

Инженерно-технические науки

Engineering and technical sciences

УДК 614.84

ОБЗОР ПРАКТИЧЕСКИХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБСТАНОВКИ НА ПОЖАРЕ

П.В. Данилов, К.В. Жиганов, А.Р. Дашевский
ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»

В данной статье рассмотрены имитационные и аналитические математические модели прогнозирования и анализа обстановки при пожаре, используемые как в теоретической, так и в практической деятельности соответствующих подразделений государственной противопожарной службы МЧС России, указаны их общие и отличительные черты. Также в статье приведен обзор существующих программных продуктов, как отечественных, так и зарубежных, направленных на расчет обстановки при пожарах. Приведены их описания и выявленные положительные и отрицательные черты.

Ключевые слова: противопожарная служба, модель, пожар, развитие пожара, окружающая среда, основной параметр пожара.

Исследования по оценке параметров обстановки имеют широкую научную базу, в которых указывается, что развитие пожара в помещении – сложный динамичный физико-химический процесс. Поэтому моделирование пожара, максимально приближенного к реальному, даже с использованием современных средств вычислительной техники потребует значительных временных издержек [4].

На практике предпочтительнее использование упрощенных способов расчета параметров пожара при помощи современных средств разработки программного и информационного обеспечения, на основе которого будет проводиться математическое моделирование оценки характеристик прогнозирования обстановки.

Математические модели могут быть имитационными и аналитическими.

Аналитические модели характеризуются тем, что исследуемый объект, а

также его свойства, описываются отношениями, то есть функциями в какой-либо из форм (явной или неявной). Описание проводится таким образом, что становится возможным непосредственно сделать необходимые выводы об изучаемом объекте и его свойствах, применяя соответствующий математический аппарат.

Модель зависимости температуры «стандартного» пожара от времени являлась одной из первых и простейших аналитических моделей пожара. Такая модель используется при испытании строительных конструкций на огнестойкость. В соответствующей сфере деятельности ее также называют стандартной кривой «температура – время» и имеет вид таблицы или эмпирической формулы. В отечественной литературе ее часто записывают в виде:

$$T = T_0 + 345 \cdot \lg(8x + 1), \quad (1)$$

где x – время, мин;

T_0 – начальная температура, °С;

T – текущая температура пожара, °С.

Отличительные черты имитационных моделей от аналитических – это то, что имитационные модели представляют собой совокупность различных модулей и программ для ЭВМ, с помощью которых выполняются какие-либо процедуры и алгоритмы. Данные процедуры и алгоритмы, в свою очередь, должны описывать свойства и динамику рассматриваемого процесса. Имитационные модели обычно используют тогда, когда построить аналитические модели, для изучаемого объекта достаточно простых и удобных для исследования, невозможно или не удастся [1].

Получение результатов взаимодействия основных параметров пожара и параметров окружающей среды за период времени является обстановкой, складывающейся в процессе прогнозирования обстановки. Данные результаты представляют собой сумму событий и явлений (ожидаемых или наступивших), которые проходят в процессе горения (пожара). Если взять во внимание законы динамики развития пожара, появляется возможность составить модель прогнозирования обстановки с возможностью предвидения ее изменений в ходе дальнейшего развития пожара.

Как показывают исследования, в процессе пожара происходит взаимодействие основных параметров пожара друг с другом, однако, не имея взаимодействия с окружающей средой, указанные параметры не могут воздействовать на процессы развития и распространения пожара [2].

В связи с вышеизложенным, необходимо указать параметры, характеризующие окружающую среду:

– метеорологические параметры. К таким параметрам относятся температура, влажность, давление, видимость (степенью прозрачности атмосферы), а также скорость и направление приземного ветра;

– пожарная нагрузка. В данных параметрах рассматриваются горючесть, температура самовоспламенения и воспламенения, влажность и плотность веществ и материалов, содержание летучих веществ, критические тепловые потоки, вызывающие их воспламенение или самовоспламенение от лучистой теплоты, взрывоопасность, удельная пожарная нагрузка, а также высота и плотность распределения горючих материалов по площади и в объеме;

– условия газообмена и распространения пожара. К таким можно отнести площадь и взаимное расположение дверных и оконных проемов, высоту помещения, расстояние между центрами вытяжных и приточных проемов, этажность, назначение и особенности объемно-планировочных и конструктивных решений здания, характеристику имеющихся систем противодымной защиты;

– окружающая местность и застройка. К ним относятся рельеф и особенности примыкающего к зданиям почвенного покрова; огнестойкость и этажность зданий и сооружений, противопожарные разрывы, ширина улиц, плотность застройки, пожаро-взрывоопасность производства [3].

Если рассматривать пожары внутри зданий, то метеорологические параметры и параметры окружающей местности и застройки не оказывают прямого влияния на развитие пожара. С другой стороны, пожарная нагрузка, условия газообмена и развития пожара, напротив, оказывают огромное влияние на процесс закрытого горения.

Существуют различные трактовки понятия «продолжительности пожара», «времени тушения» пожара, которые в тех или иных целях используются в специальной литературе. Например, проф. В.А. Пчелинцев предлагает использовать для ориентировочной оценки продолжительности любого пожара соотношение:

$$\tau = N/n, \quad (2)$$

где N – количество горючего вещества, кг/м²;

n – скорость выгорания данного вещества, кг/(м² ч).

С других позиций трактует время тушения пожара проф. И.М. Абдурагимов. В своих работах он устанавливает теоретические зависимости между интенсивностью подачи различных огнетушащих средств, их общим расходом и временем прекращения горения на пожаре.

Практические и научные исследования показали, что продолжительность реального пожара может колебаться в значительных пределах, однако в большинстве случаев она не превышает 2-3 часа. При этом в квартирах жилых зданий продолжительность пожаров редко превышает 1-1,5 часа, при пожарах в подвальных помещениях – 5-6 часов, а пожары в театральном здании и крупных универсальных магазинах могут развиваться 2-3 и более часов. Здесь решающую роль играет эффективность организации и деятельности противопожарной службы: обнаружение пожара, время прибытия к месту пожара, наличие и достаточность ресурсов и др.

Следующий подход к оценке расчетной продолжительности тушения пожара носит вероятностно-статистический характер и связан с исследованием статистическими методами процессов тушения пожарными подразделениями большого числа реальных пожаров. Так, продолжительность тушения конкретного пожара зависит от большого числа разнообразных факторов, совокупность действий которых не позволяет однозначно предсказать значение этой величины в каждом случае. На основе статистического исследования достаточно большого числа пожаров можно дать вероятностную оценку продолжительности тушения пожара. При этом продолжительность тушения пожара нужно рассматривать как непрерывную случайную величину, опи-

сываемую соответствующей функцией распределения. Статистические исследования показывают, что временные характеристики пожаротушения описываются экспоненциальным законом распределения [5].

Из практических систем моделирования параметров прогнозирования обстановки, в настоящее время разработаны две компьютерные имитационные системы: «КОСМАС», также известная, как компьютерная система моделирования аварийных служб, и «ТИГРИС» – тренажер, игра, исследование.

Система «ТИГРИС» представляет любой населенный пункт в виде графа реальной уличной сети, к которой привязаны депо (станции), с размещенной в них техникой, а также множество реальных объектов, представляющих особый интерес для исследуемой или проектируемой системы. Это обстоятельство позволяет более детально моделировать процессы функционирования противопожарной службы городов.

«КОСМАС» также представляет населенный пункт в виде графа уличной сети и позволяет решить широкий спектр задач. Например, изменяя число депо, их расположения, количество и типы размещенной в них техники, границы районов выезда, варианты диспетчеризации, скорости движения автомобилей в разных частях города, плотность потоков вызовов в целом по городу и в отдельных его районах, возможно рассчитать и получить характеристики процессов функционирования противопожарных служб субъекта и выбрать наиболее рациональные и экономичные варианты ее организационной структуры.

Во время проведения имитационных экспериментов можно манипулировать свободной и занятой техникой, отправлять ее на заданные объекты, на патрулирование, передислоцировать в другие депо, получать оперативную информацию о состоянии тех или иных де-

по, техники, объектов и т.п. Очевидно, что указанные элементы реального процесса функционирования экстренных служб города невозможно учесть и отобразить в аналитических моделях. Вместе с тем, потоки вызовов, временные характеристики деятельности этих служб, использование техники моделируются в данных системах на основе выявленных вероятностно-статистических закономерностей, присущих их деятельности.

Имитационные системы «КОСМАС» и «ТИГРИС» хорошо дополняют друг друга, но имеют разное предназначение. Если «КОСМАС» наиболее удобен для проведения экспертизы деятельности экстренных служб субъекта и разработки проектов их реорганизации, то «ТИГРИС» целесообразно использовать для обучения и тренинга персонала этих служб. При этом с помощью «ТИГРИС» можно моделировать разнообразные чрезвычайные ситуации, возникающие в городе, и детально анализировать реакцию на них различных городских служб.

Указанные программные системы прошли широкую апробацию и хорошо зарекомендовали себя для решения большинства задач процессов функционирования подразделений ГПС. Следует отметить, что эти задачи лежат в плоскости организационного проектирования инфраструктуры противопожарной службы. Поэтому полученные с их помощью рекомендации требуют частичной или полной реорганизации ГПС, в масштабе местного гарнизона обусловленной: передислокацией существующих подразделений ГПС; созданием новых пожарных частей; изменением организационной и штатной структуры противопожарной службы, что даже в условиях экономического роста требует серьезных финансовых потребностей. С другой стороны, большой практический интерес представляет моделирование оценки характеристик прогнозирования обстановки в условиях реально развивающегося пожа-

ра в режиме реального времени, которое при использовании рассмотренных программных комплексов не представляется возможным.

Анализируя программные системы, наибольший интерес вызывает программный комплекс автоматизированное рабочее место «Диспетчер» и программа «Расчет параметров пожара и тушения».

Программный комплекс «Диспетчер» предназначен для автоматизации работы диспетчеров государственной противопожарной службы в Центрах оперативного управления силами и средствами. Предоставляет помощь в принятии решений диспетчерам противопожарной службы, позволяет диспетчеру владеть полной информацией о состоянии сил и средств гарнизона, находящегося в боевом расчете и резерве в любой момент времени.

Однако сформированная база статистических данных в дальнейшем не анализируется и использование ее в качестве исходной информации для построения моделей оперативной деятельности подразделений государственной противопожарной службы и оценки параметров прогнозирования обстановки объектов защиты не проводится.

Следующая программа «Расчет параметров пожара и тушения» предназначена для проведения расчета сил и средств при оперативно-тактическом изучении объектов, разработке оперативных планов, подготовке пожарно-тактических учений и тренировок. Силы и средства можно рассчитать и после тушения пожаров в процессе их исследования, когда необходимо оценить действия руководителя тушения пожара и подразделений.

Недостаток данного программного обеспечения заключается в следующем:

- время свободного развития пожара задается пользователем;
- при расчете площади пожара геометрия его развития также выбирается

пользователем и при этом не учитывается возможность перехода одной формы развития в другую, как на реальных пожарах;

– графическое представление пожара показывает его развитие только в объеме одного помещения, без учета дверных проемов и степени их огнестойкости;

– все необходимые параметры прогнозирования обстановки рассчитываются вручную.

Из анализа зарубежного опыта по теме исследования в настоящее время существуют десятки моделей пожаров, разработанных специалистами Австралии, Великобритании, Германии, Канады, России, США, Швеции, Японии и других стран. Например, в Лаборатории строительных и пожарных исследований Национального Института Стандартов и Технологии (НИСТ) США за последние годы созданы и активно используются следующие полевые модели, установленные на персональных компьютерах:

ASCOS (Analysis of Smoke Control System), ASET (Available Safe Egress Time), DETACT (Detector Activation), FAST (Fire And Smoke Transport), FIREFORM (Fire Formulae), FPETOOL (Fire Protection Engineering Tool), HAZARD-1; LAVENT (Link Activated Vent). Из перечисленных моделей наиболее известными в США являются FPETOOL и HAZARD-1.

FPETOOL представляет пакет прикладных программ для относительно простых инженерных формул и моделей, используемых для оценки потенциальной пожарной опасности здания. FPETOOL позволяет оценивать температуру в той или иной точке помещения, содержание кислорода, концентрацию CO и CO₂ в дыме и горячих газах продуктов горения, время воспламенения различных предметов, эффективность спринклеров и детекторов и др. Последняя версия FPETOOL позволяет также анализировать течение

дыма в длинном коридоре, уменьшение скорости горения под действием спринклера, параметры среды в зонах безопасности людей.

HAZARD-1 одна из наиболее популярных в США и за их пределами и достаточно эффективная модель пожара в здании, которая получает все большее применение на практике. Ее последние версии позволяют анализировать пожары в здании, состоящем из 15 комнат. Используя HAZARD-1, оператор ПЭВМ задает в качестве входных переменных параметры пожара, особенности его развития; параметры здания, его характеристики; всех людей, находящихся в здании, и их местоположение; размещение датчиков и др. Модель вычисляет и предсказывает: распространение эффектов пожара во времени по помещениям здания (температура, дым, газы, изменение кислородного индекса); распределение реакции всех датчиков во времени; действия, реакции и выживание или гибель каждого человека, находящегося в здании.

В Великобритании на протяжении последних десятилетий Центр пожарных исследований, используя методы вычислительной динамики жидкостей (Computational Fluid Dynamics Techniques (CFD)), последовательно разрабатывает и улучшает две научно-исследовательские полевые модели пожаров: Jasmine и Sofie.

Jasmine – это компьютерная программа, использующая методы CFD и предназначенная для анализа распространения дыма и продуктов горения в помещениях и в окружающем пространстве. Она использует метод конечных (контрольных) объемов для решения уравнений сохранения массы, момента количества движения (импульса), тепла и химических частиц. Метод шести потоков используется для моделирования лучистого теплопереноса. Программа позволяет решать трехмерные стационарные и нестационарные задачи.

Sofie позволяет моделировать пожары в одном или нескольких смежных помещениях с произвольными проемами (двери, окна, вентиляционные проемы), преградами, источниками тепла, вентиляторами, внешними профилями ветра. На границах области могут быть заданы значения давления или указаны условия симметрии. С момента своего создания модели Jasmine и Sofie прошли обширную программу проверки и достаточно успешно использовалась для решения многочисленных практических задач пожарной безопасности. К ним можно отнести анализ реальных пожаров в жилых помещениях, больших залах, складских помещениях, туннелях, корпусах судов.

Вместе с тем, имеются и критические замечания, связанные, прежде всего, с недостаточной степенью точности большинства этих моделей, что, конечно же, является, главным образом, следствием принципиальной неполноты современных научных представлений о пожаре, его динамике, турбулентности и многом другом. Кроме того, рассмотренное программное обеспечение функционально не связано с процессами пожаротушения и не учитывает ряд временных характеристик развития пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов П.В., Жиганов К.В., Пронин А.В., Вивчарь И.С. Применение функционально-технологической концепции математического моделирования для разработки управленческих решений при ликвидации // Молодой ученый. - Казань, 2016. № 27 (131). С. 386-389.
2. Данилов П.В., Харламов А.В., Жиганов К.В. Формализация таксономических понятий, определяющих иерархическую классификацию потенциально опасных объектов с угрозой возникновения техногенных ЧС // Пожарная и аварийная без-опасность Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. – Иваново, 2015. С. 362-365.
3. Данилов П.В., Жиганов К.В. Использование математического моделирования при исследовании процессов развития и тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – Воронеж: Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016. Т. 1. № 1 (7). С. 142-144.
4. Данилов П.В., Титова Е.С., Кокурин А.К., Колесова А.А.К вопросу о применении риск-ориентированного подхода при авариях и катастрофах на потенциально опасных объектах // Современные пожаробезопасные материалы и технологии материалы Международной научно-практической конференции, Иваново. – 2017, с. 386-391.
5. Зейнетдинова О.Г., Шарабанова И.Ю., Шипилов Р.М., Данилов П.В. Особенности прогнозирования пожарной опасности лесных массивов центральной части России // Вестник воронежского института ГПС МЧС России, Воронеж. – 2018, с. 62-64

REVIEW OF PRACTICAL AND THEORETICAL APPROACHES TO ANALYSIS AND FORECASTING THE SITUATION ON THE FIRE

P.V. Danilov, K.V. Zhiganov, A. R. Dashevsky

This article describes the simulation and analytical mathematical models of forecasting and analysis of the situation in a fire, used in both theoretical and practical activities of the relevant departments of the state fire service of the EMERCOM of Russia, their common and distinctive features are indicated. The article also provides an overview of existing software products, both domestic and foreign, aimed at calculating the situation in case of fires. Their descriptions and identified positive and negative features are given.

Key words: fire service, model, fire, fire development, the environment, the main parameter of the fire.

References

1. Danilov P. V., Zhiganov K. V., Pronin A.V., Vivchar I. S. Application of the functional and technological concept of mathematical modeling for the development of management decisions in liquidation // Young scientist. - Kazan, 2016. No. 27 (131). Pp. 386-389.
2. Danilov P. V., Kharlamov A.V., Zhiganov K. V. Formalization of taxonomic concepts that determine the hierarchical classification of potentially dangerous objects with the threat of technogenic emergencies // Fire and emergency safety materials Of the X International scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the Ministry of emergency situations of Russia. - Ivanovo, 2015. Pp. 362-365.
3. Danilov P. V., Zhiganov K. V. Use of mathematical modeling in the study of processes of development and extinguishing of forest fires // Fire safety: problems and prospects. - Voronezh: Voronezh Institute of GPS EMERCOM of Russia, 2016. Vol. 1. No. 1 (7). Pp. 142-144.
4. Danilov P. V., Titova E. S., Kokurin A. K., Kolesova A. A. On the issue of applying a risk-oriented approach in accidents and catastrophes at potentially dangerous objects // Modern fire-safe materials and technologies materials of the International scientific and practical conference, Ivanovo. - 2017, pp. 386-391.
5. Zaynetdinova O. G., Sanction I. Yu., Shipilov, R. M., Danilov P. V. forecasting of fire danger of forest areas is the Central part of Russia // Vestnik of Voronezh Institute of state fire service of EMERCOM of Russia, Voronezh. - 2018, pp. 62-64