



Согласовано для использования в научных (в т.ч. спортивных и
статистических) целях, представляемое в виде экспертного заключения, несет
заказчик.

МЧС РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ
ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии

М.В. Бедило

26 декабря 2017 г.

АКАДЕМИЯ ГПС МЧС РОССИИ
Оснований
регистра № 34/156-2017
26 декабря 2017 г.

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ №

Реквизиты ИНН 1293661880 КПП 12450101, юридический адрес: 66021, г.
Красногорск, Ул. Богдана Хмельницкого, д. 13а, тел. +7 (495) 208 99 98, e-mail: info@akademy.ru,

**о возможности использования программного продукта «Сигма ПБ» для
определения величины пожарного риска в зданиях различного назначения
в соответствии с методиками, утвержденными
Приказами МЧС России от 30.06.2009 № 382 и 10.07.2009 № 404**

от 19.02.2017 г. № 16

4. Наименование Учебно-научный комплекс организации национальной
деятельности Академии.

5. Наименование экспертной организации:

Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы
министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»
(Академия ГПС МЧС России), 129366, г. Москва, ул. Б. Борисоглебская, д. 1, КПП
771701091, Академия ГПС МЧС России, тел. +7 (495) 456730, индекс
40503810600061069079, в Отделении 1 Московского ЕИУ Банка России г.
Москва, БИК 044583001, ИНН 7717125112, тел. (495) 683-79-97, факс (495) 683-
76-77, E-mail: agps@post.mos.ru, сайт в Интернете: <http://akademy.ru>

Москва 2017

Ответственность за достоверность исходных данных (в т.ч. справочных и статистических), представленных для разработки экспертного заключения, несет заказчик.

В случае внесения заказчиком изменений и дополнений в представленные материалы, а также в случае не соответствия исходных данных, принятых при проведении расчетов по оценке пожарных рисков, фактической ситуации на объекте защиты настоящее экспертное заключение утрачивает свою силу и подлежит повторной разработке с учетом внесенных изменений и дополнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наименование объекта экспертизы: Программный продукт «Сигма ПБ» (далее – Программа) для моделирования развития пожара полевой моделью и эвакуации индивидуально-поточной моделью, определения вероятности эвакуации и расчетной величины пожарного риска в зданиях, сооружениях (далее – здания) и пожарных отсеках в соответствии с Методиками, утвержденными Приказами МЧС России от 30.06.2009 № 382 и 10.07.2009 № 404.

Программа включена в реестр отечественного ПО Минкомсвязи РФ (Приказ от 21.06.2017 №;382, Приложение 1, №пп.67, реестровый №3741).

2. Заказчик экспертизы: Общество с ограниченной ответственностью «Зк-эксперт» в лице генерального директора Агапова Аркадия Алексеевича. Реквизиты: ИНН 2466249389, КПП 246601001, юридический адрес: 660021, г. Красноярск, ул. Бограда, д. 132, тел. +7 (908) 208 99 98, e-mail: info@3ksigma.ru, sigma@krasn.ru. Сайт в Интернете: <http://3ksigma.ru>.

3. Основание для проведения экспертизы: Лицензионный договор № 3 от 16.10.2014 г. «Об использовании программных продуктов в учебном процессе высших и средних образовательных учреждениях». Письмо генерального директора ООО «Зк-эксперт» от 19.12.2017 № 106.

4. Исполнитель: Учебно-научный комплекс организации надзорной деятельности Академии.

5. Название экспертной организации:

Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (Академия ГПС МЧС России). 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4. КПП 771701001; Академия ГПС МЧС России л/с 03731456730, р/с 40503810600001009079 в Отделении 1 Московского ГТУ Банка России г. Москва; БИК 044583001; ИНН 7717035419. Тел. (495) 683-79-97, факс (495) 683-76-77, E-mail: agps@post.mos.ru, сайт в Интернете: <http://academygps.ru/>.

6. Нормативная база

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании» «Российская газета» от 31 декабря 2002 г. N 245
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» – «Российская газета» от 1 августа 2008 г. N 163.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
4. Приказ МЧС России № 382 от 30 июня 2009 г. «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности», <http://mchs.gov.ru>.
5. Приказ МЧС России № 404 от 10 июля 2009 г. «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах», <http://mchs.gov.ru>.

7. Область применения программного продукта «Сигма ПБ», краткое описание

Программный продукт «Сигма ПБ» предназначен для определения необходимого и расчетного времени эвакуации людей, вероятности эвакуации и величины пожарного риска при пожаре в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности в соответствии с методиками, утвержденными Приказами МЧС России от 30.06.2009 № 382 и 10.07.2009 № 404.

Для проведения всех расчетов и получения результатов на предполагаемом Объекте защиты необходимо выполнить ряд последовательных действий:

- сбор исходных данных (объемно-планировочное решение объекта; наличие и размещение оборудования; вид, количество и расположение пожарной нагрузки; количество и место расположения людей в здании; наличие и соответствие систем противопожарной защиты; вероятность возникновения пожара и др.), количественный и качественный анализ пожарной опасности рассматриваемого Объекта защиты;

- формулировка сценариев развития пожара и эвакуации на основе проведенного анализа;

- выполнение расчетов для каждого сценария;
- анализ результатов расчетов сценариев;
- получение расчетной величины пожарного риска;
- формулировка вывода;
- подготовка отчета.

Для получения результатов моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации для каждого сценария необходимо выполнить следующие действия в программе:

- создать проект;
- создать каркас здания;

- создать на основе каркаса расчетную область для моделирования развития пожара;
- создать на основе каркаса расчетную область для моделирования эвакуации;
- ввести данные (начальные, граничные условия) для моделирования развития пожара;
- ввести начальные данные для моделирования эвакуации;
- выполнить расчет развития пожара (полевой моделью);
- создать горизонтальные сечения полей ОФП на заданной высоте от пола;
- выполнить расчет эвакуации (индивидуально-поточной моделью);
- выполнить совместную визуализацию эвакуации и динамики полей опасных факторов пожара;
- выполнить автоматический анализ результатов расчетов сценария и определить вероятность эвакуации с Объекта защиты в сценарии, сохранить данные анализа в файл;
- сохранить в файлы описание исходных данных по модельному представлению Объекта защиты и по сценарию развития пожара и эвакуации, в том числе графическое представление схем эвакуации.

7.1. Создание проекта

Создается новый проект, указывается его название и расположение на локальном диске персональной ЭВМ.

7.2. Создание каркаса здания

Происходит создание трехмерного каркаса здания, куда входят: (*) все значимые для сценария элементы объема здания, включая лестничные клетки и элементы лестниц (воспроизводится внутренний объем здания, который набирается блоками – шестиугольниками в основании которых лежит прямоугольник или произвольный четырехугольник, грани блоков могут быть наклонными и негоризонтальными); (*) все проемы, связывающие объемы здания; (*) значимые проемы наружу из здания (двери, окна и т.д.); (*) все плоские области (отверстия), которые необходимы для задания локальных граничных условий для моделирования развития пожара. Создание каркаса этажей объекта возможно с использование подложек (графических изображений поэтажных планов этажей), которые подгружаются по мере необходимости. Каркас здания также может быть получен путем импорта модели здания из BIM-программы автоматизированного проектирования AutodeskRevit.

7.3. Создание на основе каркаса расчетной области для моделирования развития пожара

Осуществляется создание (сбор) расчетной области для моделирования развития пожара на основе элементов каркаса: включаются все значимые для сценария объемы этажей здания и лестничных клеток, проемы их соединяющие; определяется связность расчетной области путем определения на гранях смежных блоков контактов (наличие или отсутствие стен); задается область расположения пожарной нагрузки; задаются окна в помещении очага пожара для учета тепловых потерь (в том числе при разрушении окон); задаются проемы для связи с внешней средой на границе расчетной области (выходы наружу из здания) – область моделирования не должна быть замкнутой (нужные плоские

области маркируются); задается пространственная дискретизация расчетной области для выделенных блоков – шаг сетки (шаг сетки в расчетной области может быть неоднородным и произвольным); выполняется построение расчетной сетки; осуществляется визуализация сетки и связей между смежными блоками (связанность расчетной области).

7.4. Создание на основе каркаса расчетной области для моделирования эвакуации

Осуществляется создание (сбор) расчетной области для моделирования эвакуации на основе элементов каркаса: включаются все значимые для сценария объемы этажей здания и лестничных клеток, проемы их соединяющие; при необходимости грани смежных блоков объявляются проходимыми (связываются проемами с тип=2); назначаются правильные типы всем элементам (если они должны отличаться от значений по умолчанию); обязательно добавляются проемы-выходы наружу из здания (область моделирования не должна быть замкнутой).

7.5. Ввод данных (начальные, граничные условия) для моделирования развития пожара

Задаются: начальная температура воздуха в расчетной области (здании); температура воздуха в окружающей среде; свойства пожарной нагрузки, координата очага пожара (точки возгорания) и маркер (номер) области, описывающий расположение пожарной нагрузки; список окон (для учета тепловых потерь и/или разрушения окон); список внутренних дверей с описанием их состояния во времени (открыта-закрыта); проемы, связывающие расчетную область с внешней средой; отверстия для вытяжной и приточной противодымной вентиляции с описанием массовых расходов через них; стены, прогрев которых будет учитываться в расчете (начальная температура, толщина, стены, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, плотность и пр.); время окончания расчета развития пожара, величина расчетного шага по времени, максимальное количество итерационных шагов на один шаг по времени, частота сохранения данных.

7.6. Ввод данных для моделирования эвакуации

Выполняется расстановка людей на этажах здания; задаются индивидуально и группам людей характеристики (время начала эвакуации, путь, площадь проекции, начальная скорость движения, группа мобильности и другие второстепенные признаки).

При необходимости автоматически заужаются коридоры при открывании дверей в сторону коридора.

В помещениях расставляется мебель и другие значимые препятствия для движения людей.

Указываются состояния проемов для управления движения людьми на этажах. Информация о внутренних дверях (противопожарные, с доводчиком) для включения в табличный отчет.

7.7. Выполнение расчета развития пожара (полевой моделью) и создание горизонтальных сечений полей ОФП

Запускается расчет, в отдельных окнах отображаются этапы запуска и течения расчета (количество рассчитанных секунд), графики сходимости невязок, по которым можно осуществлять мониторинг течения расчета.

После завершения расчета создаются горизонтальные сечения полей ОФП на заданной высоте от пола для последующей визуализации и совместного анализа результатов расчетов распространения ОФП и эвакуации.

7.8. Выполнение расчета эвакуации (индивидуально-поточной моделью)

Запускается расчет, в отдельных окнах отображаются поэтажные планы, рассчитанное время, количество людей на этаже и всего в расчетной области, можно наглядно наблюдать за течением эвакуации, управлять отображением поэтажных планов.

7.9. Совместная визуализация расчетов эвакуации и динамики полей опасных факторов пожара

Выполняется совместная визуализация полей опасных факторов пожара на каждом этаже здания и эвакуирующихся людей. Доступны для отображения поля ОФП (видимость, тепловой поток, температура, концентрация СО, CO₂, O₂, HCl) и плотность потока людей.

7.10. Выполнение автоматического анализа результатов расчетов сценария и определение вероятности эвакуации с Объекта в данном сценарии, сохранение данных анализа в файл, сохранение всех исходных данных по сценарию в файлы, включая графическое представление схем эвакуации.

Формируется экранная форма с результатом совместного анализа процесса эвакуации и развития пожара, в которой поэтажно для каждого контрольного элемента отображены данные по началу эвакуации, длительности эвакуации, окончанию эвакуации, времени блокирования ОФП, вид блокирующего ОФП, длительность скопления, вероятности эвакуации. (Контрольными элементами являются помещения, в которых в начальный момент находились люди, все этажные проемы, через которые люди двигались наружу из здания. Поэтому каждый этаж может содержать десятки контрольных точек, что позволяет иметь подробную картину эвакуации при пожаре и следить за выполнением/невыполнением на отдельных участках здания условий своевременной и беспрепятственной эвакуации при пожаре.)

Формируются и сохраняются табличные данные по геометрическим характеристикам путей эвакуации, поэтажные схемы эвакуации в графическом виде, поэтажные данные с характеристиками людей в помещении.

Формируются и сохраняются исходные данные, принятые в сценарии при моделировании развития пожара.

8. Основные достоинства и возможности программного продукта «Сигма ПБ»

К уникальным достоинствам программы «Сигма ПБ» относятся:

- единая программная среда с единым полем информационных ресурсов и форматом данных для решения задач расчета движения людей и распространения ОФП, что позволяет проводить наглядный анализ за счет возможности совместного визуального отображения процессов эвакуации и

распространения ОФП, а так же проводить детальный автоматический пространственно-временной анализ результатов расчетов (соотнесение динамики полей ОФП на заданной высоте и движения людей при эвакуации во всем объеме здания);

- собственный построитель 3D-модели здания, основанный на использовании геометрических примитивов, подложек (поэтажные планы здания), импортированных моделей здания из BIM системы проектирования Revit;

- возможность построения нетиповых лестниц с произвольными геометрическими характеристиками;

- возможность создавать 3D-модели многоэтажных разноуровневых объектов со сложным объемно-планировочным решением (включая создание вертикальных связей в таких сложных разноуровневых сооружениях как театры, кинотеатры, ТРЦ, транспортные узлы, спортивные сооружения и т.п.);

- собственные (отечественные) расчетные модули (программные коды) для моделирования распространения опасных факторов пожара полевой моделью и эвакуации – индивидуально-поточной моделью, что позволяет постоянно их совершенствовать как в части математических моделей, так и численных методов;

- вариативное задание времени начала движения людей и путей эвакуации позволяет настраивать и проверять качество настройки систем СОУЭ;

- вариативная настройка индивидуальных характеристик людей позволяет корректно задавать данные контингенту детских садов, лечебных учреждений, учебных учреждений среднего звена;

- реализована возможность рассчитывать время на переноску немобильных пациентов в безопасную зону с учетом необходимого количества рейсов и рассчитывать вероятность эвакуации для зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4;

- совместная 3D-визуализация эвакуации и распространения ОФП в трехмерной виртуальной среде дает наглядное представление о распространении опасных факторов пожара и динамики эвакуации, позволяет выполнить проверку расчетов;

- автоматический анализ данных расчетов эвакуации и распространения опасных факторов пожара, который позволяет определить времена эвакуации и блокирования путей эвакуации по всему пути следования людей наружу из здания, вероятности эвакуации с отдельных участков здания и из здания в целом, тем самым исключается человеческий фактор и происходит подробный анализ эвакуации при пожаре с выявлением всех слабых мест сценария;

- данные автоматического анализа результатов расчетов представляются в удобной табличной форме и содержат всю необходимую информацию по вероятностям эвакуации людей с отдельных участков и здания в целом;

- данные по модельному представлению Объекта защиты и по сценарию развития пожара и эвакуации (геометрические характеристики путей эвакуации, поэтажные схемы эвакуации в графическом виде, поэтажные данные с характеристиками людей в помещении, исходные данные, принятые в сценарии при моделировании развития пожара) автоматически собираются в таблицы и

могут быть сохранены в отдельные файлы, что позволяет представить подробную информацию о принятых в расчете исходных данных и соотнести ее с данными Объекта защиты;

- состав информации, который формируется Программой по исходным данным и результатам расчета, соответствует требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».

К ключевым достоинствам программы «Сигма ПБ» относятся:

- для дискретизации расчетной области при моделировании развития пожара используются неортогональные блочно-структурные сетки, что позволяет использовать собственный произвольный шаг пространственной дискретизации в каждом блоке (в данном подходе расчетная область состоит из связанных блоков);

- заданные геометрические размеры в 3D-модели здания не изменяются при дискретизации расчетной области (создание сетки) и проведении численного моделирования развития пожара, что дает удобство в построении и позволяет точно воспроизводить геометрические размеры элементов объекта;

- использование экономичных URANS-моделей турбулентности позволяет предъявлять пониженные требования к вычислительным характеристикам персонального компьютера (по сравнению с использованию LES, гибридных LES/RANS, DES моделей турбулентности), характерный размер шага дискретизации от 0,2 м (в помещении очага пожара) до 1 м на существенном удалении от очага пожара;

- точный учет геометрических размеров объекта при проведении расчетов позволяет исследовать влияние объемно-планировочных решений на распространение опасных факторов пожара и на процесс эвакуации (при пожаре);

- за счет разделения понятий расчетных областей для моделирования эвакуации и распространения опасных факторов пожара в программе реализована гибкая настройка сценариев с участием внутренних дверных проемов и дверных проемов, ведущих наружу из здания;

- вычисления производятся на локальном компьютере, что делает пользователя независимым от доступа в сеть Интернет и к сторонним вычислительным ресурсам;

- при формулировании и моделировании сценариев программа позволяет учитывать системы дымоудаления и подпора воздуха; состояние внутренних дверей и учет их геометрических размеров, включая неплотное закрывание в притворе; вариативное задание времени начала движения людей и путей эвакуации позволяет настраивать и проверять качество настройки систем пожарной сигнализации и СОУЭ; управлением температурой внешней среды можно моделировать развитие пожара в условиях разного времени года;

Программа позволяет выполнить постановку задачи (задать начальные и граничные условия) и выполнить моделирование развития пожара в соответствии с требованиями, предъявляемыми Приказом МЧС № 382 от 30 июня 2009.

Программа позволяет выполнить постановку задачи (начальные условия, индивидуальные характеристики людей, путь эвакуации) и провести моделирование эвакуации в соответствии с требованиями, предъявляемыми Приказом МЧС № 382 от 30 июня 2009.

9. Верификация и валидация программного продукта «Сигма ПБ»

Определение правильности расчетов или решений основных уравнений метода (верификация) и определение правильности допущений и основных уравнений метода (валидация) проводились на основе сравнения результатов с альтернативными расчетами с использованием альтернативных методов (программных продуктов) моделирования динамики опасных факторов пожара и времени движения людей, а так же проводилось сравнение с натурными данными.

Результаты валидации и верификации представлены в документах:

- Техническое руководство к программному продукту «Сигма ПБ», представленному на сайте Заказчика http://3ksigma.ru/wp-content/uploads/2017/12/technik_manual_v2017_Sigma.pdf;

- Кирик Е.С., Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Харламов Е.Б., Малышев А.В. Математическое моделирование эвакуации при пожаре // Математическое моделирование, Т. 26 (1), 2014. – С.3-16. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21276919>);

- Кирик Е.С., Малышев А.В. Тестирование компьютерных программ по расчету времени эвакуации на примере модуля SigmaEva // Пожарная безопасность, N.1, 2014. – С. 78-85. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21350166>);

- Kirik E., Malyshev A., Popel E. Fundamental diagram as a model input – direct movement equation of pedestrian dynamics // In the proceedings of the International conference «Pedestrian and Evacuation Dynamics'2012» (Eds.: U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg), Springer, 2014. P. 691-702. (DOI: 10.1007/978-3-319-02447-9_58);

- Kirik E., Malyshev A. On validation of SigmaEva pedestrian evacuation computer simulation module with bottleneck flow // J. of Comp. Science, 5, 2014. – P. 847-850 (DOI: 10.1016/j.jocs.2014.05.002);

- Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Минаков А.В. Современные возможности CFD кода SigmaFlow для решения теплофизических задач // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2010. Выпуск 2(4). С. 117-122;

- Gavrilov, A.A., Dekterev, A.A., Sentyabov, A.V. Modeling of swirling flows with coherent structures using the unsteady Reynolds stress transport model // Fluid Dynamics 50(4), 2015. - P. 471-482.

- Gavrilov, A.A., Sentyabov, A.V., Dekterev, A.A., Hanjalić, K. Vortical structures and pressure pulsations in draft tube of a Francis-99 turbine at part load: RANS and hybrid RANS/LES analysis // International Journal of Heat and Fluid Flow 63, 2017. - P. 158-171;

- Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Сегрин С.Н. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях // Пожарная безопасность. № 4. 2007. - С. 49-58.

10. Замечания и предложения

Предложения

Добавить возможности: установки датчиков по дыму и температуре для моделирования автоматического запуска системы дымоудаления; задания вентиляционных решеток, визуализации расчетов в вертикальных срезах.

11. Выводы

Использование программы «Сигма ПБ» позволяет:

- определить время достижения опасными факторами пожара предельно допустимых значений с помощью полевого метода моделирования пожара в здании (расчетное ядро SigmaFire, разработанное совместно с Институтом теплофизики им. Кутателадзе СО РАН);

- определить расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий с использованием математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания (расчетное ядро SigmaEva, разработанное совместно с Институтом вычислительного моделирования СО РАН);

- определить вероятность эвакуации по путям эвакуации и из здания в соответствии с Приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» и Приказом МЧС России № 404 от 10 июля 2009 г. «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах»;

- представить исходные данные и результаты расчета сценариев в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска»;

- определить расчетную величину индивидуального пожарного риска в зданиях в соответствии с приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» и Приказом МЧС России № 404 от 10 июля 2009 г. «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах».

Профессор кафедры надзорной деятельности
Учебно-научного комплекса
организации надзорной деятельности
к.т.н., доцент

И.А. Лобаев

Доцент кафедры надзорной деятельности
Учебно-научного комплекса
организации надзорной деятельности
к.т.н.

Е.А. Ягодка