ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ В ОБЪЕКТАХ ТОРГОВОГО И СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ УСЛОВНОГО ПОЖАРА

САВЕЛЬЕВ Анатолий Петрович, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

ЕНАЛЕЕВА Светлана Анатольевна, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

ШКРАБАК Владимир Степанович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

ШКРАБАК Роман Владимирович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

ЧУГУНОВ Михаил Николаевич, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

ЕНИКЕВ Виль Гумерович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Статья посвящена исследованию пожарной безопасности на основе расчета пожарных рисков типового объекта торгово-культурного назначения при возникновении условного пожара. Обоснованы условия безопасной эвакуации людей при возникновении пожара в зонах объекта, характеризующихся значительным скоплением людей. Для расчета динамики опасных факторов пожара (ОФП) в обоих случаях применялась дифференциальная (полевая) модель пожара. Формирование трехмерного расчетного домена осуществлено в программе Pyrosim. Приведены расчеты динамики опасных факторов пожара, измерения которых проводились в семи условно принятых точках сравнения (местах размещения датчиков-измерителей ОФП). Расчетное время эвакуации людей в общем случае определено на основе моделирования движения людей до выхода наружу. Выбор способа определения расчетного времени эвакуации произведен с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контингента. В качестве модели для расчета времени эвакуации применялась индивидуально-поточная модель движения людских потоков. Расчеты по рассматриваемым сценариям возникновения пожара в зоне кинотеатров и в зоне торгового зала показали, что индивидуальный пожарный риск для людей составляет $8,94 \cdot 10^{-8}$ и $2,63 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ соответственно, то есть не превышает нормативного значения. Результаты оценки индивидуального пожарного риска могут быть использованы при подтверждении соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

Введение. Происходящие в стране процессы ориентированы на улучшение качества жизни населения. Создаются не только производственные объекты, но и объекты социально-культурного и торгового назначения. Данный процесс должен охватить население не только крупных поселков и небольших городов, но и сельской местности. При создании данные объекты могут быть рассчитаны на несколько сельских поселений, что должно учитываться при их проектирова-

нии, также возможен вариант проектирования мини-ТЦ.

Создание дорожно-транспортной сети, газификация быта, строительство объектов досуга и спортивных сооружений позволяет людям реализовать возможности для здорового образа жизни, для доступа к качественному образованию, для получения информации с использованием Интернета, что приведет к приостановке процессов обезлюживания сельских территорий и закрепит

молодежь на селе. Данная программа может быть реализована путем создания в крупных селениях, районных центрах, на окраинах городов, приближенных к сельской местности, многофункциональных объектов: торговых и культурно-развлекательных центров.

Республика Мордовия является территорией с преобладающим сельским укладом. Более половины населения занято в сфере сельского хозяйства и проживает в небольших населенных пунктах. Даже столица республики г. Саранск по своей численности не превосходит районные центры отдельных крупных субъектов Российской Федерации. В этой связи в качестве показательного образца объекта торгового и социально-культурного назначения может выступать ТРЦ «СИТИ-ПАРК» (г. Саранск, ул. Волгоградская, 87). На первых двух этажах располагаются автостоянки, на третьем, четвертом и пятом сосредоточены в основном торговые помещения, однако имеются также производственно-техническая зона и офисные помещения. На пятом этаже расположены зона общепита и развлекательная зона, а также в отдельный пожарный отсек встроен блок кинотеатров.

Многофункциональность объекта, с одной стороны, создает комфортные условия для людей при решении множества бытовых и досуговых вопросов. С другой – вызывает необходимость обеспечить людям безопасность в здании со сложной объемно-планировочной структурой при том, что в настоящее время в Российской Федерации отсутствуют нормативные требования в сфере строительства многофункциональных зданий, в том числе и требований пожарной безопасности.

Примерами некачественного решения проблем обеспечения пожарной безопасности многофункциональных зданий являются пожары в торговых центрах «Зимняя вишня» (г. Кемерово), «Адмирал» (г. Казань), «Рио» и «Персей для детей» (г. Москва), «Аист» (Раменский район Московской области) и др., где были допущены как эксплуатационные, так и проектные ошибки.

Методика исследований. Современным подходом в разработке системы обеспечения пожарной безопасности сложных объектов является компьютерное моделирование процессов распространения опасных факторов пожара и безопасной эвакуации людей при

возникновении условного пожара на основе расчета пожарных рисков. В настоящей работе приводится пример такого рода моделирования.

Объект обладает следующими пожарно-техническими характеристиками:

класс здания по функциональной пожарной опасности Ф3.1;

степень огнестойкости здания – II;

класс конструктивной пожарной опасности – С0.

В здание встроены автостоянки (Ф5.2), кинотеатры (Ф2.1), располагаются помещения общепита (Ф3.2), административные (офисные) помещения (Ф4.3), производственные и складские помещения (Ф5.1, Ф5.2).

Назначение здания в целом – общественное, состоящее из частей различной функциональной пожарной опасности.

Первый этаж объекта защиты (отметка +0,000 м (абсолютная отметка +133,50 м), высота этажа 2,6 м) – парковка (автостоянка) на 400 машиномест для посетителей. Площадь этажа 16807 м².

Второй этаж объекта защиты (отметка +4,000 м (абсолютная отметка +137,50 м), высота этажа 3,3 м) – парковка (автостоянка) на 400 машиномест для посетителей. Площадь этажа 16807 м².

Третий этаж высотой 7,20 м (отметка +8,000 м) занимает продовольственный гипермаркет с вспомогательными помещениями (складские и производственные помещения, офисы) и магазины непродовольственных товаров.

На четвертом этаже высотой 6,0 м (отметка +15,200 м) располагаются магазины непродовольственных товаров.

На пятом этаже высотой 6,0 м (отметка +21,200 м) размещается кинотеатр, состоящий из 9 кинозалов общей вместимостью на 1445 посадочных мест, фудкорты с общей вместимостью на 500 посадочных мест, зона развлечений, магазины непродовольственных товаров.

Блок зоны кинотеатра имеет высоту этажа 12,0 м, возвышающейся выше уровня кровли остальной части здания.

Здание объекта защиты разделено на три пожарных отсека: первый отсек – автостоянка, расположенная на первых двух этажах здания; второй отсек – зона кинотеатров; третий отсек – торговые помещения и зона

развлечений на третьем, четвертом и пятом этажах здания.

Пожарные отсеки здания, превышающие нормативную площадь, разделены на секции с помощью противопожарных преград (противопожарных стен и перекрытий или противопожарных разрывов, коридоров или проездов без пожарной нагрузки).

При этом, в соответствии с требованиями СП 2.13130.2012 [5], площади секций не превышают следующих значений: автостоянки (на 1-м и 2-м этажах ТРЦ) – 5200 м²; 3–5-й этажи ТРЦ с помещениями общественного назначения – не более 8000 м².

Над автостоянкой на втором этаже установлено противопожарное перекрытие 1-го типа с пределом огнестойкости не менее REI 150. Повышение предела огнестойкости перекрытия выполнено при помощи конструктивной огнезащиты – минераловатных плит.

Зона гипермаркета (торговый зал) на третьем этаже выделена в отдельную пожарную секцию площадью 8000,0 м² с помощью противопожарных преград (противопожарных стен, коридоров и зон без пожарной нагрузки шириной 8 м).

Блок кинотеатров отделен от помещений иной функциональной пожарной опасности противопожарными стенами 1-го типа (REI 150) и противопожарными перекрытиями 1-го типа (REI 150).

Помещения и участки предприятий общественного питания (рестораны, кафе, фудкорт), зона промышленных товаров на пятом этаже разделены между собой и от помещений иной функциональной пожарной опасности. Для достижения этой цели приняты следующие технические решения: обеспечение противопожарных разрывов шириной 8 м (проходы без горючей нагрузки), проложенные по центральной оси указанных проходов, при этом пожарная нагрузка на смежных площадях помещения не превышает 50 МДж/м² в пересчете на стандартную древесину.

Для функциональной связи автостоянки на первом и втором этажах с третьим этажом ТРЦ, где расположены помещения организации торговли, имеются вертикальные транспортные коммуникации: эскалаторы, траволаторы, грузовые и пассажирские лифты. Эскалаторы и траволаторы на первом и втором этажах автостоянки отделены противопожарными стенами 1-го типа (REI 150)

с остекленными тамбурами, остекление и остекленные двери которых защищаются опускающимися при пожаре противопожарными шторами (EI150). Ограждения тамбуров имеют пределы огнестойкости не менее EI 150 и перекрытие 1-го типа.

Решения по обеспечению эвакуации людей при возникновении пожара в проектируемом здании приняты с учетом требований ст. 53 и 89 Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и СП 1.13130.2009 [4].

Защита людей на путях эвакуации обеспечивается комплексом объемно-планировочных, эргономических, конструктивных, инженерно-технических и организационных мероприятий.

В соответствии с ч. 1 ст. 53 Федерального закона № 123-ФЗ [10] каждое здание или сооружение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре.

На пятом этаже размещена зона кинотеатров, включающая в себя 9 залов. Данная зона находится в двух уровнях: 1-й уровень – непосредственно кинозалы со 2-м светом; 2-й уровень – кинопроекторная зона. Весь комплекс кинотеатров отделен от помещений другой функциональной пожарной опасности (помещения организации общепита и помещения организации торговли) противопожарными стенами 1-го типа с соответствующим заполнением дверных проемов. С пожарного отсека с комплексом кинотеатров (в том числе с кинопроекторной зоны) имеются самостоятельные эвакуационные выходы через дополнительно пристроенные со стороны ул. Волгоградская три лестничные клетки 1-го типа.

Комплекс технических мероприятий по противопожарной защите эвакуационных путей и объемно-планировочные решения позволяют осуществить эвакуацию из кинотеатров по существующим путям эвакуации объекта защиты и в безопасные зоны. Эвакуация из кинотеатров возможна также в эвакуационные выходы в смежный пожарный отсек.

Для эвакуации из кинопроекторной зоны используются две лестничные клетки, имеющие выход в вестибюль кинотеатра на пятом этаже. Данные лестничные клетки отделяются от вестибюля противопожарными дверями с пределом огнестойкости не менее EI 30.

Торговый зал магазина расположен на третьем этаже здания. Лестничные клетки, расположенные с южной части объекта, являются эвакуационными с 2-го, 3-го, 4-го и 5-го этажей до планировочной отметки земли.

Автоматическая установка пожарной сигнализации (АУПС) устроена на базе адресной системы в соответствии с требованиями СП 5.13130.2009 [7].

Здание оборудовано системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) не ниже 4-го типа [6].

Противодымной защитой (ПДЗ) обеспечиваются все этажи рассматриваемого здания [7]. Площадь каждой дымовой зоны принята не более 3000 м². Дымовые зоны выделены без устройства завес.

Пуск систем противодымной защиты осуществляется автоматически от пожарной сигнализации (пожарных извещателей), установки пожаротушения и дистанционно (из пожарного поста и от ручных пожарных извещателей).

Рассматриваемый объект защиты, а именно существующее здание ТРЦ, защищен автоматическими установками пожаротушения (АУПТ) по всей площади.

Спринклерными секциями установки пожаротушения защищаются все помещения здания ТРЦ за исключением помещений, указанных в п.А.4 Приложения А СП 5.131.2009 [7], а также помещений электрощитовых и трансформаторных [8].

Оценка индивидуального пожарного риска должна проводиться для всего здания в целом [3]. Вместе с тем, в данной статье приводятся результаты расчета пожарного риска при реализации сценариев пожара в зоне кинотеатров и зоне торгового зала.

Частота возникновения пожара в здании в течение года определяется на основании статистических данных, приведенных в приложении №1 к Методике [2, 3]. При отсутствии статистической информации допускается принимать значение, равное $4 \cdot 10^{-2}$ в год.

Для рассматриваемого объекта в целом (как многофункциональный центр) статистические данные о частоте возникновения пожаров в Методике [2] отсутствуют, поэтому вероятность возникновения пожара принимается для каждой части здания (пожарного отсека) в отдельности:

для торговых помещений – $2,03 \cdot 10^{-2}$ в год;

для зоны общепита (фудкорта) – $3,88 \cdot 10^{-2}$ в год;

для зоны развлечений – $4,0 \cdot 10^{-2}$ в год;

для кинотеатров – $6,9 \cdot 10^{-3}$ в год;

для автостоянок – $4 \cdot 10^{-2}$ в год.

Системы противопожарной защиты учитываются при оценке индивидуального пожарного риска как напрямую, так и косвенно, посредством коэффициентов, учитывающих их соответствие требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Для рассматриваемого объекта, с учетом его класса функциональной пожарной опасности, учитываются все системы автоматической противопожарной защиты, а именно системы пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией, противодымной защиты и систем автоматического пожаротушения.

В соответствии с Методикой [2] расчетная величина пожарного риска определяется следующим выражением:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} \cdot (1 - R_{\text{ап}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1 - P_{\text{э}}) \cdot (1 - P_{\text{п.з}}),$$

где $Q_{\text{н}}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных. При отсутствии статистической информации допускается принимать $Q_{\text{н}} = 4 \cdot 10^{-2}$ в год для каждого здания; $R_{\text{ап}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Значение параметра $R_{\text{ап}}$ принимается равным 0,9, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой АУПТ, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудование здания системой АУПТ не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения $P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}} / 24$, где $t_{\text{функц}}$ – время нахождения людей в здании в часах;

$P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей;

$P_{\text{п.з}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, определяется по формуле:

$$P_{\text{п.з}} = 1 - (1 - R_{\text{обн}} R_{\text{СОУЭ}}) \cdot (1 - R_{\text{обн}} R_{\text{ПДЗ}}),$$

где $R_{\text{обн}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации

требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $R_{\text{СОУЭ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $R_{\text{ПДЗ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы противоподымной защиты, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Значение параметра $R_{\text{обн}}$ принимается равным 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудования здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $R_{\text{обн}}$ принимается равным нулю.

Значение параметра $R_{\text{СОУЭ}}$ принимается равным 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $R_{\text{СОУЭ}}$ принимается равной нулю.

Значение параметра $R_{\text{ПДЗ}}$ принимается равным 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой противоподымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудования здания системой противоподымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $R_{\text{ПДЗ}}$ принимается равным нулю.

В соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности и специальным техническим условиям (СТУ),

существующее здание ТРЦ подлежит оборудованию АУПС, СОУЭ, ПДЗ и АУПТ в полном объеме, за исключением отдельных помещений, не подлежащих защите ПДЗ и АУПТ, перечисленных в предыдущих разделах.

В этой связи коэффициенты, учитывающие соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, принимается равным 0,9.

Коэффициенты, учитывающие соответствие установок автоматической пожарной сигнализации, системы оповещения и управления эвакуацией людей в случае пожара, системы противоподымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, принимаются равными 0,8 каждая.

Время начала эвакуации для помещений здания, за исключением помещений очага пожара, принимается равным 1,0 мин для кинотеатров, поскольку здание оснащается СОУЭ 4-го типа.

Результаты исследований. Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. Сценарий пожара определяется на основе данных об объемно-планировочных решениях, о размещении горючей нагрузки и людей на объекте. При расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей.

В рамках данной статьи рассмотрены два расчетных сценария пожара: пожар в кинозале на пятом этаже ТРЦ и пожар в торговом зале на третьем этаже.

Для расчета динамики ОФП в обоих случаях применялась дифференциальная (полевая) модель пожара, выбор которой основан на следующих предпосылках:

сложная объемно-планировочная схема здания и его частей с наличием многосветных объемов (атриумов), внутренних преград;

необходимость учета функционирования приточно-вытяжной противоподымной вентиляции, комплекса технических мероприятий противопожарной защиты;

необходимость учета распространения горения по горючим материалам в вертикальном направлении (наличие стеллажного хранения товаров в зонах хранения и в торговых залах).

Формирование трехмерного расчетного домена осуществлено в программе Pyrosim [1] (версия 2018.2.0730×64, разработчик Thunderhead Engineering, США), являющейся пре-процессором для Fire Dynamics Simulator, FDS версий 6.7 и старше (разработчик NIST, Национальный институт стандартов и технологий США).

При формировании трехмерного расчетного домена создается текстовый файл, содержащий команды для FDS, за счет которых задаются исходные данные и алгоритм расчета, а также весь перечень выходных, т.е. получаемых при расчете, данных [1].

Полученные результаты расчетов представляются в виде:

- графиков тепловой мощности пожара;
- графиков временной динамики опасных факторов пожара;
- скриншотов процесса развития пожара совместно с эвакуацией;
- полей распределения видимости на высоте 1,7 м от пола;
- полей распределения видимости вдоль эвакуационных галерей.

В соответствии с исходными данными, основанными на проектных решениях, были проведены расчеты динамики опасных факторов пожара, измерения которых проводились в 7 условно принятых точках сравнения (местах размещения датчиков-измерителей ОФП). Необходимое время эвакуации принималось равным в виде 80%-й доли от времени блокирования путей эвакуации в выбранных точках сравнения.

Расчетное время эвакуации людей в общем случае определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу одним из следующих способов:

- по упрощенной аналитической модели движения людского потока, приведенной в приложении № 2 к Методике [2];
- по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в приложении №3 к Методике [2];
- по имитационно-стохастической модели движения людских потоков, приведенной в приложении № 4 к Методике [2].

Выбор способа определения расчетного времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контингента (его однородности) людей, находящихся в нем.

В качестве модели для расчета времени эвакуации применялась индивидуально-поточная модель движения людских потоков, позволяющая учесть сложные поведенческие факторы, в том числе разделение людских потоков, а также индивидуальное движение отдельных людей или их групп.

Формирование расчетной сетки для моделирования процессов эвакуации осуществлялось в программе Pathfinder (разработчик Thunderhead Engineering, США), реализующей индивидуально-поточную модель.

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габаритные размеры человека в плане в соответствии с Методикой [2] принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). В модели Pathfinder люди задаются в виде цилиндров, площадь сечения которых соответствует площади горизонтальной проекции человека (площадь горизонтальной проекции зависит от группы мобильности и других особенностей контингента).

Задаются координаты каждого человека – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится.

Координаты каждого человека в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей и т.п.). В случае отсутствия таких данных, например, для магазинов, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Программа Pathfinder позволяет размещать людей как равномерно, так и случайным образом (в данном случае применено

случайное распределение людей по помещениям и холлам).

Индивидуально-поточная модель, реализованная в Pathfinder, позволяет создавать различные типы поведения людей, заключающиеся в направлении и выборе эвакуационных выходов, задавать время начала эвакуации. Таким образом, возможно проведение расчета времени эвакуации для разделяющихся людских потоков, а также учесть эвакуацию людей в разные эвакуационные выходы (например, раздельная эвакуация посетителей и персонала).

Группа мобильности основного контингента в помещениях здания была принята как М1 [2], т.е. люди без физических ограничений. Площадь проекции людей принималась равной 0,125 м², т.е. как для людей в зимней одежде.

Кроме этого для здания ТРЦ учитывалось наличие людей категории маломобильной группы населения (МГН), т.е. людей с ограниченными физическими возможностями (группа мобильности М2-М3) [2], а также детей, параметры движения которых и их площади горизонтальной проекции приняты по методике.

В проектной документации информация об общем количестве людей на рассматриваемом объекте не имеется, фактически данное значение также не установлено. Поэтому для помещений, в которых количество людей в предоставленных данных отсутствовало, численность контингента принималась равным исходя из 1 человека на 6 м² площади офисных помещений и 1 человек на 3 м² площади торговых помещений. Количество людей в санузлах, в коридорах и лестничных клетках, а также в технических помещениях принималась равной нулю. Количество человек в кинозалах принималось по количеству посадочных мест.

При определении расчетного времени эвакуации учитываются данные, приведенные в приложении № 5 к Методике [2], в частности принципы составления расчетной схемы эвакуации людей, параметры движения людей различных групп мобильности, а также значения площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

Расчеты динамики ОФП и эвакуации были проведены при всех принятых пожароопасных сценариях.

В соответствии с исходными данными, основанными на проектных решениях, были

проведены расчеты времени эвакуации, измерения которого проводились по всему зданию в целом и в 7 вышеуказанных точках сравнения в частности (в местах размещения датчиков-измерителей ОФП). Время эвакуации суммировалось из времени начала эвакуации и времени движения людей к эвакуационным выходам.

Суммарное количество людей и персонала в каждом из сценариев составляло 15022 человек, из них:

первый этаж паркинга – 2000;

второй этаж паркинга – 2000;

третий этаж ТРЦ – 3458;

четвертый этаж ТРЦ – 3687;

пятый этаж ТРЦ – 3877.

Количество детей во всех сценариях принималось равным:

третий этаж ТРЦ – 57;

четвертый этаж ТРЦ – 60;

пятый этаж ТРЦ, игровая зона – 207;

пятый этаж ТРЦ, торговые помещения – 14.

Было показано, что во всех точках сравнения время достижения опасными факторами пожара своих критических значений оказалось больше, чем время эвакуации с учетом 80% доли запаса. Чем был подтвержден один из критериев безопасной эвакуации людей.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей заключается в определении вероятности эвакуации людей из здания при пожаре.

Вероятность эвакуации людей определяется на основе сопоставления значений времени эвакуации людей и времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.

Для определения расчетного времени эвакуации людей в соответствии с приложениями № 2–5 к Методике [2] определяется модель эвакуации людей из здания, проводится построение расчетной схемы эвакуации и осуществляется моделирование эвакуации людей.

В соответствии с разделом II Методики [2] проводится определение расчетной величины индивидуального пожарного риска и сопоставление ее с нормативным значением индивидуального пожарного риска.

Блок-схема, иллюстрирующая порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска, представлена на рисунке.

В случае, если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует пре-

дусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска.

К числу противопожарных мероприятий, направленных на снижение величины пожарного риска, относятся:

применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;

устройство дополнительных эвакуационных путей и выходов;

устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа;

организация поэтапной эвакуации людей из здания;

применение систем противодымной защиты;

устройство систем автоматического пожаротушения;

ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания.

Эффективность дополнительных противопожарных мероприятий должна подтверждаться повторным расчетом величины индивидуального пожарного риска.

Эффективность каждого из перечисленных выше противопожарных мероприятий определяется степенью влияния на расчетные параметры пожарного риска, связанные с развитием пожара, а для системы пожарной сигнализации, противодымной защиты и системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей также параметрами, связанными с эвакуацией в случае пожара.

Применение в качестве дополнительного противопожарного мероприятия объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, достигается обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях помещения, в котором находится вероятный очаг пожара.

Блок-схема алгоритма определения пожарного риска

Сценарий	$Q_{\text{п}}$	$R_{\text{ап}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{п.з}}$	$P_{\text{э}}$	Индивидуальный пожарный риск
Сценарий: пожар в зоне кинотеатров	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,9	1	0,8704	0,999	$8,94 \cdot 10^{-8}$
Сценарий: пожар в зоне торгового зала	$2,03 \cdot 10^{-2}$	0,9	1	0,8704	0,999	$2,63 \cdot 10^{-7}$

Степень влияния данного дополнительного противопожарного мероприятия на динамику распространения пожара и, соответственно, значение времени блокирования путей эвакуации ОФП определяется путем проведения повторного расчета времени блокирования после внесения соответствующих изменений в схему объемно-планировочных решений здания.

При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства дополнительных эвакуационных путей и выходов следует выполнить повторный расчет по оценке времени эвакуации, с учетом откорректированных объемно-планировочных решений.

При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа следует выполнить повторный расчет по оценке времени эвакуации с учетом перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев возникновения и развития пожара и, соответственно, алгоритма функционирования системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей.

Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения времени блокирования с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности. При этом для выполнения расчетов следует применять зонную (зональную) или полевою модели.

Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета значения времени эвакуации при существующих объемно-планировочных решениях и

ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

Результаты оценки индивидуального пожарного риска приведены в таблице.

Закключение. Расчеты по рассматриваемым сценариям возникновения пожара в зоне кинотеатров и в зоне торгового зала показали, что индивидуальный пожарный риск для людей в здании ТРЦ «Сити-Парк» составляет $8,94 \cdot 10^{-8}$ и $2,63 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹ соответственно, то есть не превышает нормативного значения, установленного Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Результаты оценки индивидуального пожарного риска могут быть использованы при подтверждении соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карькин И.Н. Ситис 4-11. Рекомендации по использованию программы FDS с применением программы PyroSim 2010-2 и SmokeView. – Екатеринбург: Ситис, 2011. – 176 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Приложение к приказу МЧС России от 30.07.2009 №382). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
3. Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» // СПС «Гарант».
4. СП 1.13130.2009. «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
5. СП 2.13130.2012. «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
6. СП 3.13130.2009. «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
7. СП 5.13130.2009. «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации

и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.

8. СП 6.13130.2013. «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.

9. СП 7.13130.2013. «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.

10. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // СПС «Гарант». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.

Савельев Анатолий Петрович, д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия.

Еналеева Светлана Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия.

430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

Тел.: 89272768168.

Шкрабак Владимир Степанович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологи-

ческих процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2

Тел.: (812) 451-76-18.

Чугунов Михаил Николаевич, канд. экон. наук доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия.

430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

Тел.: 89271978178.

Еникеев Виль Гумерович, д-р техн. наук проф., Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Тел.: (812) 451-76-18.

Ключевые слова: исследование пожарной безопасности; рискориентированный подход; специальные технические условия.

RESEARCH OF FIRE SAFETY ON THE BASIS OF CALCULATION OF FIRE RISKS IN OBJECTS OF TRADE AND SOCIO-CULTURAL PURPOSE IN CASE OF CONDITIONAL FIRE

Saveliev Anatoly Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov. Russia

Enaleeva Svetlana Anatolyevna Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov. Russia.

Shkrabak Vladimir Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Safety of Technological Processes and Productions", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Shkrabak Roman Vladimirovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair "Safety of Technological Processes and Production", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Chugunov Mikhail Nikolaevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov. Russia.

Enikeev Vil Gumerovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Keywords: fire safety research; risk-based approach; special technical conditions.

The article is devoted to the study of fire safety based on the calculation of fire risks in the objects of trade and cultural purpose in the event of a con-

ditional fire. The conditions for safe evacuation of people in the event of a fire in the areas of the object, characterized by a significant concentration of people are substantiated. In both cases, a differential (field) fire model was used to calculate the dynamics of fire hazards. The formation of a three-dimensional computational domain was carried out in the Pyrosim program. In the article, the calculations of the dynamics of fire hazards were carried out, the measurements of which were carried out in seven conventionally accepted comparison points (locations of sensors-meters OFP). The estimated time to evacuate people is generally determined by simulating the movement of people before going outside. The choice of the method for determining the estimated time of evacuation was made taking into account the specific features of the space-planning solutions of the building, as well as the features of the contingent. As a model for calculating the evacuation time, an individual flow model of human traffic was used. Calculations for the considered scenarios of fire in the area of cinemas and in the area of the shopping hall showed that the individual fire risk for people is $8.94 \cdot 10^{-8}$ and $2.63 \cdot 10^{-7}$ year⁻¹, respectively, that is, does not exceed the normative value. The results of the individual fire risk assessment can be used to confirm the compliance of the object of protection with fire safety requirements.