5/2020.

На защиту выносятся:

1. Обоснование совершенствования действующих норм к проектируемым путям эвакуации, с учетом категорий производственных помещений, на основе метода расчета пожарного риска и моделирования процесса эвакуации при пожаре;
2. Усовершенствование норм пожарной безопасности к проектируемым эвакуационным путям, с учетом категорий производственных помещений.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, содержит 7 рисунков, 2 таблицы, список использованной литературы (36 источников). Основной текст работы изложен на 72 страницах.

1 Анализ действующих требований пожарной безопасности к проектированию путей эвакуации с учетом параметров категорий производственных помещений

1.1 Обзор действующих законодательных требований пожарной безопасности к эвакуационным путям на стадии проектирования

Одним из основных средств снижения уровня воздействий опасных факторов пожара является своевременная и безопасная эвакуация при пожаре. Этот способ защиты от ОФП напрямую коррелирует с дефиницией пожарной безопасности, содержащейся в Федеральном законе от 21.12.1994 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности". Пожарная безопасность — это «состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров» [2].

Эвакуация в нормах представляется как «процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара» [3]. При проектировании путей эвакуации из производственных помещений главной задачей является создание возможностей, повышающих уровень безопасности при эвакуации людей.

Возникающая пожарная опасность вынуждает людей находящихся в производственном здании срочно покинуть помещения. Эвакуация осуществляется по путям эвакуации, которые должны быть спроектированы таким образом, чтобы максимально снизить влияние опасных факторов пожара на людей. Под путем эвакуации, современное законодательство, понимает пути продвижения и перемещения людских потоков, которые направлены из зоны пожара в зону безопасности. Путь эвакуации должен обеспечивать необходимый уровень безопасности для жизни людей при пожаре. Базовой нормой, которая определяет требования безопасной эвакуации, а также регламентирует параметры путей эвакуации, является

Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"[4]. В статье 89 указан исчерпывающий перечень требований пожарной безопасности к путям и выходам, в котором содержатся нормы, направленные на своевременное спасение людей путем своевременной эвакуации из здания, а также отдельно выделяется защита людей на пожаре от воздействия опасных факторов пожара.

Раньше похожие требования находились в разд. 6 "Обеспечение безопасности людей" СНиП 21-01-97* "Пожарная безопасность зданий и сооружений", однако в Федеральном законе №123-ФЗ получили свое развитие и актуализацию. В статье 89 находится дефиниция эвакуации «как процесса организованного самостоятельного движения людей наружу из помещений, в которых имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара. Эвакуацией также следует считать несамостоятельное перемещение людей, относящихся к маломобильным группам населения, осуществляемое обслуживающим персоналом» [5].

Эвакуация осуществляется по путям эвакуации через эвакуационные выходы. Данные определения и положения федерального закона напрямую коррелирует с положениями федерального законодательства, изложенного выше. Согласно п. 6.4 СНиП 21-01-97*на которую ссылается федеральный закон №123-ФЗ защита людей на путях эвакуации обеспечивается различными инженерными и конструктивными средствами и методами [6].

Наряду с приведенными положениями раздел 6 СНиП 21-01-97* содержит требование по защите людей на путях эвакуации за пределами зоны пожара и зоны опасности, с учетом функциональной пожарной опасности помещений, категорий помещений, наличием выходов и т.д. Классификация зданий, сооружений и пожарных отсеков по функциональной пожарной опасности осуществляется в соответствии со ст. 32 федерального закона №123-ФЗ, однако данный закон не определяет дефиницию функциональной пожарной опасности. В соответствии с разделом 4 СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах

защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» при определении функциональной пожарной опасности объекта защиты рекомендуется рассматривать прежде всего сущностное предназначение помещения и определение функционального контингента, при этом в законодательстве не учитываются сведения о пожарной нагрузке, обращаемой в помещениях и вообще на объекте защиты.

В статье 32 федерального закона №123-ФЗ при обоснованном обращении на необходимость учета функционального назначения помещения, который выходит на путь эвакуации, упущена необходимость учитывать категории помещений. Категория помещения напрямую зависит от обращаемой пожарной нагрузки в помещениях. В то же время нормы относящиеся к эвакуационным путям и эвакуационным выходам с учетом категорий помещений закрепляются в вышеприведенной статье закона. Так, например, в п. 6.9 отражено, что выходы являются эвакуационными, если ведут в прилегающие производственные помещения повышенных категорий, также если он выводит из производственных помещений, в которых не работают люди, и это помещение предназначается для технического обслуживания предыдущего производственного помещения. Эвакуационные выходы из производственных помещений, расположенных в цокольных этажах и подвалах с умеренной пожарной нагрузкой (категории В, Г, Д) возможно располагать в помещениях также с умеренной пожарной нагрузкой, при соблюдении определенных нормами условий.

1.2 Исследование правовых норм при проектировании эвакуационных путей с учетом категорий производственных помещений

Что касается норм по проектированию путей эвакуации с учетом категорий помещений по пожарной опасности, то в действующем законодательстве существует норма о допустимом уменьшении ширины

лестниц, ведущих к производственным помещениям, но кроме помещений категорий А и Б. В данной своде правил также регламентируются нормы, учитывающие категории и касающиеся лестничных клеток, которые являются частью путей эвакуации. Здания класса «Ф5» по функциональной пожарной опасности категории «В» с учетом высоты, а категорий «Г» и «Д» вне зависимости от высотных параметров должны быть оборудованы лестничными клетками типа «НЗ» при обеспечении достаточного уровня поступления воздуха. Важно отметить, что категории зданий напрямую зависят от процентного соотношения количества помещений тех или иных категорий объекта защиты.

Также законодателем акцентируется внимание, на нормирование направления открытий дверей выходов, предназначенных для эвакуации, для повышенных категорий. При проектировании путей эвакуации противопожарными нормами запрещено расположение производственных помещений с высокой пожарной нагрузкой и опасностью под любыми помещениями, в которых предусматривается в будущем пребывание более 50 человек. Следует заметить, что данная норма также предусматривает требование к подвальным и цокольным помещениям объекта защиты. Более обширные требования к путям эвакуации с учетом пожарных категорий содержатся в СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением № 1). Важно заметить, что данный свод правил также распространяется на стадию проектирования путей эвакуации (см. п. 1.4, п. 9.2.1 и т. д.).

Так, в соответствии с разделом 9 помещения категорий «А» и «Б» и категории «В» с определенным количеством работающих в смене людей для их эвакуации предусматривается не меньше двух безопасных выходов. Предусматриваются нормы, относящиеся к внутренней отделке, что влияет на возможность и время эвакуации при пожаре. Так, п. 9.1.4. предписывает изготовление половых структур производственных помещений повышенных

категорий, в которых обращаются ЛВЖ, строго из материалов, которые не имеют горючести или из материалов низкой группы горючести («Г1»).

Требование п. 9.1.7 предусматривает пути эвакуации из зоны опасности и зоны опасного воздействия факторов при производственных авариях, которые могут начаться при сработке различных средств по защите от взрывов. Такие нормы применяются для помещений категорий А и Б, а также для соответствующих наружных установок повышенных категорий. Последующий пункт, также указывает на невозможность рассмотрения выхода как эвакуационный при примыкании наружных установок определенных категорий к зданию, а также определяет нормы расстояний от выхода до оборудования наружных установок определенных категорий, влияющие на рассмотрение возможности эвакуации при пожаре или аварии.

В данном своде правил есть прямые указания, касающиеся проектирования путей эвакуации с учетом категорий помещений. Так, в п. 9.2.2 содержится указание на невозможность включения участков тамбур-шлюзов повышенных категорий (А и Б) для осуществления эвакуации из производственных помещений пониженных категорий (В, Г, Д). Однако ниже предусматривается возможность размещения эвакуационных путей через производственные помещения, однако обязательным условием является наличие эвакуационных выходов с нескольких сторон. Далее устанавливаются правовые требования к эвакуационным путям из помещений определенных категорий, которые располагаются на антресолях или встройках. В п. 9.2.5. регламентируется применение лестниц третьего типа, в зависимости от количества людей и категорий помещений.

Основным регламентирующим документом, в котором отображается влияние категорий помещений на проектирование путей эвакуации является СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями № 1, 2). Многие нормы перекочевали из данного нормативного правового акта в федеральное законодательство и более поздние своды правил (например, нормы раздела 6 и 7) [7].

Так эвакуационные выходы из подвальных помещений и цокольных помещений определенных категорий необходимо предусматривать в помещениях с низкой пожарной опасностью. Также, устанавливается требование наличия не менее двух эвакуационных выходов для помещений повышенных категорий здания класса Ф5 с определенной численностью работников, с учетом сменного типа работы и дежурств.

Для определенных категорий зданий и помещений в зданиях «Ф5», в частности, следует предусматривать лестничные клетки («Н2» и «Н3»). Примечательным является п. 6.23 по которому максимальная допустимая дистанция от дальней расчётной точки (для здания класса Ф5- самого удаленного рабочего расположения), измеряется по координатам пути эвакуации и ограничено с учетом класса пожарной опасности и категории помещения.

Большое внимание уделено в нормах проектированию лестничных клеток различных типов в зависимости от категорий помещений и зданий. Для производственных зданий категорий А и Б следует проектировать лестничные клетки определенных типов, причем следует учитывать параметры естественного освещения и достаточные уровни непрерывной циркуляции воздуха для дыхания людей, которые будут осуществлять эвакуацию при пожаре. Обеспечение непрерывного подпора воздуха для людей является базовым элементом безопасности при эвакуации.

Для зданий категорий «Г» и «Д» предусматривается подпор воздуха лестничных клеток, а также разделение противопожарной перегородкой через каждые 20 метров при соблюдении определенных проектных решений и конструктивных особенностей.

Что касается норм о путях эвакуации с учетом категорий, то в данной статье существует норма о допустимом уменьшении ширины ступеней лестниц, ведущих только помещениям, но кроме помещений класса «Ф5» категорий «А» и «Б». Данной статьей также регламентируются нормы о лестничных клетках, которые являются частью путей эвакуации, с учетом

категорий, к примеру, производственные здания определенной высоты и функционального назначения должны оборудоваться определённым типом лестничных клеток, с обязательным поддержанием необходимого уровня воздуха при чрезвычайной ситуации. Важно отметить, что категории зданий напрямую зависят от процентного соотношения количества помещений тех или иных категорий объекта защиты.

Также законодателем акцентируется внимание, на нормирование направление открытий дверей эвакуационных выходов для помещений категорий «А» и «Б». Нормами запрещается расположение производственных помещений повышенных категорий под помещениями, в которых будут находиться более 50 человек, такие же нормы устанавливаются в отношении помещений цокольного и подвального расположения.

Федеральный закон №123-ФЗ не определяет дефиницию функциональной пожарной опасности. В соответствии с разделом 4 СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» при классификации функциональной нагрузки здания следует исходить из его целевого назначения и функционального контингента, при этом в законодательстве не учитываются сведения о пожарной нагрузке обрабатываемой в помещениях и вообще на объекте защиты.

В статье 32 федерального закона №123-ФЗ при обоснованном обращении на необходимость учета функционального контингента связанного с путями эвакуации, упущена необходимость учитывать категории помещений, которая напрямую зависит от обрабатываемой пожарной нагрузки в помещениях.

Функциональная пожарная опасность при проектировании путей эвакуации, должна учитывать категории помещений. Учет данных норм позволит уменьшить времени эвакуации людей при пожаре, что положительно скажется на безопасности людей и имущества при пожарах.

Более обширные требования пожарной безопасности к путям эвакуации, с учетом категорий помещений содержатся в СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением № 1). Важно заметить, что данный свод правил распространяется и на стадию проектирования путей эвакуации (см. п.1.4, п. 9.2.1 и т. д.).

Так, в соответствии с 9 разделом помещения повышенных категорий с большим количеством людей (регламентируется нормами), которые работают посменно должны иметь не меньше, чем несколько эвакуационных выходов. Предусматриваются нормы, относящиеся к внутренней отделке, что влияет на возможность и время выхода людей из опасных зон. Так в некоторых пунктах раздела предписано исполнение полов повышенных категорий из материалов условно негорючих или с определенной группой горючести (Г 1).

Все изложенные выше требования являются фактором снижения времени для удаления людей в безопасные зоны и вероятностью понижения уровня воздействия ОФП на людей при пожаре. Так, в данном нормативном документе, предполагается проектирование помещений с поддержанием необходимого подпора воздуха по нормам, а также установку противопожарных преград, которые отделяют производственные помещения повышенных категорий от путей эвакуации. При невозможности устройства необходимых инженерных и технологических средств в противопожарных перегородках помещений категорий «А» и «Б» нормами устанавливается разработка комплекса мер по предотвращению распространения пожара и опасных факторов, причем эффективность данных мероприятий должна быть обоснована на экспертном уровне.

Также предусматриваются оборудование установками автоматического пожаротушения в проемах противопожарных преград, которые не могут быть закрыты противопожарными воротами и дверями для сообщения между смежными помещениями различных категорий (для помещений категорий «В», «Г», «Д»), при обеспечении противопожарных ограждающих конструкций. Обеспечение безопасности людей при пожаре достигается за

счет исполнения противопожарных требований. Исполнение противопожарных требований, а также создание условий и мер по профилактике пожаров должно начинаться со стадии проектирования объекта защиты [33, 34].

Зачастую, при проведении работ по определению категорий производственных и складских помещений по уровням пожарной опасности, разработчик сталкивается с проблемой непонимания важности проведения данных работ. Нередко у ответственных за пожарную безопасность на производственных объектах отсутствуют сформированные понятия о необходимости проведения расчетов по определению категорий, значении правильного расположения различных веществ и материалов в потенциально опасных помещениях. Также, затруднительным является понимание роли пожарной нагрузки в процессах горения и пожара.

Из практического опыта можно сказать, что ответственные за пожарную безопасность на объектах защиты часто воспринимают требования п.20 Правил противопожарного режима в Российской Федерации о необходимости наличия на дверях технических помещений обозначений категорий, как требования лишнего красного знака безопасности для пожарного инспектора [9]. Целью расчета категорий является правильный подбор и выполнение требований пожарной безопасности, относящихся к свойствам объекта. Согласно требованиям СП 5.13130-2009 выбор противопожарной защиты производственных и складских помещений напрямую коррелирует с установленной категорией пожарной опасности помещения.

Иными словами, определение категорий отвечает на насущные вопросы пожарной безопасности: надо ли оборудовать помещение системой пожарной сигнализации или нет, необходимо ли устанавливать в данном помещении систему пожаротушения, какой тип огнетушителей выбрать и т. д.

Для правильного определения категории помещения по установленной методике в соответствии с СП 12.13130.2009 учитывается характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении. В случае пожара горит то,

что находится в помещении и именно вещества и материалы выделяют тепловую энергию в соответствии со своими физико-химическими свойствами. Исходя из того, что именно горит можно точно спрогнозировать свойства пожара. К примеру, пожар в кладовой инструментов категории «В3» будет развиваться не так, как пожар в помещении архива бюро технической документации категории «В1», в котором необходима установка автоматического пожаротушения.

Противопожарные меры, предписанные нормами законодательства, рассчитаны на то, чтобы уменьшить временные показатели при эвакуации людей, а также ограничить воздействие ОФП, прежде всего на человеческое общество. Законодатель намерено вложил в некоторые нормы, в частности, диспозитивного характера, возможности для последующего развития нормирования пожарной безопасности, особенно при проектировании эвакуации путей. Допустим, пунктом 7.6 СНиП 21-01-97* предлагается размещать производственные и складские помещения категорий «А» и «Б» в непосредственной близости с наружными стенами, а в зданиях с большим количеством этажей на самых верхних этажах Эта диспозиция предполагает гипотетическое снижение времени эвакуации при пожаре, так как известно, что развитие пожара с нижних этажей вверх более трагично для эвакуации людей при пожаре, нежели развитие пожара с верхних этажей вниз (скорость распространения пожара отличается в несколько раз). В действующем законодательстве существует норма о допустимом уменьшении ширины лестниц, ведущих к производственным помещениям, но кроме помещений категорий А и Б. В данной своде правил также регламентируются нормы, учитывающие категории и касающиеся лестничных клеток, которые являются частью путей эвакуации. Здания класса «Ф5» по функциональной пожарной опасности категории «В» с учетом высоты, а категорий «Г» и «Д» вне зависимости от высотных параметров должны быть оборудованы лестничными клетками типа «Н3» при обеспечении достаточного уровня поступления воздуха. Важно отметить, что категории зданий напрямую

зависят от процентного соотношения количества помещений тех или иных категорий объекта защиты.

Вывод по главе 1

Таким образом, существует обширный корпус нормативных документов по пожарной безопасности на стадии проектирования, по которым предусматриваются инженерные и архитектурные мероприятия, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей до наступления предельно допустимого уровня пожарного риска и угрозы безопасности людей, вследствие воздействия ОФП. Однако ряд вопросов, в частности, касающихся влияния категорий помещений на проектируемые пути эвакуации в строительных нормативно-технических документах и нормативных правовых актах проработан недостаточно. Нормативное регулирование в рассматриваемой области является выражением законодательного требования нормализации до безопасных уровней времени эвакуации людей при пожарах.

В процессе проектирования, должна учитываться категория помещения по пожарной опасности. Учет действующих норм законодательства норм позволяет уменьшить время эвакуации людей при пожаре, что положительно скажется на безопасности людей и имущества при пожарах.

2 Категорирование помещений и расчет пожарных рисков как средство моделирования соблюдения требований пожарной безопасности

2.1 Категорирование помещений как инструмент повышения пожарной безопасности производственных помещений

Нормирование требований по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности, нацеленных на предупреждение возникновения пожара, обеспечение безопасной и своевременной эвакуации людей и как дополнительная мера – уменьшение или полное предотвращение ущерба материальным ценностям, основывается на всесторонней и возможной оценке пожаро- и взрывоопасности промышленных процессов в помещениях содержащих определенную пожарную нагрузку и в которых эти процессы осуществляются [10].

Одним из самых распространённых и эффективных методов такой оценки выступает классифицирование помещений и сооружений по категориям по пожарной опасности [30]. Категория помещения определяет требования пожарной безопасности по оборудованию автоматическими установками пожарной сигнализации (АУПС), автоматическим установкам пожаротушения (АУПТ), степень огнестойкости, площади пожарных отсеков и секций, выбор исполнения оборудования и т.д. [12] Прямым следствием правильного выбора категории является достаточный уровень обеспечения безопасности людей при пожаре, в том числе безопасности технологических и производственных процессов.

Впервые о подобном методе оценки задумался уже в конце девятнадцатого века отечественный ученый Алексей Александрович Пресс в своей новаторской книге «Общедоступное руководство для борьбы с огнем» [13]. Так в книге приводится ряд примеров о прямой зависимости между обращающихся в помещениях веществ и опасности пожара, описаны примеры

взрыва от муки в булочных и т. д. Однако, развитие данной тематики в области пожарной безопасности, тем более отображение её в нормативных правовых актах не осуществлялось вплоть до первой четверти двадцатого века.

В первой четверти XX века была осуществлена первая попытка разделения зданий для адекватного и рационального установления требований и норм пожарной опасности для помещений и сооружений. Комитетом строительства был принят первый правовой акт в данной области. Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий, который устанавливал разделение производства на пять категорий по пожарной опасности (литеры А -Д). Последующая разработка новых требований в области пожарной безопасности с учетом установленной категорий помещений по пожарной и взрывопожарной опасности было существенно расширено, установлены новые понятия, предписаны новые противопожарные мероприятия в зависимости от категорий и т. д.

Существенным моментом явилось установление регламента присвоения категория в прямой и непосредственной взаимосвязи от пожарной нагрузки, которая находится в производственных помещениях, в том числе в виде расчетов выделения теплоты при сгорании веществ. Указывался перечень технологических производств с присвоением пожарной категории от А до Д.

Следует отметить, что такое разделение на буквенные литеры используется до сих пор, в важнейшем документе СП 12.13130.2009. В принятом документе размещались рисунки, формулы для расчетов, а также схемы, которые не утратили своей актуальности до сих пор.

Далее были приняты новые нормативные определения, к примеру НСП 101-45 «Противопожарные нормы промышленных предприятий», в которых приводятся те же несколько буквенных обозначений категорий от А до Д, а также приводится детальная классификация опасности производственных и технологических процессов с присвоением категории. Впервые появляются

рекомендации по оборудованию производственных помещений установками пожаротушения, в зависимости от установленной категории, так как площадь пожаротушения зависит от выбора системы пожаротушения (спринклер или дренчер). Данной нормой также устанавливается зависимость количества людей и способ эвакуации от категории производственного помещения [14]. Далее принимались нормативные документы Н 102-54, принимались строительные нормы и правила, такие как СНиП II-М.2-62 и СНиП II-А.5-62. Во всех нормах, как и прежде, категории присваивались согласно таблице, установленной в первом нормативном документе и с той же аллитерацией.

Классифицирование зданий и пожарных отсеков осуществляется в соответствии с 32 статьей федерального закона №124-ФЗ. Данный закон не определяет дефиницию функциональной пожарной опасности. В соответствии с разделами свода правил об ограничении распространения пожара на объектах защиты при определении опасности объекта, следует руководствоваться методикой определения его целевого и функционального контингента, при этом в законодательстве не учитываются сведения о пожарной нагрузке, обращаемой в помещениях и вообще на объекте защиты.

При появлении нормативных правил для производственных зданий и промышленных предприятий, в части норм проектирования "Производственные здания промышленных предприятий категории по пожарной и взрывной опасности (А-Д) обозначались по требованиям производственного проектирования промышленных предприятий. Впервые использовалась литера «Е» для обозначения категории помещений, в которых обращается горючий газ [15]. Последующая редакция СН, 463-74 содержит попытку уточнить расчеты категории отталкиваясь от свойств и количественных значений пожарной нагрузки в помещении (п. 1.1.). После введения СНиП 2.09.02-85, категории зданий и помещений размещаются в разделах противопожарных мероприятий проектной документации на промышленное строительство, с учетом специальных перечней и различных внутриведомственных нормативов.

По пожарной опасности помещения и здания подразделяются на категории буквенных обозначений, которые существуют до сих пор. Категория «Е» перестала существовать. Также в пункте 2.2 было важное дополнение, существующее до сих пор, о том, что определение категорий осуществляется последовательной проверки принадлежности помещения в соответствии с таблицей 1.

Что касается норм о путях эвакуации с учетом категорий, то в данном акте существует норма о допустимом уменьшении ширины проступи лестниц, ведущих только помещениям, но кроме помещений класса Ф5 категорий А и Б. Также регламентируются нормы, касающиеся лестничных клеток, которые являются частью путей эвакуации, с учетом категорий, к примеру, производственные здания определённого функционального назначения категорий «В» в зависимости от показателей высотности здания, а зданий пониженных категорий вне зависимости от этих показателей должны быть оборудованы клетками лестничными нормативно определенных типов с постоянным безопасным уровнем воздуха при пожаре. Категории зданий напрямую зависят от процентного соотношения количества помещений тех или иных категорий объекта защиты [16].

Законодателем акцентируется внимание, на нормирование направление открытых дверей эвакуационных выходов для помещений категорий А и Б. Нормами запрещается размещать помещения повышенных категорий под помещениями, в которых будут пребывать 50 и более человек, данные нормы относятся также к подвальным и цокольным помещениям.

Более обширные требования пожарной безопасности к путям эвакуации, с учетом категорий помещений содержатся в СП 1.13130.2009. Важно заметить, что данный свод правил распространяется и на стадию проектирования путей эвакуации (см. п. 1.4, п. 9.2.1 и т. д.). Обеспечение безопасности людей при пожаре достигается за счет исполнения противопожарных требований. Исполнение противопожарных требований, а

также создание условий и мер по профилактике пожаров должно начинаться со стадии проектирования объекта защиты.

Существует достаточно объёмный корпус документов по пожарной безопасности на стадии проектирования, по которым предусматриваются инженерные, архитектурные, объёмные и системные решения, при которых обеспечивается достаточный уровень безопасности людей при эвакуации до наступления угроз и опасностей для жизни. Однако ряд вопросов, в частности, касающихся влияния категорий помещений на проектируемые пути эвакуации в строительных нормативно-технических документах и нормативных правовых актах проработан недостаточно.

Так, в соответствии с разделом 9 в помещениях категорий А и Б и категории «В» с определенным количеством работающих людей проектируются несколько эвакуационных выходов.

Предусматриваются нормы, относящиеся к внутренней отделке, что влияет на возможность и время эвакуации при пожаре. Так, п. 9.1.4. предписывает изготовление половых структур производственных помещений повышенных категорий, в которых обращаются ЛВЖ, строго из материалов, которые не имеют горючести или из материалов низкой группы горючести («Г1»).

Введение в действие норм НПБ 105-95 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по пожарной опасности, устанавливающего основной методический подход оценки и разделения производственных помещений по определённым категориям стало новым этапом в развитии противопожарных норм [17].

В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ была отдельно введена спецификация и разделение наружных установок, также определена классификация веществ по пожарной опасности (гл. 3 ст. 10). Утвержденную законодательно классификацию применяют для определения уровня пожарной безопасности на объектах защиты, с учетом свойств пожарной нагрузки в помещениях и технологических процессов.

Для определения пожароопасных свойств веществ и материалов чаще всего используют экспериментальных и расчетные методы [32]. Так, определенные в ходе экспериментов величины и значения приводятся в справочной литературе и перманентно актуализируются. Для актуализации справочных данных современными учеными разрабатываются новейшие инновационные методики, в частности, с использованием высоких вычислительных мощностей компьютерной техники и обучаемых нейронных сетей [19].

В настоящее время большинство проектирующих и экспертных организаций используют при расчете категорий методические основы регламентированные СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений зданий и наружных установок по пожарной опасности» [20], который во многом дублирует НПБ 105-95.

В соответствии с используемой методикой классификация помещений по пожарной опасности присваиваются категории (от А до Д), которые определяются последовательными математическими методами. в ходе анализа пожарной нагрузки. Целью классификации категорий производственных помещений является определение требований пожарной безопасности для предотвращения возможности возникновения пожара и обеспечения должного уровня противопожарной защиты людей и материальных ценностей.

2.2 Расчет пожарных рисков инструмент обоснования требований пожарной безопасности

Для обеспечения должного уровня пожарной безопасности при проектировании зданий и путей эвакуации в частности, необходимым и важным является осуществление расчета пожарных рисков [32], с учетом оценки рисков, связанных с пожаром ситуаций, а также иных неблагоприятных воздействий опасных факторов пожара, влияющих на людей и на имущество физических и юридических лиц.

Проектируемые пути эвакуации, которые играют наиболее существенную роль в системе обеспечения пожарной безопасности защищаемого объекта, в императивном порядке должны быть зависимы от комплекса мероприятий, которые направлены на достижение уровня допустимого пожарного риска, которые устанавливаются федеральным законодательством. Данные нормы направлены прежде всего на вероятное предотвращение и профилактику пожарной опасности и причинение непоправимого ущерба здоровью людей при пожарах. Вероятный и значительный риск наступления негативных последствий для жизни и здоровья людей в результате воздействия ОФП должен не превышать значения установленные нормативными правовыми актами (не должен превышать методические значения). Негативный риск от пожара для людей определяется специальной методикой, установленной на законодательном уровне, и просчитывается для каждого отдельного человека в наиболее небезопасной и удаленной точке нахождения на момент пожара. Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен быть принципиальным условием при выборе проектных решений для путей эвакуации.

Также существенным является, что в соответствии с «Техническим регламентом» «пожарный риск — это мера реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствия для человека и материальных ценностей» [23].

Иными словами, в случае соблюдения требований пожарной безопасности, которые предписаны действующим законодательством, определение расчётных величин пожарного риска является достаточной и вполне допустимой формой подтверждения безопасности объекта защиты и путей эвакуации.

При этом, важно отметить, что временные резервы для вероятной и безопасной эвакуации в рамках каждого этапа является ресурсом с ограниченными рамками. Обоснованно спроектированные безопасные пути

эвакуации людей существенно снижают расход времени для устранения из зоны пожарной опасности [35,36]. Данные затраты напрямую влияют на возможность предотвращения негативных последствий и приведение расчетной величины пожарного риска к нормативным показателям.

Противопожарные меры, предписанные нормами законодательства, рассчитаны на то, чтобы уменьшить временные показатели при эвакуации людей, а также ограничить воздействие ОФП, прежде всего на человеческое общество. Законодатель намерено вложил в некоторые нормы, в частности, диспозитивного характера, возможности для последующего развития нормирования пожарной безопасности, особенно при проектировании эвакуации путей.

Для расчетов значений пожарного риска на производственных объектах защиты используется «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404).

Достоинством данной Методики безусловно является детальный подход к каждому объекту защиты. Проектировщики и разработчики вероятных путей безопасной эвакуации из здания, следуя методическим рекомендациям, принимают обоснованные инженерные решения, которые разрабатываются индивидуально для каждого объекта, с учетом индивидуальной обстановки. Методика по расчету рисков не позволяет переписывать типовые проекты для любых производственных зданий и сооружений, что часто наблюдается в практическом проектировании.

Ключевыми показателями безопасной эвакуации человека при пожаре можно считать достаточность времени и отсутствие на путях препятствий. Данные факторы достаточно учитываются при проведении детальных расчетов пожарных рисков на стадии проектирования. Для этих целей используются различные модели людского потока, которые успешно

реализуются в различных программных комплексах, высчитывающих время эвакуации и находящих реализацию в исполнительных программных методах.

Целью проведения расчетов является обоснование обеспечения пожарной безопасности объекта защиты при наличии нарушений требований пожарной безопасности. Так, в соответствии с ч. 1 ст. 6 «Технического регламента» «пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий: в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом» [27].

Важным является то, что в соответствии с федеральным законодательством «пожарный риск определяется как мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствия для людей и материальных ценностей» [27]. Иными словами, в случае, когда нормативные требования не соблюдаются определение расчетных величин пожарного риска является допустимой и в ряде случаев достаточной формой оценки и подтверждения нужного уровня пожарной безопасности объекта защиты. В современной научной литературе одной из актуальных тем становится тема о чрезмерности требований пожарной безопасности, особенно касательно дорогостоящих и не всегда рационально используемых установок пожаротушения [25]. Недостаточность законодательных мер доказывается моделированием и расчетом пожарного риска.

Расчет пожарного риска заключается «в определении риска гибели человека в результате воздействия негативных и опасных факторов пожара, причем с учетом объёмно-планировочных данных и функционирования автоматических систем обнаружения и предотвращения пожара и с учетом статистической частоты вероятности возникновения пожаров в год для определенного функционального назначения помещений и объектов защиты, приведенных в методике» [20].

В последнее время в свете действия регуляторной гильотины нарастает тенденция к исследованию чрезмерности требований пожарной безопасности для объектов защиты [26]. Для того, чтобы не было сделано поспешных выводов о чрезмерности или недостаточности нормативных требований необходимо проводить тщательное исследование и обоснование норм. Для обоснования норм необходима разработка необходимого исследовательского инструментария, который помог бы объективно проанализировать существующие требования и нормы пожарной безопасности. Разработка обоснованных дополнений к требованиям пожарной безопасности к проектируемым эвакуационным путям, с учетом категорий производственных помещений, требует применения методики теоретического моделирования эвакуации при пожаре. Данная методика находит практическое применение при проектировании путей эвакуации, с целью обоснованных расчетов снижения опасности при пожарах. Достоинством данной методики безусловно является детальный подход к каждому объекту защиты. Проектировщики и разработчики вероятных путей безопасной эвакуации из здания, следуя методическим рекомендациям, принимают обоснованные инженерные решения, которые разрабатываются индивидуально для каждого объекта, с учетом индивидуальной обстановки. Методика по расчету рисков не позволяет переписывать типовые проекты для любых производственных зданий и сооружения, что часто наблюдается в практическом проектировании.

Важным элементом методики по расчету пожарных рисков является расчет времени эвакуации людей по путям эвакуации. Традиционно данные расчеты проводятся по методике, изложенной ГОСТ 12.1.004-91. Согласно этой методике, необходимо знать пожароопасные показатели веществ, как в некоторых случаях и при определении категорий помещений, хотя есть некоторые отличия, например, при расчете времени необходимы сведения об химической скорости выгорания, скоростей распространения пламени и т.д.

Важно отметить, что «в большинстве случаев расчетные группы и специалисты сталкиваются с проблемой отсутствия исходных данных в

нормативной, технической и справочной литературе. В таких случаях в качестве рекомендации предлагается использование параметров веществ, схожих по химической формуле и строению с исходным веществом» [27].

Также в отечественной науке разрабатываются новые методики, например с использованием нейронных дескрипторов, по прогнозированию проектных параметров. Обучение нейронных сетей и обработка больших объёмов данных позволяет расширить исследовательский инструментарий по категорированию помещений и расчету пожарных рисков.

Дальнейшее развитие новейших машинных способов позволит исследователю увеличивать количество рассчитываемых сценариев, делать расчет более точечным и точным, исследовать различные условия динамики пожара и эвакуации людей. Использование нейронных сетей позволит внести существенные изменения в методики расчета категорий и расчета пожарных рисков, что сделает их более точными и достоверными. Методика ГОСТ 12.1.004-91 в комплексе с методом прогнозирования, которые основаны на выделении молекулярных структурных элементов веществ и их обработке в интеллектуальных нейронных сетях. Данный метод успешно зарекомендовал себя и позволил рассчитывать время эвакуации людей с приемлемой точностью [28].

Установлено, что инструментарий по определению категорий помещений и расчету пожарного риска является достаточной исследовательской основой для осуществления выводов и обоснования норм пожарной безопасности, касательно проектирования путей эвакуации.

Важно отметить, что категории зданий напрямую зависят от процентного соотношения количества помещений тех или иных категорий объекта защиты.

Таким образом, правильный выбор категории помещения и как следствие правильный выбор противопожарных систем и корректного проектирования путей эвакуации является одной из самых эффективных и доступных мер по

предотвращению возникновения пожара и обеспечению защиты людей и имущества при пожаре.

Вывод по главе 2

Таким образом, регламентация требований по обеспечению пожарной безопасности зависит от категорий помещений, в которых осуществляются производственные и технологические процессы. Проектирование путей эвакуации, проходящих рядом и через производственные и технические помещения определенных категорий не допустимо без учёта категорий этих помещений, поскольку категория помещения выявляет пожарную опасность этих помещений, в том числе непосредственно при пожаре, когда эвакуация и осуществляется.

На производственных объектах существуют условия, при которых действующие нормы и требования пожарной безопасности к эвакуационным путям недостаточны для соблюдения необходимого уровня защищенности эвакуируемых людей при их практическом применении с учетом категорий производственных помещений по пожарной опасности. Разработка обоснованных дополнений к требованиям пожарной безопасности является актуальным исследовательским направлением.

3 Моделирование пожара, как метод обоснования требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации

3.1 Характеристика расчетной модели на примере объекта ООО «Талисман»

Смоделируем некоторые показательные сценарии пожаров для определенных помещений в свете отдельных норм по проектированию путей эвакуации, с учетом категорий, на примере помещений эксплуатируемых объектов ООО «Талисман».

При пожарно-техническом обследовании производственных объектов эксплуатируемых ООО «Талисман» обнаруживаются помещения, для которых существующие нормы и требования для путей эвакуации не обеспечивают достаточного уровня безопасности людей в случае пожара. Так, например, в СП 1.13130.2009 указываются нормы для помещений категорий А и Б, в частности п. 4.2.2. гласит о том, что не менее двух эвакуационных выходов должны иметь: помещения категорий А и Б с численностью, работающих в наиболее многочисленной смене более 5 чел., категории В - более 25 чел. или площадью более 1000 м.

Однако, данные нормы не удовлетворяют требованиям федерального законодательства об обеспечении необходимого уровня пожарного риска. Далее мы рассмотрим условные сценарии пожаров в производственных помещениях повышенных категорий (А и Б), в которых требования свода правил соблюдаются. В ситуации с детальным учетом особенностей объекта защиты при расчетном моделировании пожара выявляются расчетные значения, которые не отвечают действительной безопасности людей.

Основной задачей при определении сценариев пожаров моделировались наиболее пожароопасные ситуации для расчетов параметров, определяющих допустимый уровень безопасности людей при воздействии ОФП.

Основными условиями, которые осложняют пожароопасную ситуацию, принимаются:

- максимальная дистанция путей;
- максимальное количество работающих людей на производстве;
- совпадение направления распространения продуктов горения (дыма) с направлением эвакуации людей;
- уменьшение ширины путей эвакуации из-за открывания дверей в сторону коридора.

Смоделированные условия пожарной опасности производственной среды, параметров рабочих производственных процессов, выявления дрова ситуация пожарной опасности показывают, что в данном здании пожароопасные технологические процессы и пожароопасные ситуации отсутствуют.

Причинами возникновения пожара могут служить: занесенный источник огня, неосторожное обращение с огнем посторонних лиц (данные причины исключаются, территория объекта находится под охраной) и рабочего персонала, неисправность электрооборудования.

После учета условий возможных аварийных ситуаций предполагается, что вероятные причины возникновения пожара это – неисправность электрооборудования (осветительного и силового) и неосторожное обращение с огнем персонала. Данной группе пожароопасных ситуаций соответствует одинаковая модель возникновения и развития.

При модельном конструировании вышеуказанных сценариев появления и дальнейшего развития пожароопасных ситуаций выделяются поля ОФП:

- концентрирование токсических элементов продуктов горения;
- резкое понижение кислорода в помещениях с очагом пожара;
- появление дымовой завесы в производственном помещении;
- повышение абсолютной максимальной температуры на объекте.

В ходе последовательного рассмотрения вариантов пожароопасных ситуаций на объекте защиты, с учетом приведенных выше условий и факторов, предлагаются следующие сценарии пожаров.

Для моделирования сценариев необходимо провести краткий анализ пожарной опасности и описание объекта защиты ООО «Талисман», который будет использоваться при проведении расчетов.

Объект защиты представляет собой одноэтажное производственно-складское здание прямоугольной формы, высотой (определяется в соответствии с СП 1.13130.2009) не превышающей 10 м. Предназначено для хранения пожароопасных товаров на стеллажах (в том числе с высотой хранения более 5,5 м.) с возможностью устройства многоярусных каркасных сооружений (мезонинах) и разделенное противопожарными стенами на три пожарных отсека.

Здание объекта предусматривается II-й степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С0, категории «В» по пожарной опасности и класса функциональной пожарной опасности Ф5.1; Ф 5.2.

Общая площадь здания объекта в плане не превышает 15000 м². Строительный объем не превышает 135000 м³.

Площадь каждого пожарного отсека не превышает 6500 м², строительный объем не превышает 60000 м³.

В пожарных отсеках класса функциональной пожарной опасности (Ф5.2) предусматривается устройство двухэтажной административно-бытовой встройки (Ф4.3), выгороженной от части зданий противопожарными перегородками с соответствующим заполнением проемов.

Подъезд пожарных автомобилей к зданию объекта предусматривается со всех сторон по существующему проезду с твёрдым покрытием, шириной не менее 4,2 м, расположенному на расстоянии не более 10 м от наружных стен здания.

Эвакуация людей из складских и производственных помещений объекта осуществляется непосредственно наружу через имеющиеся эвакуационные выходы.

Эвакуация людей из помещений административно-бытовых встроек, осуществляется по лестничным клеткам типа Л1, с выходами на открытые пространства.

Основные технологические решения

- график работы – рабочий день с 8:00 до 19:00 - 11 часов 247 дней;
- количество людей – 354 чел.

Присутствие МГН на объекте защиты не предусматривается.

Объект защиты оснащен системами обнаружения пожара (системой пожарной сигнализации АПС), системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ 2-го типа).

Размещение горючей нагрузки в помещениях обусловлено функциональным назначением помещений и особенностями хранящихся товарно-материальных ценностей.

Основная пожарная нагрузка концентрируется в помещениях с наибольшим количеством пожарной нагрузки при максимальном количестве людей. При возникновении возгораний в данных помещениях создается условия для быстрого нарастания опасных факторов пожара, и характеризуются наибольшей вероятной угрозой для безопасности человека.

При проведении расчета принимаются следующие необходимые условия:

- на объекте защиты установлена система АПС, а также система СОУЭ 2-го типа;
- производственное здание оборудовано системой автоматического дымоудаления;
- эвакуационные выходы, с нарушениями в построении схем эвакуации не участвуют;

- отделка (материалы) путей эвакуации соответствуют требованию ФЗ-123, табл. 28 [29].

Для определения возможной вероятности возникновения пожароопасной ситуации в производственном здании ООО «Талисман» используется информация, полученная в ходе пожарно-технического обследования объекта:

- об отказе противопожарных средств и технологического оборудования, которые установлены на объекте;
- о технических характеристиках надежности используемых средств;
- о человеческих недочетах в действиях при рабочих процессах;
- о погодной обстановке в районе размещения производственного здания;
- об особенностях местности в районе размещения производственного объекта.

При определении частоты вероятной реализации опасных ситуаций на производственном объекте используются достоверные статистические показатели вероятной аварийности или данные полученные в ходе инженерных изысканий и показывающих надежность или ненадежность используемого производственного оборудования, в соответствии со специфическими особенностями объекта ООО «Талисман».

Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется частотой возникновения пожара на объекте в течение года.

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

- об отказах оборудования, используемого на объекте;
- о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- об ошибочных действиях работника объекта;
- о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- о географических особенностях местности в районе размещения объекта.

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций могут использоваться статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта.

Частота возникновения пожара принята (из расчета на один объект) в соответствии с табл. П 2.5 «Пособия по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов» (2016 г.) как для складов многономенклатурной продукции составляет $9 \cdot 10^{-5}$ в течение года [30].

Таким образом, подобная краткая характеристика объекта защиты может быть применена для любого рассматриваемого объекта.

3.2 Сценарное моделирование, обосновывающее требования пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации

Моделируемые сценарии возможных пожаров выбираются исходя из параметров наиболее опасных ситуаций, которые наиболее точно определяют условия своевременной и беспрепятственной эвакуации людей при пожарной ситуации. Основными условиями, которые существенно усложняют обстановку при пожаре принимаются: максимальная дистанция эвакуации, наибольшее возможное количество работающих людей в производственных помещениях, максимальное совпадение направления распространения ОФП с направлением эвакуации и т. д.

Проведенные анализы технологических процессов, определения показывают, что в данном здании пожароопасные технологические процессы и пожароопасные ситуации отсутствуют.

Причинами возникновения являются неосторожное обращение с огнем посторонних лиц (данные причины исключаются, территория объекта находится под охраной) и рабочего персонала, неисправность электрооборудования. Исходя из этого, наиболее вероятными причинами возникновения пожара являются: неисправность электрооборудования

(осветительного и силового) и неосторожное обращение с огнем персонала. Данной группе пожароопасных ситуаций соответствует одинаковая модель возникновения и развития.

При реализации вышеуказанных сценариев возникновения и развития пожара образуются следующие поля опасных факторов пожара: концентрация токсичных компонентов ОФП в производственном помещении; снижение концентрации кислорода в помещениях с нахождение персонала объект ООО «Талисман»; наполнение атмосферы помещения веществами, выделяющимися в результате горения; резкое повышение абсолютной максимальной температуры производственного помещения.

При анализе возможностей возникновения пожароопасных ситуаций на объекте, в ходе которого должны учитываться максимально возможные и худшие ОФП были выбраны следующие сценарные варианты развития пожароопасных ситуаций.

Моделируется пожар в помещениях категории А и Б (помещения размещения реагентов) с двумя эвакуационными выходами, а также пожар в тех же помещениях, но имеющих по три эвакуационных выхода. Сравниваются показатели, удовлетворяющие или не удовлетворяющие требования безопасности для людей, находящихся в данном помещении, на основании расчета пожарных рисков.

Для моделирования ситуации при пожаре сценария 1 и 2, необходимо произвести расчет категорий помещения хранения ЛВЖ и помещения хранения горючих пылей.

При моделировании пожарной и взрывопожарной опасности следует избирать наихудший вариант развития аварии, при котором в ситуации участвуют наибольшие концентрации опасных газов, газоздушных смесей и концентраций пыли, а также последствий сгорания этих веществ.

В выбранном производственном помещении осуществляется хранение ЛВЖ в бочках на металлических стеллажах, перемещение бочек осуществляется в специальных ручных тележках. Также в помещении

хранятся твердые горючие материалы и негорючие материалы, которые не окажут существенного влияния на распространение пожара и не будут учитываться в ходе расчета.

В соответствии с п. 4.3 СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по пожарной опасности» (с Изменением №1) возможным является использование официальных справочных материалов, содержащих данные свойств и материалов пожарной нагрузки. Данные по обращающейся пожарной нагрузке взяты из специализированной актуальной литературы [31].

Моделируемой аварийной ситуацией является разлив ЛВЖ при транспортировке веществ в ходе производственных процессов в помещении моделируемого пожара [22]. С целью оценки возможности образования зоны ВОК в производственном помещении сравнивается температура вспышки веществ с расчетной температурой. Свободный объем принимается 80 % геометрического объема помещения.

Расчетная температура принимается равной ($t_p = 38^\circ\text{C}$), что значительно выше температуры вспышки вещества. Над поверхностями разлива жидкости образуется ВОК.

Плотность паров Гептана расчетной температуры определяется по формуле:

$$\rho_r = \frac{M}{V_0(1+0,00367t_p)}, \quad (1)$$

где M - молярная масса, равная 97,2 кг/моль;

V_0 - мольный объем, равный 22.413 м³/кмоль;

t_p - расчетная температура воздуха, равная 41° С.

После подстановки имеющихся значений имеем: $\rho_r = 3,653 \text{ кг/ м}^3$

Расчет избыточного давления взрыва ΔP для ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ (СП 12.13130.2009). Расчет давления насыщенного пара осуществляется по формуле:

$$P_H = 10^{(A-B/(t+C_a))}, \quad (2)$$

После подстановки имеющихся значений имеем: $P_H = 29,075$ кПа

Расчет массы паров жидкости определяется по формуле:

$$m = W F_{и} T, \quad (3)$$

где W – интенсивность испарения, равная $0,00028756$ кг/(с·м²);

$F_{и}$ - площадь испарения, равная 18 м²;

T - продолжительность испарения жидкости, принимаемое не более 3600 сек.

После подстановки имеющихся значений имеем: $m = 0,514375710406682$ кг.

Расчет стехиометрической концентрации ГГ или паров ЛВЖ осуществляется по формуле:

$$C_{ст} = \frac{100}{1+4,84\beta}, \quad (4)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции, $\beta = 0,5$;

K_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. $K_H = 3$.

После подстановки имеющихся значений имеем: $C_{ст} = 1,97589409207666\%$

Расчет избыточного давления взрыва для индивидуальных веществ осуществляется по формуле:

$$\Delta P = \left(P_0 \frac{mZ}{V_{св} \rho_{г,п}} \frac{100}{C_{ст}} \frac{1}{K'_{max}} \right), \quad (5)$$

где P_{max} - максимальное давление взрыва стехиометрической смеси;

P_0 – начальное давление (допускается принимать 101 кПа);

m – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, равно 0,514375710406682 кг;

Z – коэффициент участия горючего во взрыве, принимается по табл. 2;

$V_{св}$ – свободный объем помещения, равный 945 м³;

$\rho_{г.п.}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре 3,653 кг/м³;

$C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ, равная 1,97589409207666%;

K_n – коэффициент допускающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (принимается равным 3).

После подстановки имеющихся значений имеем: $\Delta P = 6,457$ кПа.

Так как давление взрыва больше 5 кПа, то данное помещение относится к категории А.

Для моделирования сценариев 3 и 4, необходимо произвести категорирование помещения с обращающейся горючей пылью (1,5 Нафтилендиамин, С10Н10№2)

Расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, определяется по формуле:

$$m_{ав} = (m_{ап} + qT)K_{п} = 5 \text{ кг}. \quad (6)$$

где $m_{ап}$ – масса горючей пыли, выбрасываемой из аппарата (5кг);

q – производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения (0 кг/с);

T – время отключения трубопроводов (300 с);

$K_{\text{п}}$ – коэффициент пыления (1).

Масса пыли, оседающей на труднодоступных (m_1) и доступных (m_2) поверхностях в помещении за уборочный период, определяется по формуле:

$$\begin{aligned} m_1 &= M_1(1 - \alpha)\beta_1 = 25 \text{ кг}, \\ m_2 &= M_2(1 - \alpha)\beta_2 = 0 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (7)$$

где M_1 – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения;

M_2 – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между текущими пылеуборками;

α – доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами;

β_1 – доля выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях помещения;

β_2 – доля выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях помещения.

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяется по формуле:

$$m_{\text{п}} = K_{\text{г}} \left(\frac{m_1}{K_{\text{у1}}} + \frac{m_2}{K_{\text{у2}}} \right) = 27,778 \text{ кг}. \quad (8)$$

где $K_{\text{г}}$ – доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$K_{\text{у1}}$ – коэффициент эффективности пылеуборки для генеральных уборок;

$K_{\text{у2}}$ – коэффициент эффективности пылеуборки для текущих уборок.

Расчетная масса взвихрившейся пыли определяется по формуле:

$$m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} m_{\text{п}} = 25 \text{ кг.} \quad (9)$$

где, $K_{\text{вз}}$ – доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации.

Расчетная масса взвешенной в объеме помещения пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяется по формуле:

$$m = \min\{m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}; \rho_{\text{ст}} V_{\text{ав}}/Z\}. \quad (10)$$

где $\rho_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация горючей пыли 0,25 кг/м³;

$V_{\text{ав}}$ – расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения 30 м³;

Z – коэффициент участия взвешенной пыли в горении 0,5;

Коэффициент Z принят согласно п.А.3.1 СП 12.13130.2009:

$$Z = 0,5F = 0,5 \quad (11)$$

где F — массовая доля частиц пыли размером менее критического, $F = 1$.

Избыточное давление взрыва ΔP для веществ, не являющихся индивидуальным горючим веществом, состоящим из атомов С, Н, О, N₂, Cl, Br, I, F, определяется по формуле:

$$\Delta P = \frac{m H_{\text{T}} P_0 Z \cdot 10^6}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} c_p (T_0 + 273)} \cdot \frac{1}{K_{\text{H}}} = 6,28 \text{ кПа} \quad (12)$$

где m – масса горючего вещества 15 кг;

H_{T} – теплота сгорания 34 МДж/кг;

P_0 – начальное давление, 101 кПа;

Z – коэффициент участия горючих веществ в горении 0,5;

$V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, 3840 м³;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха при расчетной температуре, 1,055 кг/м³;

C_p – теплоемкость воздуха, $1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

T_0 – начальная температура воздуха, 61 °С;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

После подстановки имеющихся значений имеем: $\Delta P = 6,28$ кПа.

Объем взрывоопасной смеси не превышает 5% свободного объема помещения. Таким образом помещение относится к категории Б.

Сценарий 1. В производственном помещении (категория А) с двумя эвакуационными выходами первого этажа помещения хранения ЛВЖ на площади 378 м² происходит возгорание ЛВЖ (рисунок 1). Сценарий 2 аналогичен Сценарию 1 и предназначается для моделирования пожара с тремя эвакуационными путями из помещения категории А.

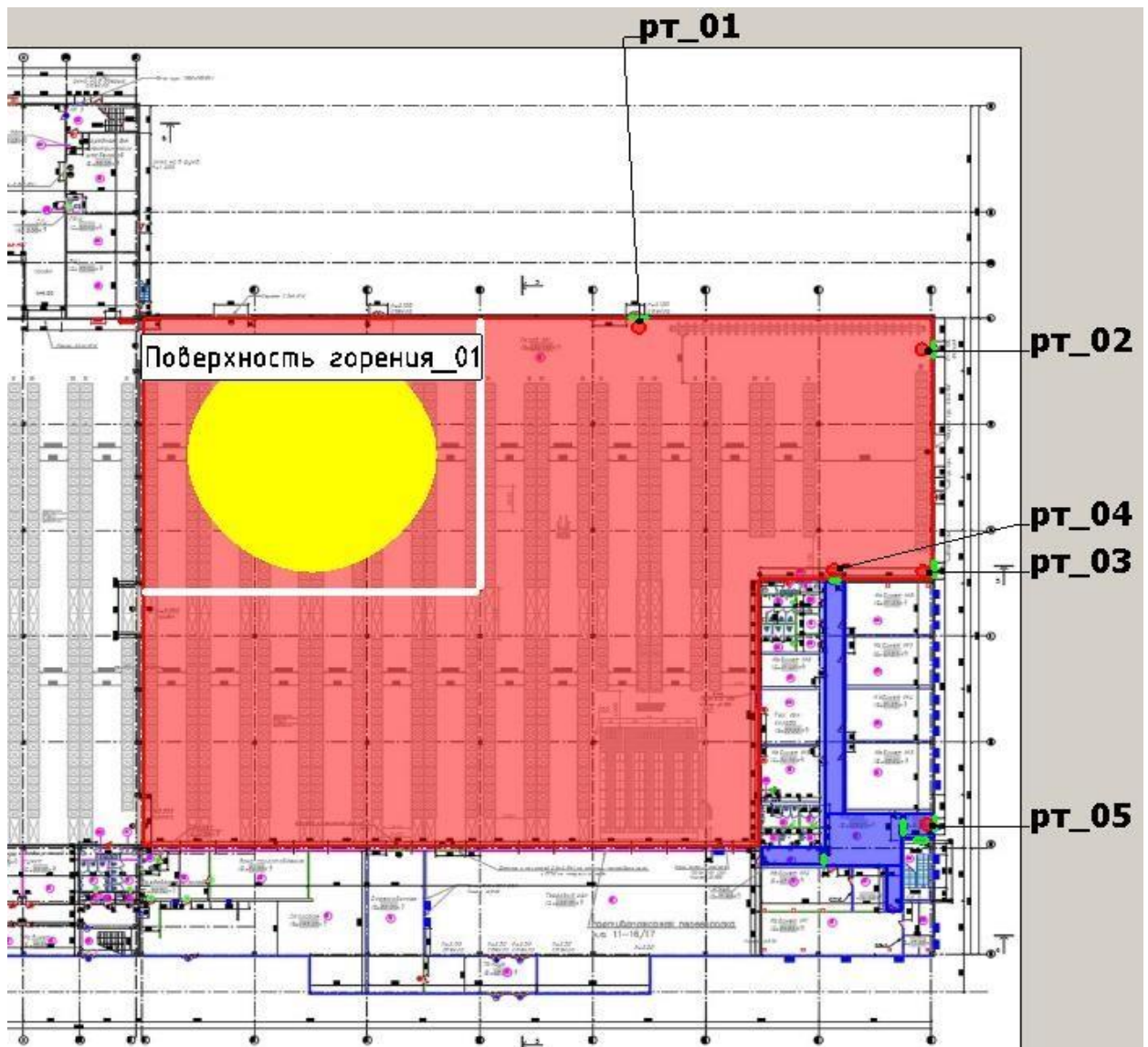


Рисунок 1 – Возгорание в помещении хранения ЛВЖ

Сценарий №3. В производственном помещении (категория Б) с двумя эвакуационными выходами первого этажа производственного помещения на площади 300 м² происходит возгорание горючей пыли (рисунок 2). Сценарий №4 аналогичен Сценарию №3 и предназначается для моделирования пожара с тремя эвакуационными путями из помещения категории Б.

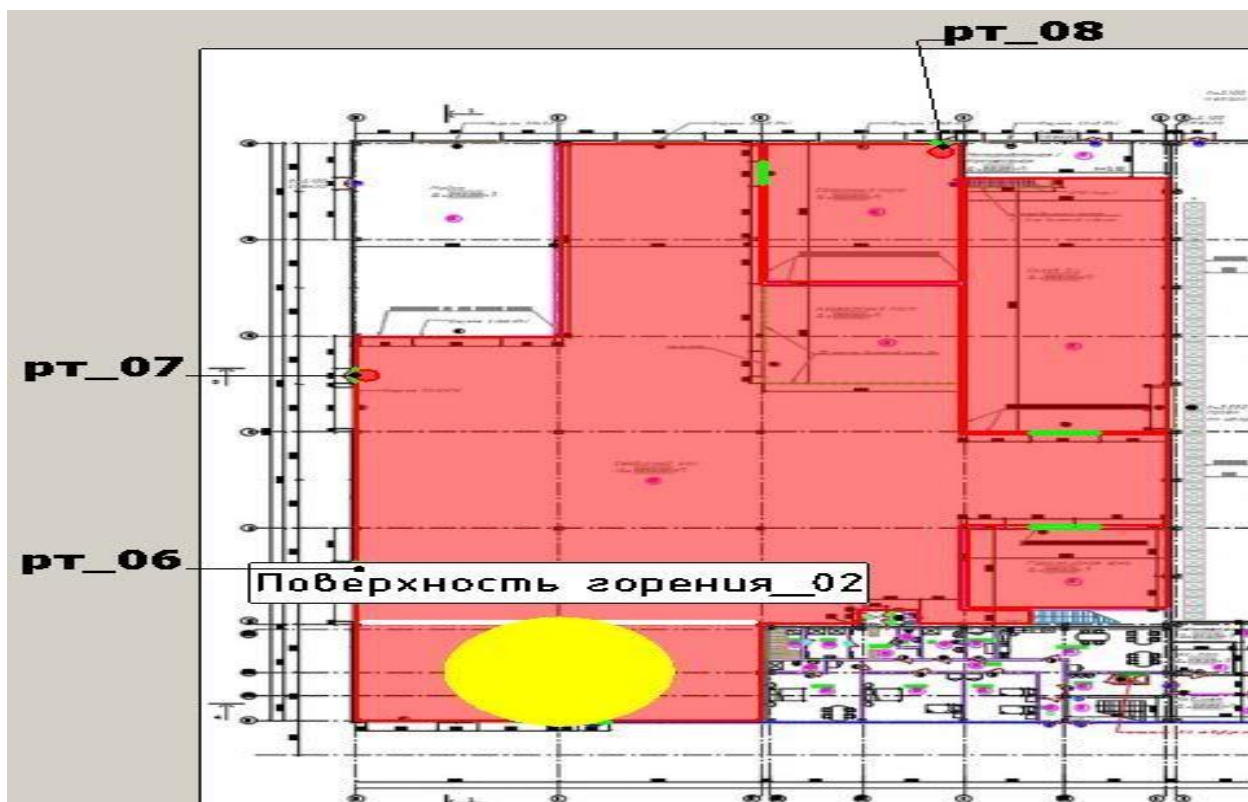


Рисунок 2 – Возгорание в производственном помещении с пылью

При возникновении возгорания происходит распространение опасных факторов пожара в потолочном слое помещения, в результате интенсификации горения за счет поступления кислорода воздуха в зону горения площадь пожара через открытые дверные проемы увеличивается. Распространение фронта пламени по развитой поверхности пожарной нагрузки приводит к увеличению объема выделяющихся продуктов горения и как следствие блокированию эвакуационных путей и выходов.

Для рассматриваемых пожароопасных ситуаций определяются расчетное время эвакуации и временные рамки от возникновения пожарной ситуации до полной блокировки необходимых для эвакуации путей, в связи с критичным распространением ОФП. После этого была произведена теоретическая оценка условий выполнения или не выполнения допустимой и безопасной эвакуации, которые указаны в статье 53 федерального закона №123-ФЗ [27].

Сценарное моделирование пожароопасной ситуации и расчет времени по блокировке необходимых путей эвакуации персонала из производственного помещения были осуществлены по приложению 6 «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». Детальный расчет был произведен средствами программного комплекса: «СИТИС: Блок+».

В соответствии с Приложением 5 к приказу МЧС России от 10.09.2009 г. №404 применяется зонный метод как для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения.

Результаты сценарного моделирования ОФП для Сценариев 1 и 2.

Развитие и динамику рассматриваемого варианта пожароопасной ситуации возможно определить следующими ключевыми моментами развития:

$t=40$ с. Токсичные продукты, выделяемые в ходе сгорания, стремятся к потолку помещения пожара и начинают распространение под потолком в разнонаправленной динамике.

$t=90$ с. Дым в некоторых участках помещения опускается ниже допустимой отметки 1.7 м. от уровней пола.

$t=366$ с. Ввиду критических показателей ограничения фактора видимости при снижении дыма с высокой концентрацией ниже допустимой отметки (1.7 м) блокируется эвакуационный выход РТ_3.

$t=547$ с. В большей части площади производственного помещения дым в предельных концентрациях достигает отметок ниже допустимых (1.7 м)

$t=666$ с. В ходе потери фактора видимости эвакуационные выходы РТ_2 и РТ_4.

t=1011 с. Все проектируемые эвакуационные выходы заблокированы в результате потери фактора видимости и превышению концентрации токсичных веществ от горения (НСI)

t=1012 с. Заблокирован эвакуационный выход РТ_4 по причине достижения критической абсолютной максимальной температуры.

t=1030 с. Все проектируемые и рассматриваемые эвакуационные выходы заблокированы по достижению критической максимальной температуры, несовместимой с жизнедеятельностью персонала.

В производственном помещении (категория А) первого этажа помещения хранения ЛВЖ на временной отметке t= 366 с был заблокирован эвакуационный выход (РТ_1) по фактору достижения предельного значения видимости.

Результаты расчета распространения ОФП для Сценариев 3 и 4.

Развитие и динамику рассматриваемого варианта пожароопасной ситуации возможно определить следующими ключевыми моментами развития:

t=45 с. Токсичные продукты, выделяемые в ходе сгорания, стремятся к потолку помещения пожара и начинают распространение под потолком в разнонаправленной динамике.

t=93 с. Дым в некоторых участках помещения опускается ниже допустимой отметки 1.7 м. от уровней пола.

t=287 с. Ввиду критических показателей ограничения фактора видимости при снижении дыма с высокой концентрацией ниже допустимой отметки (1.7 м) блокируется эвакуационный выход РТ_7.

t=647 с. В большей части площади производственного помещения дым в предельных концентрациях достигает отметок ниже допустимых (1.7 м)

t=866 с. В ходе потери фактора видимости эвакуационные выходы РТ_6 и РТ_4.

t=1211 с. Все проектируемые эвакуационные выходы заблокированы в результате потери фактора видимости и превышению концентрации токсичных веществ от горения (HCl)

t=1112 с. Заблокирован эвакуационный выход РТ_8 по причине достижения критической абсолютной максимальной температуры.

t=1223 с. Все проектируемые и рассматриваемые эвакуационные выходы заблокированы по достижению критической максимальной температуры, несовместимой с жизнедеятельностью персонала.

В производственном помещении (категория Б) первого этажа помещения хранения ЛВЖ на временной отметке t= 287 с блокируется эвакуационный выход (РТ_7) по признаку потери видимости

Для расчета времени эвакуации и времени скопления принята имитационно-стохастическая модель движения людского потока в соответствии с приложением 4 методики, утвержденной приказом МЧС России №382 от 30.06.2009., с учетом изменений, вносимых в методику приказом МЧС России № 749 от 12.12.2011, от 02.12.2015 № 632.

Имитационно-стохастическая модель реализуется программой «СИТИС: Флоутек ВД 2.70.13261», достоверность реализации модели подтверждена Сертификатом соответствия № РОСС RU.СП15. Н00345 и заключением Академии ГПС письмом № 1539-1-14 от 06.10.2009. Интерфейс программы позволяет анализировать и проверять исходные данные и результаты расчета. Программа является коммерческой и может быть приобретена и использована любым лицом.

Необходимое и расчетное время эвакуации при пожароопасной ситуации определяется по временным критериям покидания последнего человека из производственного здания. При расчете количество людей на складе принято по данным штатного расписания. Данные о количестве людей в здании приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Данные о количестве людей

Номер помещения по экспликации, наименование помещения	Количество людей
Всего по зданию	356 чел.

Сценарий 1. Эвакуация людей из помещений хранения ЛВЖ в эвакуационные выходы РТ_1, РТ_2. Максимальное время эвакуации людей из здания составило 4,94 минут.

Время эвакуации людей в Выход_01 - 4,94 мин (52 чел.). Время эвакуации людей в Выход_02 составляет 2,76 мин (25 чел.). Время эвакуации людей в Выход_03 составляет 0,20 мин (3 чел.). Время эвакуации людей в Выход_04 составляет 0,16 мин (8 чел.). Выход_05 - 0,63 мин (29 чел.), Выход_06 - 0,31 мин (11 чел.), Выход_07 - 0,64 мин (19 чел.), Выход_08 - 0,49 мин (40 чел.), Выход_09 - 1,13 мин (74 чел.). Расчетная схема эвакуации представлена на рисунках 3 и 4.

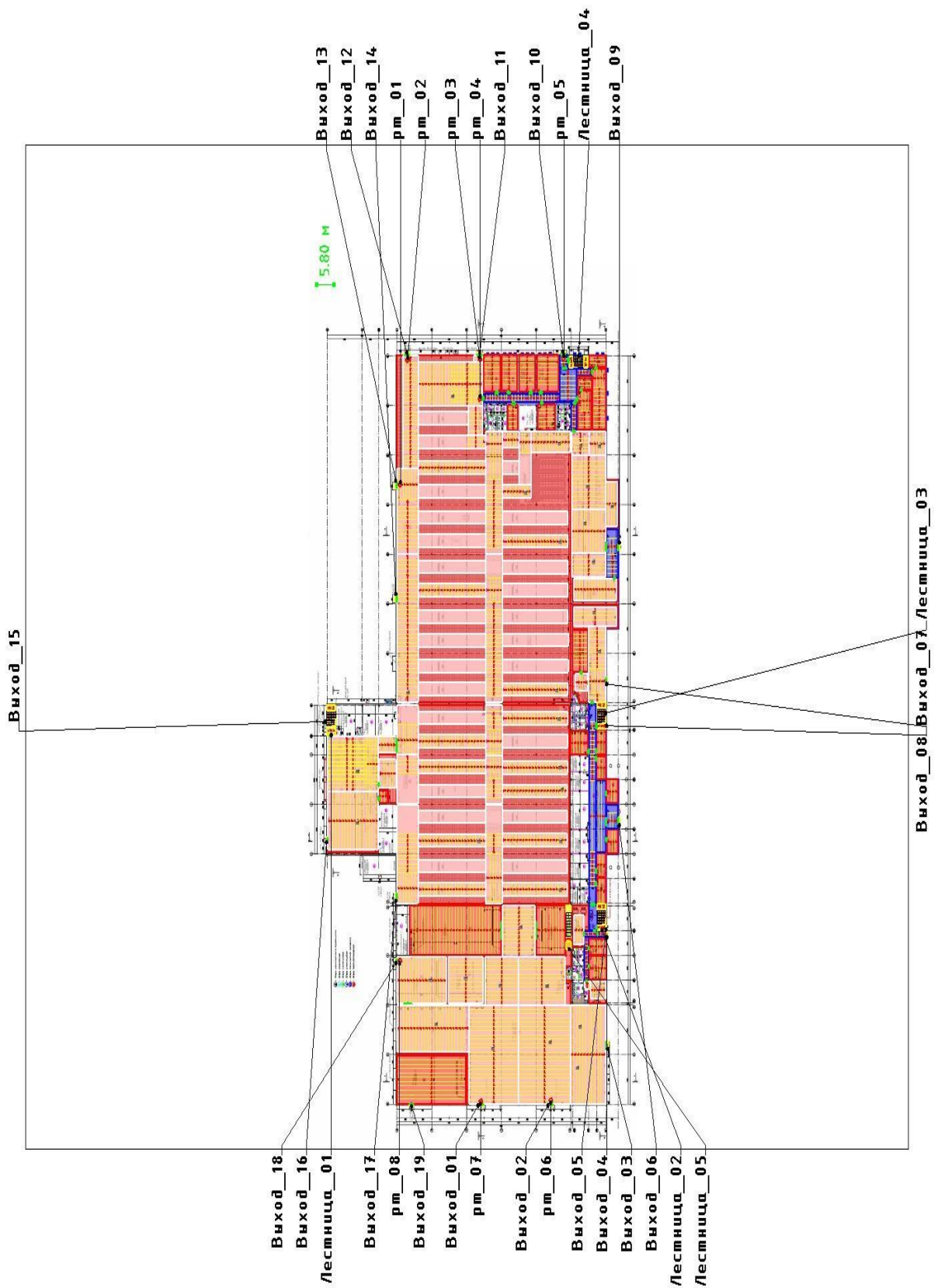


Рисунок 3 – Разбиение на участки эвакуации сценарий 1

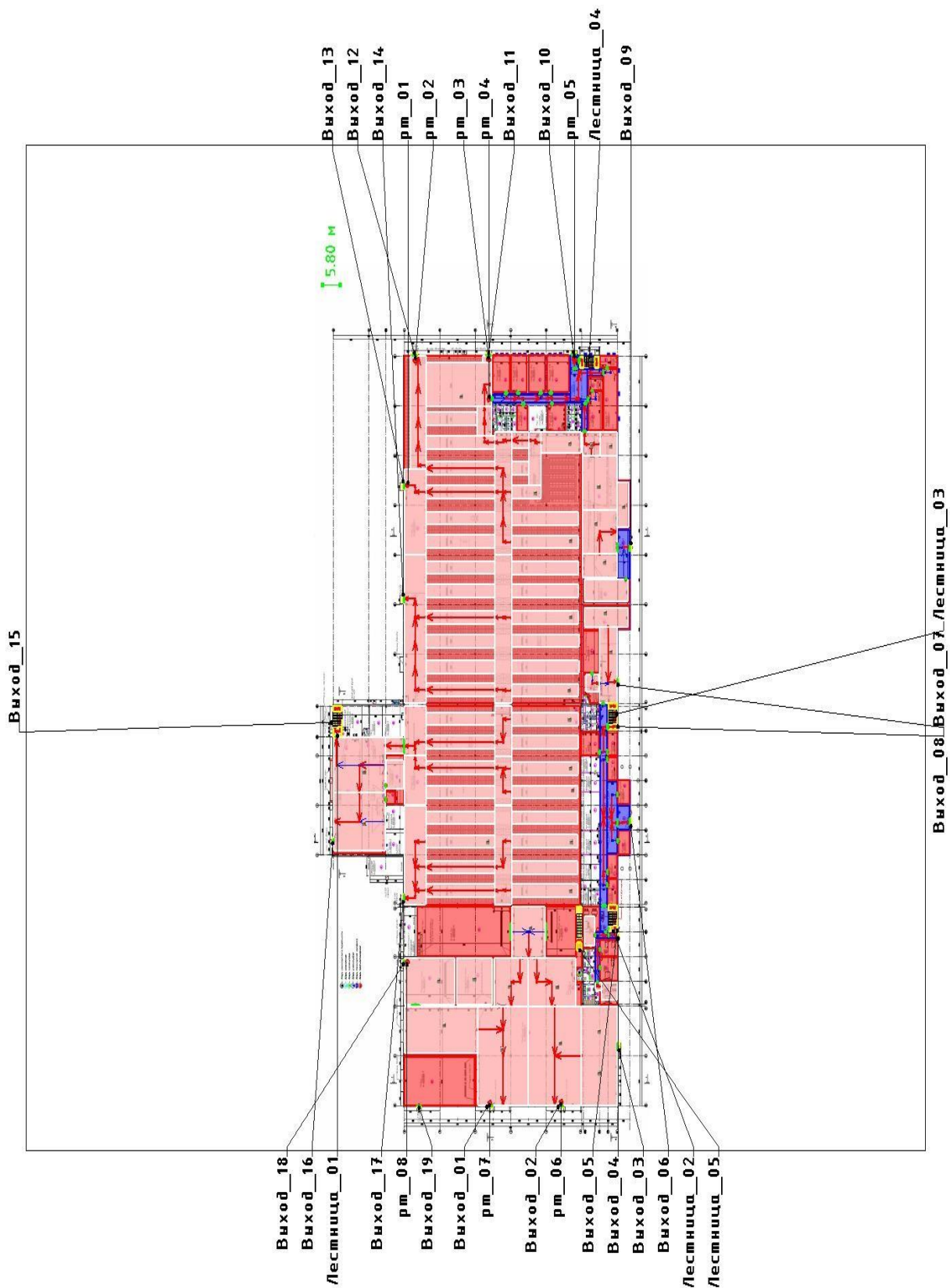


Рисунок 4 – Расчетная схема эвакуации сценарий 1

Сценарий 2. Моделирование происходит аналогично Сценарию 1, однако в обоснование выделенных норм пожарной безопасности и в целях проводимого исследования, нами предполагается наличие трех эвакуационных выходов, из помещения хранения ЛВЖ, в котором происходит пожар (что удовлетворяет требованиям СП 1.13130.2009). Динамика развития ОФП повторяет показатели Сценария 1. Рассчитаем время эвакуации людей при пожаре для Сценария 2.

Сценарий 2. Эвакуация людей из помещений хранения ЛВЖ в эвакуационные выходы РТ_1, РТ_2, РТ_3. Максимальное время эвакуации людей из здания составило 2,76 минут.

Время эвакуации людей в Выход_01 - 0,84 мин (19 чел.). Время эвакуации людей в Выход_02 составляет 2,76 мин (45 чел.). Время эвакуации людей в Выход_03 составляет 0,20 мин (13 чел.). Время эвакуации людей в Выход_04 составляет 0,32 мин (4 чел.). Выход_05 - 0,622 мин (13 чел.), Выход_06 - 0,323 мин (11 чел.) , Выход_07 - 0,714 мин (11 чел.) , Выход_08 - 0,39 мин (38 чел.), Выход_09 - 1,13 мин (74 чел.) , Выход_10 - 2,76 мин (125 чел.) , Выход_11 - 0,18 мин (1 чел.), Выход_12 - 1,02 мин (2 чел.), Выход_15 - 0,99 мин (25 чел.), Выход_16 - 1,11 мин (4 чел.), Выход_17 - 0,70 мин (3 чел.), Выход_18 - 0,23 мин (2 чел.), Выход_19 - 0,17 мин (1 чел.), Выход_13 - 1,11 мин (2 чел.)

Максимальные значения времени движения людского потока наблюдается при движении к выходу Выход_10 и составляет 0,85 мин. Расчетная схема эвакуации для сценария 2 представлена на рисунке 5.

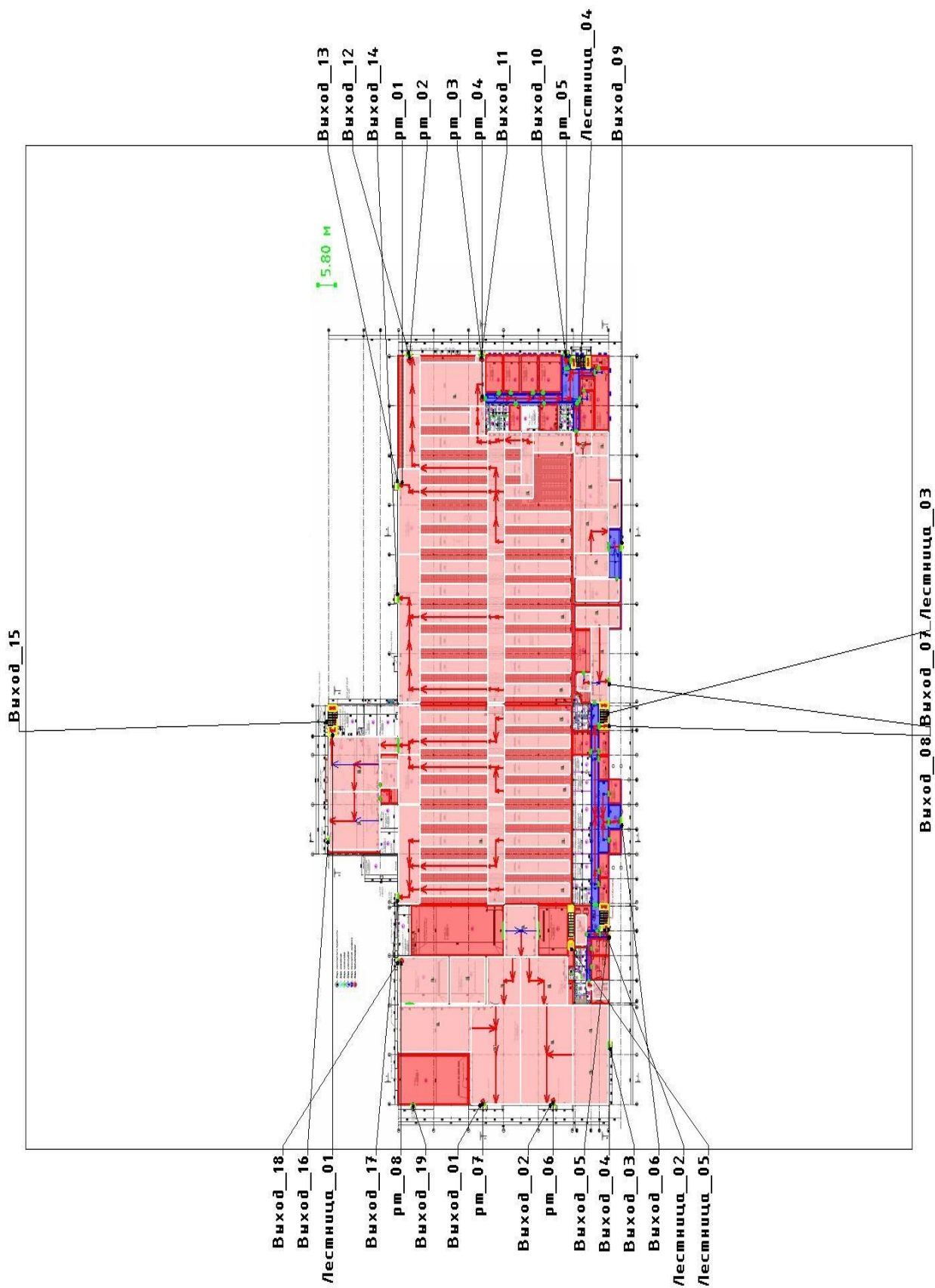


Рисунок 5 – Расчетная схема эвакуации для сценария 2

Сценарий 3. Эвакуация людей из помещений с горючей пылью в эвакуационные выходы РТ_06, РТ_07. Максимальное время эвакуации людей из здания составило 3,74 минут.

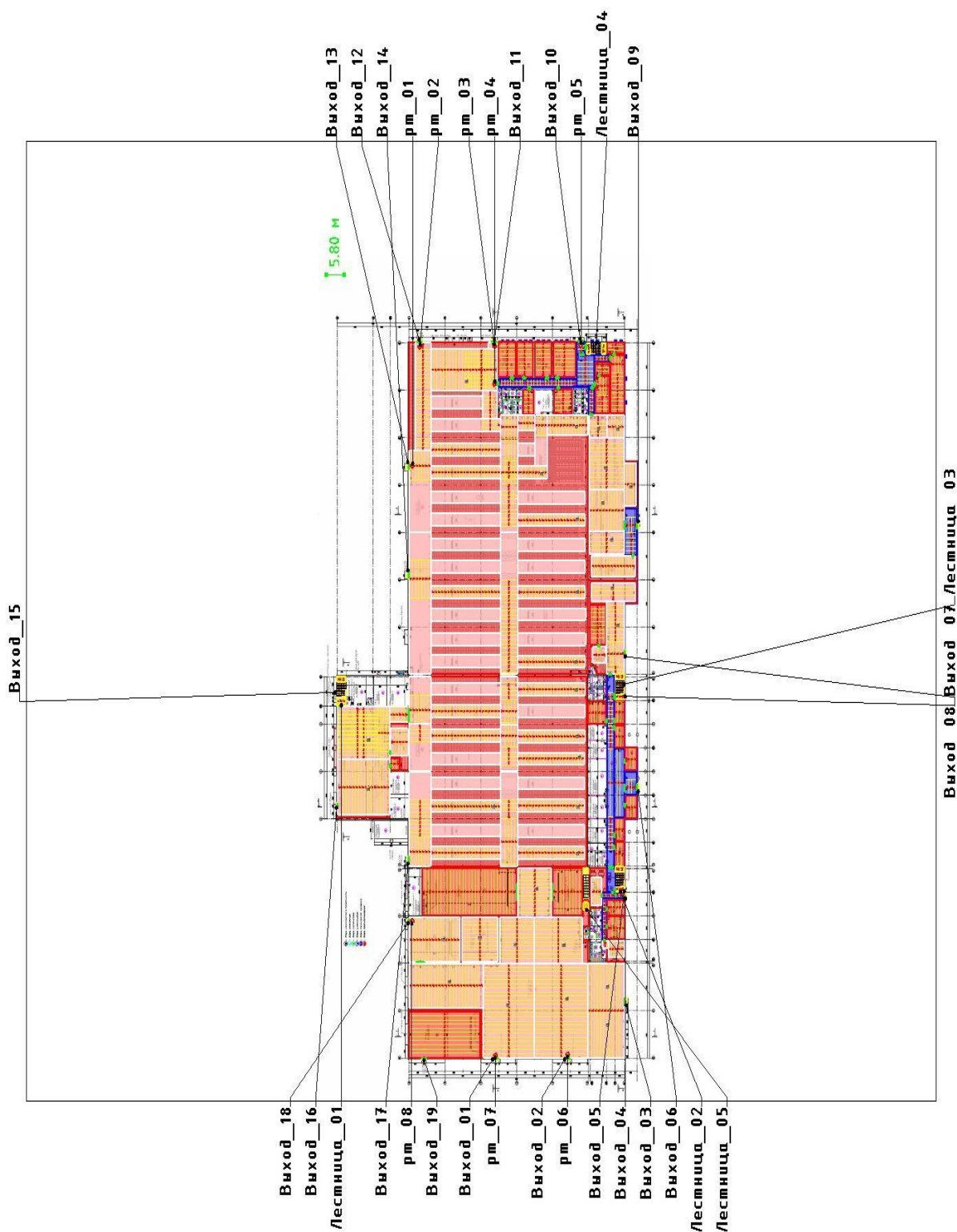


Рисунок 6 – Расчетная схема эвакуации для сценария 3

Время эвакуации людей в Выход_01 - 2,814 мин (31 чел.). Время эвакуации людей в Выход_02 составляет 0,63 мин (5 чел.). Время эвакуации людей в Выход_03 составляет 0,20 мин (3 чел.). Время эвакуации людей в Выход_04 составляет 0,32 мин (5 чел.). Выход_05 - 0,51 мин (12 чел.), Выход_06 - 3,714 мин (31 чел.), Выход_07 - 1,526 мин (17 чел.), Выход_09 - 1,12 мин (73 чел.).

Расчетная схема эвакуации представлена на рисунке 6.

Сценарий 4. Эвакуация людей из помещений с горючей пылью в эвакуационные выходы РТ_6, РТ_7, РТ_8. Максимальное время эвакуации людей из здания составило 2,84 минут.

Время эвакуации людей в Выход_01 - 1,84 мин (32 чел.). Время эвакуации людей в Выход_02 составляет 0,63 мин (5 чел.). Время эвакуации людей в Выход_03 составляет 0,20 мин (3 чел.). Время эвакуации людей в Выход_04 составляет 0,36 мин (7 чел.). Выход_05 - 0,61 мин (19 чел.), Выход_06 - 2,84 мин (20 чел.), Выход_04 составляет 0,32 мин (5 чел.). Выход_05 - 0,51 мин (12 чел.), Выход_06 - 3,714 мин (31 чел.), Выход_07 - 1,526 мин (17 чел.), Выход_09 - 1,12 мин (73 чел.).

Расчетная схема эвакуации представлена на рисунке 7.

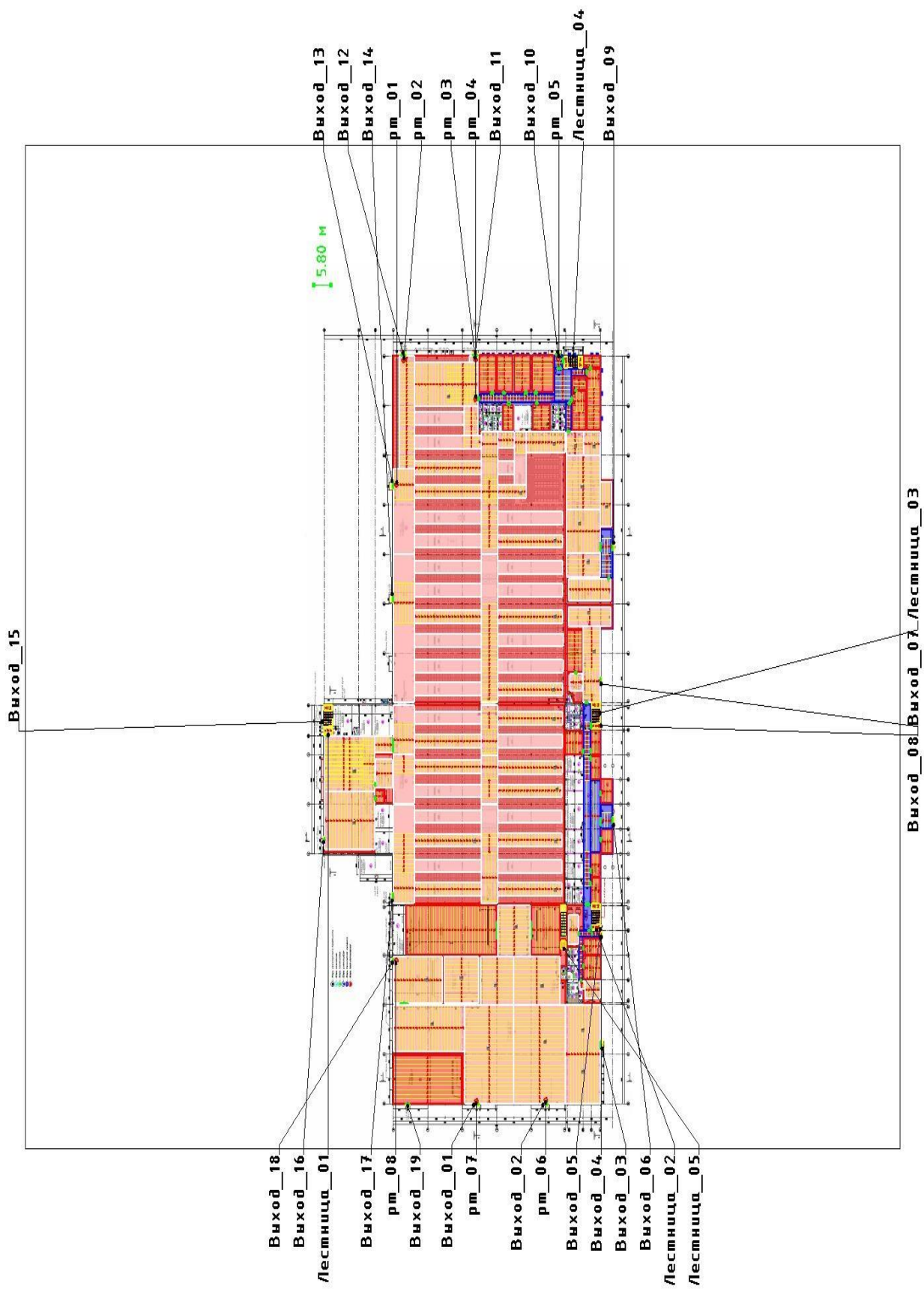


Рисунок 7 – Расчетная схема эвакуации для сценария 4

При срабатывании системы СОУЭ 2-го типа в рассматриваемом здании в соответствии с методиками значение времени для начала эвакуационного процесса принимается равным интервальному времени от начала срабатывания звуковой системы оповещения, с учетом ее инерции.

Инерционность акустических систем рассчитывается как сумма промежутков времени, также учитывается зависимость от количественных показателей системы СОУЭ, которые участвуют в процессе оповещения персонала производственного объекта ООО «Талисман».

Показатели времени начала процесса эвакуации рассчитываются по методической формуле:

$$T_{ин.соуэ} = t1 + t2 + t3 + t4 \quad (13)$$

где $t1$ – время прохождения сигнала о пожаре до СОУЭ;

$t2$ – время проверки достоверности сообщения о пожаре;

$t3$ – время сообщения о пожаре руководству объекта, в пожарную часть;

$t4$ – время на подготовку аппаратуры СОУЭ и первую трансляцию.

После подстановки имеющихся значений имеем: $T_{ин.соуэ} = 30$ секунд.

Значение $t1$ принято равным 5 сек. Значение $t2$, $t3$ принимаются как нулевые, так как проектными решениями предусмотрено автоматическое управление зонами оповещения и действия диспетчера не требуются при организации системы оповещения 2-го типа СОУЭ

Время на подготовку аппаратуры СОУЭ для автоматического управления принято равным 5 сек.

Время первой трансляции оповещения зависит от длительности периода передаваемого сигнала и принято равным 5 сек.

Количество прослушанных сообщений персоналом, прежде чем начнется эвакуация, принято равным четырем.

После того, как с датчика сигнал пришел на ППК, система СОУЭ срабатывает моментально. Т. е. значение времени эвакуации принято равным 0,5 мин.

В соответствии с пунктом 30 приложения №3 к Методики определяем время начало эвакуации при пожаре на производственном объекте. Для сценарий №1 $t_{нэ} = 0,5 \text{ мин} = 30 \text{ с.}$, для сценария №2 $t_{нэ} = 0,5 \text{ мин} = 30 \text{ с.}$, для сценария №3 и №4 также 30 с.

Вероятность эвакуации по проектируемым путя $P_{э.п.ij}$ рассчитывается по методической формуле:

$$P_{э.п.ij} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot \tau_{бл.ij} - t_{р.ij}}{\tau_{нэ}}, & \text{если } t_{р.ij} < 0,8 \cdot \tau_{бл.ij} < t_{р.ij} + \tau_{нэ.ij} \\ 0,999, & \text{если } t_{р.ij} + \tau_{нэ.ij} \leq 0,8 \cdot \tau_{бл.ij} \\ 0,001, & \text{если } t_{р.ij} \geq 0,8 \cdot \tau_{бл.ij} \end{cases}, \quad (14)$$

где $\tau_{бл.ij}$ - время от начала реализации j -го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей), мин;
 $t_{р.ij}$ - расчетное время эвакуации людей из i -го помещения при j -ом сценарии пожара, мин;
 $\tau_{нэ.ij}$ - интервал времени от начала реализации j -го сценария пожара до начала эвакуации людей из i -го помещения, мин.

После подстановки имеющихся значений имеем: вероятность эвакуации по эвакуационным путям для сценария 1 $P_{э.п.ij} = 0,001$, для сценария 2 $P_{э.п.ij} = 0,999$, для сценария 3 $P_{э.п.ij} = 0,001$, для сценария 4 $P_{э.п.ij} = 0,999$.

Вероятность выхода людей через эвакуационные пути в соответствии с п. 29 Приложения 3 Методики принимается $P_{д.в.ij} = 0,03$ при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии (для всех сценариев).

Возможность покидания опасной зоны людьми рассчитывается по формуле:

$$P_{Эij} = 1 - (1 - P_{Э.пij}) \cdot (1 - P_{Д.вij}) \quad (15)$$

где $P_{Эij}$ - вероятность эвакуации людей, находящихся в i -ом помещении здания, по эвакуационным путям j -го сценария пожара;

$P_{Д.вij}$ - вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -ом помещении, через аварийные или иные выходы.

После подстановки имеющихся значений имеем: вероятность эвакуации людей для сценария 1 $P_{Эij} = 0,03097$, для сценария 2 $P_{Эij} = 0,99903$, для сценария 3 $P_{Эij} = 0,001999$, для сценария 4 $P_{Эij} = 0,999001$

Вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности: при отсутствии данных по эффективности технических средств допускается принимать равными нулю в соответствии с п.35 приложения 3 Методики $D_{ij} = 0$.

Условная вероятность поражения человека Q_{dij} определяется по формуле:

$$Q_{dij} = (1 - P_{Эij}) \cdot (1 - D_{ij}) \quad (16)$$

где $P_{Эij}$ - вероятность эвакуации людей, находящихся в i -ом помещении здания, при реализации j -го сценария пожара;

D_{ij} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

После подстановки имеющихся значений: условная вероятность поражения человека для сценария 1 $Q_{dij} = 0,96903$, для сценария 2 $Q_{dij} = 0,001$, для сценария 3 $Q_{dij} = 0,998001$, для сценария 4 $Q_{dij} = 0,00099$.

Для удобства сопоставления данных, результаты определения расчетного и необходимого времени (с учетом коэффициента безопасности) эвакуации приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Расчетное и необходимое время эвакуации людей из помещений

Расчетная точка	Необходимое время эвакуации $t_{нб} = 0,8 \cdot t_{бл}$, мин	Расчетное Время эвакуации	Вывод о соответствии
Сценарий № 1			
рт_01	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$4,94+0,50=5,44$ мин.	не соответствует
рт_02	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$2,76+0,50=3,26$ мин.	соответствует
Сценарий № 2			
рт_01	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$2,84+0,50=3,34$ мин.	соответствует
рт_02	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$1,02+0,50=1,52$ мин.	соответствует
рт_03	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$0,18+0,50=0,68$ мин.	соответствует
Сценарий 3			
рт_06	$278 \cdot 0,8/60$ с = 3,70 мин.	$3,74+0,50=4,24$ мин.	не соответствует
рт_07	$278 \cdot 0,8/60$ с = 3,70 мин.	$1,56+0,50=2,06$ мин.	соответствует
Сценарий 4			
рт_06	$278 \cdot 0,8/60$ с = 3,70 мин.	$2,84+0,50=3,34$ мин.	соответствует
рт_07	$278 \cdot 0,8/60$ с = 3,70 мин.	$1,02+0,50=1,52$ мин.	соответствует
рт_08	$366 \cdot 0,8/60$ с = 4,88 мин.	$0,82+0,50=1,32$ мин.	соответствует

В соответствии с Методикой величина потенциального пожарного риска P_{ij} для сценариев рассчитывается по формуле:

$$P_{ij} = Q_j \cdot Q_{dij} \quad (17)$$

где Q_j – условная частота возникновения пожара;

Q_{dij} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

После подстановки имеющихся значений: величина потенциального пожарного риска для сценария 1 $P_{i1} = 8,7 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, для сценария 2 $P_{i2} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, для сценария 3 $P_{i1} = 8,98 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, для сценария 4 $P_{i2} = 8,91 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$

Вероятность рассчитывается с учетом временных интервалов нахождения персонала в рассчитываемой области территории предприятия или в производственном помещении в течение рабочего года на основе управленческих и проектных решений по организации производственных и технологических процессов защищаемого объекта.

В соответствии со штатным расписанием 247 рабочих дней в году по 8 часов. $q_{im} = \text{час/год} = 247 \cdot 8 / 365 \cdot 24 = 1976 / 8760 = 0,22$.

Индивидуальный пожарный риск производственных помещениях рассчитывается по методической формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i \cdot q_{im} \quad (18)$$

где P_i - величина потенциального риска в i -ом помещении здания, год^{-1} ;

q_{im} - вероятность присутствия работника m в i -ом помещении.

N - число помещений в здании, сооружении и строении.

После подстановки имеющихся значений: величина индивидуального пожарного риска для сценария 1 $R_{m1} = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, для сценария 2 $R_{m2} = 1,98 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, для сценария 3 $R_{m3} = 1,97 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, для сценария 4 $R_{m4} = 1,98 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$

Расчётная величина индивидуального пожарного риска для сценария 1 (производственное помещение категории А с двумя эвакуационными выходами) равна $1,9 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, что больше нормативного значения $1,0 \cdot 10^{-6}$ не соответствует требуемым значениям (безопасность людей не обеспечивается).

Расчётная величина индивидуального пожарного риска для сценария 2 (производственное помещение категории А с тремя эвакуационными выходами) равна $1,98 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, что меньше нормативного значения $1,0 \cdot 10^{-6}$ соответствует требуемым значениям (безопасность людей обеспечивается).

Расчётная величина индивидуального пожарного риска для сценария 3 (производственное помещение категории Б с двумя эвакуационными выходами) равна $1,97 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, что больше нормативного значения $1,0 \cdot 10^{-6}$ не соответствует требуемым значениям (безопасность людей не обеспечивается).

Расчётная величина индивидуального пожарного риска для сценария 4 (производственное помещение категории Б с тремя эвакуационными выходами) равна $1,98 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, что меньше нормативного значения $1,0 \cdot 10^{-6}$ соответствует требуемым значениям (безопасность людей обеспечивается).

Величина потенциального и индивидуального пожарного риска в селитебной зоне и на территории объекта для всех сценариев равна нулю, поскольку возможные пожароопасные ситуации на территории объекта отсутствуют, а пожароопасные ситуации на самом объекте не могут привести к гибели 10 и более людей, находящихся в селитебной зоне.

Аналогичным образом рассчитываются подобные сценарные ситуации, которые обосновывают нормы проектирования к путям эвакуации, с учетом категорий. В определенных случаях нормы являются не обоснованными, так как уровень безопасности жизни и здоровья людей не соблюдается в должной нормативной мере и превышает допустимый законом уровень допустимого

пожарного риска. При выполнении моделирования сценариев пожаров следует применять нормативные методики расчета пожарного риска и расчета категорий по пожарной опасности.

Вывод по главе 3

В данном разделе было выполнено моделирование сценариев пожаров для определенных помещений, для которых существующие нормы и требования для путей эвакуации не обеспечивают достаточного уровня безопасности людей в случае пожара.

Таким образом, требования пожарной безопасности для проектирования путей эвакуации, о наличии минимум двух эвакуационных выходов для помещений рассматриваемых категорий А и Б и с определенной численностью, работающего при показанных нами сценариях, может допускать несоблюдение достаточного уровня безопасности людей при пожаре. Данное требование, по мнению законодателя, достаточно для безопасной эвакуации людей, однако при исследованных нами условиях данные нормы не удовлетворяют требованиям федерального законодательства об обеспечении необходимого уровня пожарного риска, что прямым образом повлияет на безопасность людей при эвакуации в случае реального пожара.

Исходя из расчетов, предлагается ужесточить требование к количеству эвакуационных выходов при проектировании путей эвакуации (не менее трех эвакуационных выходов должны иметь производственные помещения категорий А и Б с 5 и более работающими людьми). Усовершенствование данной нормы позволит уменьшить время эвакуации людей при пожаре, что положительно скажется на безопасности людей, работающих на производственных объектах.

Заключение

Действующие нормы и требования пожарной безопасности к проектируемым эвакуационным путям, с учетом категорий производственных помещений, при практическом применении недостаточны для соблюдения достаточного уровня защищенности эвакуируемых людей, так на примере производственных объектов ООО «Талисман» расчетными методами показано, что при соблюдении действующих норм уровень пожарного риска превышает допустимые значения. Так, например, в СП 1.13130.2009 указывается нормативное количество эвакуационных выходов для производственных помещений категорий А и Б, которое по мнению законодателя, достаточно для безопасной эвакуации людей, однако при исследованных нами условиях данные нормы не удовлетворяют требованиям федерального законодательства об обеспечении необходимого уровня пожарного риска, что прямым образом повлияет на безопасность людей при эвакуации в случае реального пожара.

В нашей работе мы подробно рассмотрели условные сценарии пожаров в производственных помещениях повышенных категорий (А или Б), в которых требования свода правил соблюдаются, однако, при расчетном моделировании пожара они оказываются недостаточными. На основании выводов, сделанных из расчетов пожарного риска, предложено усовершенствовать действующие нормы и увеличить количество обязательных эвакуационных выходов для производственных помещений категорий А и Б. Совершенствование данных норм позволит уменьшить время эвакуации людей при пожаре, что напрямую окажет влияние на сохранение жизней людей и имущества при пожарах в производственных зданиях.

Таким образом, усовершенствование требований и норм пожарной безопасности к проектируемым путям с учетом категорий помещений требует применения методики теоретического моделирования эвакуации при пожаре.

Список используемых источников

1. Широков, Ю.А. Пожарная безопасность на предприятии: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. А. Широков. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 364 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/119625> (Дата обращения: 11.03.2020).
2. Адамян, В.Л. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учебное пособие [Электронный ресурс] / В.Л. Адамян. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 176 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/107279> (Дата обращения: 10.02.2020).
3. Белов С. Е. Расчет категорий помещений по пожарной опасности как инструмент повышения пожарной опасности // Охрана труда и пожарная безопасность в учреждениях здравоохранения. 2020. №5. С. 56-58.
4. Белов С. Е. Расчет категорий помещений по пожарной опасности как инструмент повышения пожарной опасности // Охрана труда и пожарная безопасность в образовательных учреждениях. 2020. №5. С. 71-73.
5. Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ, курсовых работ магистров и отчетов по практикам: методические указания [Электронный ресурс] / М. Б. Быкова, Ж. А. Гореева, Н. С. Козлова, Д. А. Подгорный. — Москва: Издательский Дом МИСиС, 2017. — 76 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/72577.html>. (Дата обращения: 12.03.2020).
6. Даниленко, О.В. Теоретико-методологические аспекты подготовки и защиты научно-исследовательской работы: учебно-методическое пособие / О. В. Даниленко, И. Н. Корнева, Тихонова Я. Г. Москва: ФЛИНТА, 2016. - 182 с.
7. Дмитриченко А. С. Новый подход к расчету вынужденной эвакуации людей при пожарах / А. С. Дмитриченко, С. А. Соболевский, С. А. Татарников// Пожаровзрывобезопасность, №6. – 2002.

8. Земский Г.Т. "Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов. Справочник" М.: ВНИИПО, 2016 г.;
9. Качалова, А.М. Расчет пожарного риска с целью управления процессом эвакуации/ А. М. Качалова, А.С. Реснянская, Р.К. Суюндуков // Научный потенциал регионов на службу модернизации. - 2012. - № 2(3). - С. 64-69. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/290788> (Дата обращения: 02.03.2020).
10. Королев, Д.С. Определение времени эвакуации людей с применением метода прогнозирования, основанного на использовании дескрипторов и искусственных нейронных сетей / Д. С. Королев, А.В. Калач, Д.В. Каргашилов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. - 2016. - № 2. - С. 72-81. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/298804> (Дата обращения: 02.03.2020).
11. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.
12. Ландышев, Н. В. Актуальные проблемы строительства: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей / под общей редакцией Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой. - Волгоград: 2019.
13. Монахов В. Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и Жидкости. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. — 248 С.
14. Научная деятельность студентов: системный анализ: монография / В.В. Байлук. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 145 с. - (Научная мысль). - URL: www.dx.doi.org/10.12737/monography_5a66e4bb1b0ef9.56606696. (Дата обращения: 02.03.2020).
15. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. / Под ред. А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко. — М.: Химия 1990.

16. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. Издание второе переработанное и дополненное. А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Ассоциация «Пожнаука» 2004.

17. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах / А. Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. — М.: Химия, 1990.

18. Пособие "Определение категорий помещений и зданий по пожарной опасности" при рассмотрении проектно-сметной документации /Шебеко Ю.Н. и др. - М.: ВНИИПО, 1998. - 119 с.;

19. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2016.

20. Пособие по применению НПБ105-95. Определение категорий помещений и зданий по пожарной опасности при рассмотрении проектно-сметной документации. — М.: ВНИИПО МВД РФ, 1998. — 111 С.

21. Пособие по применению СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по пожарной опасности» / И. М. Смолин, Н. Л. Полетаев, Д. М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко, Е. В. Смирнов. М.: ВНИИПО, 2014. — 147 с.

22. Оценка пожарного риска на производственных объектах: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. И. Иванов, В. А. Зубарева, Д. А. Беспёрстов, Н. А. Пашкевич. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. — 230 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61273.html> (дата обращения: 14.02.2020).

23. Рашоян, И. И. Расчетные методы оценки пожарного риска: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / И. И. Рашоян. — Тольятти: ТГУ, 2017. — 225 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/140055> (дата обращения: 13.04.2020).

24. Светушенко С.Г. История развития и перспективы категорирования зданий по пожарной опасности // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" Выпуск № 2 (60), 2015 г.

25. Серeda Т.Г. Инженерная безопасность при проектировании зданий и сооружений: учебно-методическое пособие / Т. Г. Серeda, С. Н. Костарев; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова". - Пермь: Прокрость, 2019.

26. Терebнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. – М.: Пожкнига, 2004.;

27. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 28.07.2008 № 123 (посл. редакция). URL: <http://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-22.07.2008-№-123-FZ>. (Дата обращения: 02.03.2020).

28. Федоров, Виктор Сергеевич. Противопожарная защита зданий. Конструктивные и планировочные решения/ В. С. Федоров, В. И. Колчунов, В. Е. Левитский. - Москва: АСВ, 2013.

29. Химия. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. И.Л. Кнунянц. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 792 с.

30. Cox G. Combustion Fundamentals of Fire. - London: Academic Press, 1995. – 476 p.

31. Hossain M.S., Rodi W. A Turbulence Model for Buoyant Flows and Its Application for Vertical Buoyant Jets // “Turbulent Buoyant Jets and Plums” (Rodi W. ed.), HMT Series: Oxford, England. – 1982. - V.6. – pp.121-172.

32. ISO_TR 16738:2009. Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en>.

33. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical Computation of Turbulent Flow // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. - 1974. - №3. - pp.269-289.

34. Pauls, J., Movement of people // The SFPE, Handbook of Fire Protection Engineering / Dinunno P.J., Beyer C.L., Custer R.L.P., Walton W.D.,

Watts J.M.W., Drysdale D., Hall J.R. (eds.). – 2 nd ed. – Quincy, MA: national Fire Protection Association, 1996. – P. 3-263–3-285.

35. Spearpoint, M.J. The effect of pre-movement on evacuation times in a simulation model // *Journal of Fire Protection Engineering*, 2003, vol. 14, no. 1, pp. 33–53.

36. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., Mc Crath D. Evacuation models are running out time // *Fire Safety Journal*, 78 (2015), pp. 251–261.