

ОБЗОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОЧАГА ПОЖАРА

Тимаков П.И.

*Тимаков Павел Иванович – магистрант,
кафедра криминалистики и инженерно-технических экспертиз,
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург*

Аннотация: в статье приводится обзор математических программ для расчета опасных факторов пожара.

Ключевые слова: опасные факторы пожара, интегральная модель пожара, зонная модель прогнозирования динамики ОФП, полевая модель прогнозирования динамики ОФП.

Пожарная обстановка на территории Российской Федерации указывает на необходимость постоянного развития и совершенствования средств противопожарной профилактики и пропаганды: за последние пять лет количество пожаров возросло в 3,3 раза, материальный ущерб от пожаров увеличился в 1,6 раза, количество погибших в пожарах увеличилось на 6,4 % [1 – 3], более того такие кричащие случаи, как пожары в клубе «Хромая лошадь» (2009, Пермь, погибло 156 чел.), ТРЦ «Зимняя вишня» (2018, Кемерово, погибло 60 чел. (41 – дети)), указывают на необходимость привлечения в отрасль противопожарной защиты населения инновационных подходов и решений, направленных на снижение пожарного риска. Данное обстоятельство отмечено высшим руководством страны (Указ Президента Российской Федерации от 16 октября 2019 № 501 [4]), согласно указанию которого сформирована федеральная стратегия [4], предусматривающая привлечение в сферу защиты населения аппаратно-программных комплексов, направленных на моделирование и поиск оптимизационных решений по организации противопожарной деятельности специализированным службам и органам страны.

Современные средства цифровизации и модельного анализа позволяют выполнить оптимизацию объёмно-планировочных, объёмно-пространственных, а также технолого-конструктивных решений строительных объектов, организовать эффективную сеть эвакуационных путей и выходов, получить адекватные локальным условиям решения противопожарной безопасности. Также использование современных достижений программных продуктов в области анализа причин возгорания, динамики пожара на объекте возгорания, поиска и установления очага возгорания позволит получить предметные модельно-аналитические сведения, которые имеют высокую применимость не только для целей судебных пожарных экспертиз, но и для поиска решений, направленных на повышение противопожарной профилактики. Основу программно-численных моделей составляют системы математических уравнений, описывающие физику исследуемых процессов, вследствие чего существует актуальная задача в развитии математического аппарата для учёта всех возможных физических проявления опасных факторов пожара с целью развития и оптимизации сферы программных продуктов для моделирования пожаров и пожароопасных ситуаций.

В настоящее время в сфере противопожарной профилактики существует опыт применения численно-модельных программных комплексов [5 – 7], осуществляющих модельную оценку динамики развития опасных факторов пожара (ОФП), в основе которых положена фундаментальная математическая теория, разработанная к.т.н. проф. Ю.А. Кошмаров [8], получившая в последствии государственную поддержку в виде систематизированного нормативно-регуляторного документа [9], позволяющего от определённых условий моделирования применять конкретную математическую модель. Однако, как отмечено авторами [10], представленные модели не носят универсальный характер и требуют последующего исследования и развития, ввиду упрощения ряда физических проявлений, таких как динамика скорости газификации, динамика отношения теплового потока в очаге горения. Таким образом, существует практическая необходимость в формировании системного подхода в выборе и назначении оптимального программного комплекса, позволяющего получить приближенные, к реальности данные относительно динамики ОФП на объекте возгорания с учётом разработанной математической теории прогнозирования параметров пожаров и возгораний.

Опасные факторы пожара – химические явления, которые проявляются в процессе возгорания и пожаров, и носят опасный характер как для, непосредственно, объектов возгорания, так и для людей, пребывающих на данных объектах на протяжении пожароопасной ситуации.

ОФП, в соответствии с классификацией 123-ФЗ [11], ГОСТ 12.1.004-91 [12], проявляются такими характерными факторами, как: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму [13].

Динамика ОФП описана математической теорией, в которую внес большой вклад к.т.н. проф. Ю.А. Кошмаров [8], предполагающая использование трёх выделенных детерминантных математических моделей [13]:

– интегральная модель пожара позволяет получить информацию, т. е. сделать прогноз о средних значениях параметров состояния среды в помещении для любого момента развития пожара. При этом для того чтобы сопоставлять (соотнести) средние (т. е. среднеобъемные) параметры среды с их предельными значениями в рабочей зоне, используются формулы, полученные на основе экспериментальных исследований пространственного распределения температур, концентраций продуктов горения, оптической плотности дыма и т. д.

– зонная модель прогнозирования динамики ОФП: выделение характерных зон развития ОФП и оценка их численного значения на базе совокупности систем уравнений, дифференцируемых по времени пожара с искомыми функциями локализации координат характерных зон процесса возгорания. Модель применима для помещений большого объема, в котором очаг возгорания имеет размеры значительно меньше размеров объекта возгорания. Для моделирования динамики ОФП в разных характерных зонах объекта возгорания;

– полевая модель прогнозирования динамики ОФП: получение численных значений ОФП для любой локальной точки (в объеме объекта возгорания) с доступностью любой точки хронометража пожара с высоким уровнем детализации получаемых значений, на базе детализированной применительно к физической картине процесса возгорания сложной системы уравнений и производных, описывающих пространственно-временную динамику теплофизических процессов, сопровождающих проявление ОФП, используя базовые физические закономерности (закон Стокса, закон Фурье, закон диффузии, закон радиационного переноса, пр.). Модель применима для объектов и систем объектов сложной конфигурации, различного геометрического соотношения габаритных размеров. Для случаев, в которых отсутствует возможность применения интегральной модели и зонной модели.

Использование описанных моделей применительно прогнозированию динамики ОФП на реальных объектах возгорания (либо близким к реальным объектам) является крайне трудоёмким процессом, вследствие чего получены ряд программно-численных адаптаций вышеуказанных моделей, на базе которых в настоящее время развивается сфера соответствующих отраслевых программных комплексов [14, 15]. Обзор адаптивных моделей представлен в таблице 1 (по типу математических моделей) [14, 15]. Представленные адаптивные модели являются основанием для разработки современных программных продуктов для прогноза динамики ОФП [16 – 18].

Таблица 1. Обзор адаптивных моделей [14, 15]

Наименование адаптивной модели, авторство	Применяемая математическая модель	Особенности программно-математического аппарата
BISTRA, Physibel (Бельгия)	Интегральная модель	Формирование изополей температурного градиента для объекта произвольной конфигурации в двухмерном пространстве с учётом нелинейного метода расчёта лучистого теплообмена. Температурный градиент определяется на основании метода конечных разностей Кранка-Николсона
BRANZ TR8/TR9, BRANZ (Новая Зеландия)	Интегральная модель	Прогноз воздействия ОФП на железобетонные конструкции
SAFIR, Université de Liège (Бельгия)	Интегральная модель	Прогноз воздействия температурных полей, вызванных возгораниями на строительные системы и конструкции объекта возгорания с формированием изополей температурного градиента, определяемого на основании метода конечных разностей
VOLTRA, Physibel (Бельгия)	Интегральная модель	Формирование изополей градиента теплового потока внутри трёхмерного тела различной конфигурации с учётом температурного градиента и теплопроводности материала моделируемого тела. Температурный градиент определяется на основании метода конечных разностей Кранка-Николсона
BRANZFIRE, BRANZ (Новая Зеландия)	Зонная модель	Двухзонная модель (для расчёта параметров пожара в верхней и нижней зонах), используемая для прогноза динамики ОФП непосредственно в помещении очага возгорания и смежных комнатах (ограничение – до 10 комнат). Используется математический аппарата на основании системы дифференциальных уравнений производных от законов сохранения массы и энергии, в результате программного вычисления которого получают численные значения ОФП
CFAST/FAST, NIST (США)	Зонная модель	Двухзонная модель (для расчёта параметров пожара в верхней и нижней зонах), используемая для оценки динамики дымообразования вследствие проявления ОФП. Используется математический аппарата на основании системы дифференциальных уравнений производных от законов сохранения массы и энергии, в результате программного вычисления которого получают численные значения ОФП
FDS, NIST (США)/ VTT (Финляндия)	Полевая модель	Используется для прогноза динамики ОФП на основании математического аппарата, описывающего гидродинамическую модель движения воздушных потоков на объекте возгорания: – динамика низкоскоростных воздушных потоков в среде возгорания

Параметр	ПК Пиротек, СИТИС (Екатеринбург)	RiskManager, НОРДСОФТ (Иваново)	ПК FireCat, Thunderhead Engineering (США)	Fenix ³ , Современные программные технологии (Нижний Новгород)	FireGui de, Пожарные риски (Иваново)	Urban, Инвест Лайн (Краснодар)	Фогар д, Интернэксперт (Москва)	Сигма 3к-ПБ, Эксперт (Красноярск)
пожара для одного объекта возгорания (в одном рабочем проекте)								

По результатам аналитического сравнительного анализа по специфическим программным параметрам для ПК, используемых в расчётах динамики ОФП на территории Российской Федерации (таблица 2), наиболее перспективным является ПК FireCat, который в составе программных продуктов: PyroSim, Pathfinder, FireRisk, PromRisk имеет все адаптивные программные возможности, необходимые для производства современных пожарных расчётов в соответствии с требованиями методик [9, 19].

Список литературы

1. *Полевин П.В.* Пожары и пожарная безопасность в 2020 году [Текст]: Статистический сборник / П.В. Полевин [и др.]. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 12 с.: ил. 5.
2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 г. [Текст]: Государственный доклад / МЧС России. М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 264 с.
3. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: mchs.gov.ru/ (дата обращения: 27.10.2021).
4. Стратегия в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 16 октября 2019 № 501 «О Стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года» / Президент Российской Федерации. – Собрание законодательства Российской Федерации, N 42 (ч. III), 21.10.2019, ст. 5892 // Официальный интернет-портал правовой информации: Режим доступа [сайт]: pravo.gov.ru, 16.10.2019, N 0001201910160046; docs.cntd.ru/ (дата обращения: 27.10.2021).
5. *Сухотина М.А.* Программные комплексы, используемые для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Текст] / М.А. Сухотина, Н.В. Тихонова // Пожаровзрывобезопасность, 2012. № 4. Т. 21. С. 46–49.
6. *Яковлев В.В.* Перспективы развития программных комплексов расчета пожарного риска и проектирования процессов пешеходной динамики в условиях пожара [Текст] / В.В. Яковлев, М.В. Гравит, О.В. Недрышкин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2014. № 1 (190). С. 224–230.
7. Прогнозирование опасных факторов пожара: Учебное пособие / Ю.Д. Моторыгин, В.А. Ловчиков, Ф.А. Дементьев, Ю.Н. Бельшина. СПб.: Астерион, 2013. 108 с.
8. *Моторыгин Ю.Д.* Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / Под общей редакцией В.С. Артамонова. СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2011. 184 с.
9. *Моторыгин Ю.Д.* Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность, 2016. Т. 25. № 9. С. 45-51.
10. *Ярош А.С.* Анализ математических моделей развития опасных факторов пожара в системе зданий и сооружений [Текст] / А.С. Ярош [и др.] // Вестник, 2019. № 1. С. 50–56.
11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: Федеральный закон (ФЗ) от 22 июля 2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 30 апреля 2021 года)» / Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. Собрание законодательства Российской Федерации. № 30. 28.07.2008 (ч. I), ст. 3579 // Российская газета. N 163, 01.08.2008 // Парламентская газета, N 47-49, 31.07.2008 (без приложения) // Режим доступа [сайт]: docs.cntd.ru/ (дата обращения: 27.10.2021).
12. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1) [Текст]: ГОСТ (Государственный стандарт) / Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР. – Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2006 // Режим доступа [сайт]: docs.cntd.ru/ (дата обращения: 27.10.2021).

13. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: Учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 126 с.
14. *Алексеева Е.И.* Обзор компьютерных программ моделирования динамики пожара в зданиях [Текст] / Е.И. Алексеева // БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ, 2017, Лесниково, 25–26 мая 2017 года, 2017. С. 377–380.
15. *Свирин И.С.* Обзор моделей распространения пожара в зданиях [Текст] / И С. Свирин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2013. № 6. С. 114–129.
16. *Невдах В.В.* Динамика факторов пожара, детектируемых извещателями, в закрытом помещении: моделирование [Текст] / В.В. Невдах // Приборы и методы измерений, 2015. № 2. Т. 6. С. 239–248.
17. *Сысоева Т.П.* Применение компьютерного моделирования динамики распространения пожара для установления месторасположения очага пожара [Текст] / Т.П. Сысоева, С.Ф. Лобова, А.А. Кухарев // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2019. С. 121–131.
18. *Сухотина М.А.* Программные комплексы, используемые для определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и сооружениях и строениях различных классов функционально пожарной опасности [Текст] / М.А. Сухотина, Н.В. Тихонова // Пожаровзрывобезопасность, 2012. № 4. Т. 21. С. 46–49.
19. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Текст]: Приказ МЧС России от 10 июля 2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14 декабря 2010 года)» / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Пожарная безопасность, N 3, 2009 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. N 37, 14.09.2009 (без приложений к Методике) // Режим доступа [сайт]: docs.cntd.ru/ (дата обращения: 27.10.2021).