
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОЦЕНКИ ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИАС «БЕЗОПАСНОСТЬ»

Александр Джулай, Артем Быченко, Андрей Левченко

Аннотация: В статье рассмотрены задачи идентификации оценки противопожарного состояния объектов, используемой при разработке банка знаний системы поддержки принятия решений «Безопасность» и предназначенной для информационно-консультативного сопровождения процессов принятия решений руководителями пожарных подразделений.

Ключевые слова: идентификация, банк знаний, пожарная безопасность

ACM Classification Keywords: H.4 Information Systems Applications, J.6 Computer-aided Engineering

Conference: The paper is selected from XVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009

Аспекты проблемной области

Для обеспечения высокого уровня защиты населения пожарные подразделения должны использовать результаты прогнозирования. Особенно важно это для Украины в условиях ограниченности ресурсов. Использование методов прогнозирования, разработка и создание механизмов принятия решений, использующих результаты прогнозирования, и соответствующие способы реагирования приобретают в современных условиях особенную актуальность.

Каждый год в Украине регистрируют, в среднем, более 40000 пожаров, из которых значительная часть происходит в жилом секторе. Ведение и анализ такой большой информационной базы могли бы быть использованы для получения новых знаний, прогнозирования количества и структуры будущих пожаров и выполнения мероприятий по их эффективному предотвращению и ликвидации.

Разработку и реализацию такой базы знаний целесообразно разделить на две основных части: параметры распространения, исследование пожаров и оценка пожарной безопасности объекта.

Нечеткие базы знаний, как известно, отображают такую структуру: «если А, то Б». При этом и А, и Б в действительности являются функциями принадлежности, определяющими уверенность эксперта в том, что входной фактор и результирующая характеристика (время, скорость распространения огня) получают значения из определенных ограниченных множеств. База знаний может содержать значительное количество правил, которые определяются детализацией и точностью экспертных предположений. Функции принадлежности в такой базе представлены своими параметрами, количество которых определяется их формой. Традиционно используют треугольные, трапециевидные и гауссовские функции принадлежности. Расчеты в последнем случае упрощаются, но их получить и верифицировать достаточно сложно.

Постановка и решение задач

Скорость распространения и последствия пожаров на объектах определяют актуальность и необходимость разработки соответствующих моделей и использования моделирования для определения наиболее вероятных направлений путей и времени распространения огня. В работе [1] определены основные факторы, которые влияют на скорость развития пожара и изменение его периметра. Первой

задачей, которую необходимо решать при создании информационно-аналитической системы моделирования процессов развития пожаров, является формирование базы знаний. Она должна содержать статистические данные о прошедших пожарах, нормативных величинах, экспертных данных и данных, которые определяют размещение определенных объектов.

Значительная часть таких факторов имеет субъективный характер происхождения, что определяется:

- неполнотой данных, связанной с невозможностью осуществить измерение в критических условиях, а также их потерей;
- неопределенностью, которая возникает благодаря интервальному заданию множества значений параметров и экспертным предположением о возможных областях их изменения.

Известно, что прогнозирование базируется на анализе ретроспективной информации и идентификации искомой зависимости. В случае особо опасных объектов это невозможно, поскольку каждый объект является нетипичным, площадь и периметр пожара достаточно большие и его описание, в форме пригодной для расчетов, чаще всего, отсутствует. Поэтому традиционно используются справочные данные о скорости распространения пожара в помещениях в зависимости от их типа, скорости выгорания материалов, температуре пламени, влияющем на разрушение конструкций и веществ, экспертные оценки [2]. В критических условиях учесть все значимые факторы, которые влияют на скорость распространения огня и его направление, значения разнородных констант достаточно тяжело, поэтому экспертные оценки необходимы, в первую очередь, для того, чтобы учесть состояние материала, по которому распространяется огонь, а также наличие внутренних и внешних факторов, влияющих на его скорость. Разнотипность значений факторов, критические условия вызывают значительные расхождения экспертных заключений, что осложняет принятие решений.

Таким образом, имеем задачу идентификации зависимости:

$$V = F(V_l, V_m, T_f, T_p, X_{in}, X_{out}) \quad (1)$$

где V_l – линейная скорость распространения огня в помещениях определенного типа ($V_l \in [a, b]$),

V_m – средняя скорость выгорания материала ($V_m = const$),

T_f – температура пламени горения материала ($T_f \in [t_1, t_2]$),

T_p – температура плавления конструкции ($(T_p \in [q_1, q_2]) \vee (T_p = q)$),

X_{in}, X_{out} – внутренние и внешние факторы, соответственно.

Очевидно, что каждый из параметров V_l, V_m, T_f, T_p зависит от X_{in}, X_{out} . Неявным образом эти зависимости присутствуют в экспертных оценках, которые являются решающими в процессах принятия решений при пожаротушении. В то же время, такой субъективизм, как было указано выше, не способствует оптимизации выбора главного направления пожаротушения и распределения сил и средств, в связи с чем, предлагаем использовать нечеткие базы знаний для идентификации и прогнозирования скорости распространения огня.

Производной от задачи (1) является задача идентификации времени достижения огнем определенной точки

$$T_{x,y} = G(V, S) = G(V_l, V_m, T_f, T_p, X_{in}, X_{out}, S), \quad (2)$$

где S – путь распространения огня до точки с координатами (x, y) . Очевидно, что задача (2) является более общей и применимой для поддержки принятия решений при пожаротушении, поскольку, в отличие

от задачи (1), в ней учтено наличие препятствий на пути пожара, разнотипность помещений и другие факторы.

Следующим этапом после формирования такой базы данных является идентификация зависимости (2). При этом возникает проблема работы с нечеткими множествами, функциями принадлежности и процедурами их структурной и параметрической идентификации. Стоит также учитывать то, что использование (2) базируется на представлении входной информации в нечетком виде, а также то, что необходимо интерпретировать результат, который будет иметь вид функции принадлежности. Важную роль играет решение задачи параметрической оптимизации функций принадлежности.

Идентификация зависимости (2) может быть выполнена при разных условиях и предположениях, среди которых основными являются такие:

1. Рассматриваются суждения одного эксперта.
2. Учитываются суждения многих экспертов с одинаковыми или неизвестными уровнями компетентности.
3. Суждения экспертов имеют разный уровень значимости (компетентности экспертов разные).
4. Путь распространения огня является однородным, то есть структура помещений и препятствий является неизменной независимо от его маршрута.
5. Пожар может распространяться разными маршрутами с разным количеством помещений и препятствий на его пути с учетом замедляющих и ускоряющих факторов.

На начальном этапе решения задачи идентификации (2) будем считать, что принятие решений зависит от одного эксперта, а путь распространения огня является однородным, то есть выполняются первое и четвертое условия. Поскольку эксперт один, то рационально предполагать, что его суждения о значении параметров, определяющих время распространения огня от точки до точки, описываются симметричными треугольными функциями принадлежности.

Для определения оценки противопожарного состояния объекта необходимо решить задачу идентификации. Исходными данными является статистическая информация о пожарах. Традиционно, осуществляя ее последовательный анализ, определялись с видом зависимости, то есть выполняли структурную идентификацию. Этот процесс отмечался значительным присутствием субъективизма и ограниченностью мощности множества потенциальных зависимостей. Решение другой подзадачи – параметрической идентификации традиционно базировалось на методе наименьших квадратов, одной из особенностей которого является необходимость проверки значительного количества требований и предположений. Решив вышеуказанные проблемы, можно утверждать об эффективном оценивании уровня пожарной безопасности. В соответствии с этапами системного анализа [3], выполним формализацию внутренних и внешних факторов, определяющих пожарную безопасность объектов. Выделим основные факторы первой группы: X_1 – дата построения; X_2 – количество этажей; X_3 – их планирование; X_4 – наличие подвалов и чердаков; X_5 – структурные особенности дома, имеющие отношение к особенностям развития, тушения и последствий пожара; X_6 – соответствие нормативным требованиям материалов и конструкции; X_7 – наличие и состояние путей эвакуации. К факторам, которые определяют противопожарное состояние объекта, отнесем такие: Z_1 – расстояние до ближайшей пожарной части; Z_2 – количество пожарных частей в 20-километровой зоне; Z_3 – степень укомплектованности ближайшего пожарного подразделения кадрами; Z_4 – укомплектованность средствами пожаротушения; Z_5 – наличие и вид противопожарного водоснабжения; Z_6 – диаметр водопровода; Z_7 – состояние

ближайших источников водоснабжения; Z_8 – давление в водопроводе; Z_9 – наличие первичных средств тушения; Z_{10} – степень удобства подъезда; Z_{11} – наличие погодноклиматических факторов, осуществляющих влияние на эффективность пожаротушения.

К исходным характеристикам, которые необходимо идентифицировать, принадлежат: Y_1 – количество огнетушащих веществ, которые были использованы; Y_2 – время развертывания сил и средств; Y_3 – время прибытия первого подразделения; Y_4 – время ликвидации пожара; Y_5 – убытки от пожара; Y_6 – ошибки пожарных подразделений.

Формализуем факторы как тройку элементов:

$$(Z, P, F), \quad (3)$$

где $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ – способы и средства пожарной защиты; P – механизм прогнозирования. Результатом использования P является прогнозирование возникновения пожара, который может произойти в интервале времени $t_1 > t$ и оценка вероятности того, что она произойдет. Областью значений функции F является отрезок $[0;1]$, причем:

- - $F(z, p) = 1$, если за время t_2 система пожарной защиты способна применить все средства, являющиеся адекватными угрозе;
- - $F(z, p) = 0$, если время применения является большим t_2 или адекватных средств нет;
- - $F(z, p) \in (0;1)$ – в промежуточных случаях.

Таким образом, задача (3) заключается в идентификации векторной зависимости:

$$Y = F(X, Z), \quad (4)$$

где $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_6)$, $X = (X_1, X_2, \dots, X_7)$, $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_{11})$. Отметим, что статистические данные являются зашумленными, поскольку процессы, связанные с вычислительными процедурами и оценкой ситуации, происходят в условиях временного цейтнота. Не выполняя тестирования на мультиколлинеарность, гетероскедастичность и автокорреляцию, согласно метода наименьших квадратов для исходных характеристик получены такие результаты:

Для Y_1 :

$$Y_1 = 0,59X_1 + 0,31X_2 + 6,33X_3 - 0,92X_4 + 4,88X_5 + 10,4X_6 - 3,78X_7 - 1,3Z_1 - \\ - 0,8Z_2 + 7,5Z_3 - 15Z_4 - 5,3Z_5 + 1,9Z_6 - 5,8Z_7 + 4,3Z_8 + 6,72Z_9 - 6Z_{10} - 12Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_1 = 22,98$.

Для Y_2 :

$$Y_2 = 0,3X_1 + 0,49X_2 - 0,2X_3 - 3,66X_4 + 2,4X_5 + 7,19X_6 - 1,33X_7 - 0,55Z_1 - \\ - 0,5Z_2 + 3,7Z_3 - 7Z_4 - 3,9Z_5 + 0,4Z_6 - 2,85Z_7 + 3,6Z_8 + 3,72Z_9 - 2,6Z_{10} - 6Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_2 = 11,9$.

Для Y_3 :

$$Y_3 = 0,35X_1 - 0,84X_2 - 1,55X_3 - 8,87X_4 + 8X_5 + 10X_6 + 1,7X_7 + 3,76Z_1 + \\ + 0,77Z_2 + 6,97Z_3 + 21Z_4 - 24Z_5 - 1,7Z_6 - 2Z_7 + 0,8Z_8 + 3Z_9 - 5,7Z_{10} - 2Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_2 = 22,3$.

Для Y_4 :

$$Y_4 = 1,6X_1 - 0,47X_2 + 0,93X_3 - 23,3X_4 + 7,4X_5 + 25X_6 + 17X_7 + 7,5Z_1 + \\ + 1,8Z_2 + 15Z_3 + 7Z_4 - 46Z_5 - 2,5Z_6 - 2,3Z_7 - 1,3Z_8 - 14Z_9 - 11Z_{10} - 10,8Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_2 = 50,9$.

Для Y_5 :

$$Y_5 = -0,1X_1 + 0,28X_2 - 8X_3 - 2,1X_4 - 1,3X_5 + 5,2X_6 + 3,12X_7 + 0,4Z_1 + \\ + 0,57Z_2 + 3,05Z_3 - 4,24Z_4 - 6,2Z_5 - 0,7Z_6 - 4Z_7 + 2Z_8 - 3Z_9 - 0,2Z_{10} - 2,3Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_2 = 14,2$.

Для Y_6 :

$$Y_6 = 0,1X_1 + 0,018X_2 + 1,12X_3 - 0,2X_4 + 0,85X_5 + 1,12X_6 - 0,46X_7 + 0,2Z_1 - \\ - 0,1Z_2 + 0,4Z_3 - 0,4Z_4 + 0,07Z_5 + 0,6 - 0,1Z_7 + 0,4Z_8 + 0,3Z_9 - Z_{10} - 0,8Z_{11}.$$

Среднее квадратичное отклонение на тестовой выборке $\sigma_2 = 4,6$.

Анализируя коэффициенты при переменных, которые обозначают внутренние и внешние факторы, можно делать выводы об их влиянии на результирующую характеристику. Но такие оценки в результате перечисленных обстоятельств будут смещенными. Одним из путей преодоления такой проблемы является выполнение процедур препроцессинга данных. Более эффективным процесс идентификации будет при условии изъятия незначимых факторов и уменьшения шумовых эффектов.

При поступлении вызова в пожарной части по адресу объекта, на котором возник пожар, формируется информационно-аналитическая записка, которая содержит такие данные:

- значение внутренних и внешних параметров объекта;
- оценку уровня его пожарной безопасности с обоснованием;
- анализ ошибок, допущенных при тушении типичных объектов и в типичных ситуациях;
- рекомендованный маршрут проезда к месту пожара;
- наиболее вероятные пути и время распространения пожара.

Ядром информационно-аналитической системы «Безопасность» является банк математических моделей и методов (рис. 1).

Составляющими банка являются математические модели, реализованные в таких модулях:

- PLR – парная линейная регрессия;
- PNR – парная нелинейная регрессия;
- MLR – множественная линейная регрессия;
- NMR – множественная нелинейная регрессия;
- PKG – полином Колмогорова-Габора;
- NNFF – нейронные сети с прямым распространением сигнала;
- MKNN – нейронные сети с модульно-ядерной структурой;
- MATRIX – модели представления данных для задачи оптимизации проезда пожарного расчета.

Вычислительные методы инкапсулированы в таких модулях:

- PMLS – МНК для парной линейной регрессии;
- MMLS – МНК для множественной линейной регрессии;
- TEST1 – методы тестирования “негативных” явлений в исходных факторах;
- TESTN – другие методы тестирования;

- GMDH – многорядный алгоритм МГВА;
- CRA – методы корреляционно-регрессионного анализа;
- ALM – алгоритм Левенберга-Маркуарда;
- CGA – метод Глетчера-Ривса;
- BC – процедура “box-counting”;
- MMC – метод главных компонент;
- MWI – процедура “выбеливания” входов;
- GA – процедуры генетического алгоритма.

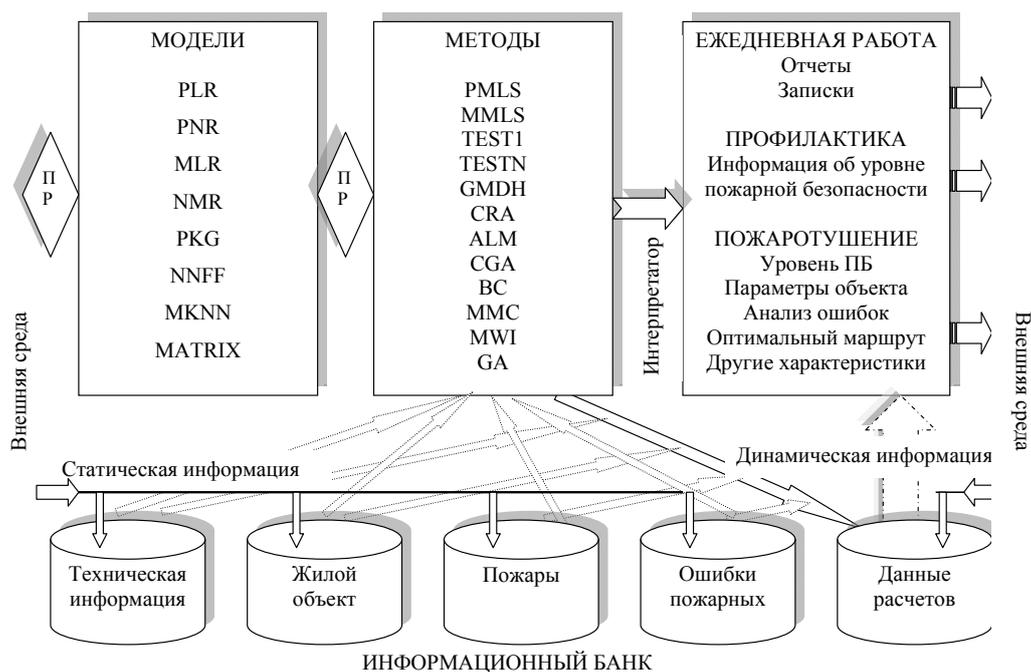


Рис. 1. Функциональная схема ИАС “БЕЗОПАСНОСТЬ”

Информационно-аналитическая система “БЕЗОПАСНОСТЬ” работает в двух режимах: текущем и оперативном. При текущем режиме: выполняется идентификация уровней пожарной безопасности объектов и формируются данные необходимые для отчетов;

- выполняются расчеты оптимальных путей проезда пожарного подразделения ко всем перекресткам зоны ответственности;
- при изменении параметров, от которых зависит время проезда, выполняется пересчет;
- выполняется анализ ошибок, устанавливаются связи между ними и определяются соотношения между пожаротушением определенных объектов и типами ошибок.

Для повседневного функционирования используется техническая информация, на базе которой формируются отчеты и строевые записки. Выполнение профилактических мероприятий базируется на данных расчетов, анализе приоритетности и значениях внутренних и внешних параметров жилых объектов.

Разработку базы знаний предлагается осуществлять на основе трех моделей: строения, функционирования и развития [3]. Модель строения является теоретико-множественной моделью и определяет состав базы знаний:

$$i_{\bar{a}} = \langle O, A_1(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1k}), A_2(a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2k}), \dots, A_n(a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nk}) \rangle, \quad (5)$$

где O - идентификатор объекта, $A_i(*, *, \dots, *)$ - идентификатор поля базы знаний, a_{ij} - 1-й формат i -го поля данных $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}$.

Модель функционирования базы знаний позволяет определить, информация из каких полей будет использоваться при решении определенных задач. К таким задачам относятся:

- определение кратчайшего возможного маршрута распространения огня;
- определение наиболее возможного пути развития пожара;
- расчет усредненного времени и соответствующего маршрута распространения огня;
- формирование перечня возможных вариантов развития пожара в соответствии с заданными часовыми маркерами и тому подобное.

Модель функционирования является информационной моделью:

$$I_{\delta} = \langle P, A, \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_k}\} \rightarrow P_k, k = \overline{1, m} \rangle, \quad (6)$$

где P - непустое множество задач, A - множество атрибутов (полей) базы знаний, m - количество задач.

Модель развития формируется как определенное следствие процесса развития информационно-аналитической системы во времени, базирующееся на расширении знаний о пожарах, объектах пожаротушения, экспертной информации. Развитие базы знаний происходит в соответствии с параллельно-иерархической схемой, где ее уровни являются отображением процесса решения вышеуказанных задач в случаях привлечения дополнительных экспертов, изменения типа и формы функций принадлежности, которые являются отображением их суждений. На этапах такой схемы осуществляется последовательное уточнение решений, поскольку они ориентируют на решение одной задачи несколькими методами или на решение определенной проблемы путем решения последовательности уточняющих задач.

В модели развития интегрированы возможные варианты композиции задач и методов решения, а также учитывается необходимость расширения, уточнения и модификации записей в базе знаний. Модель развития формально представим так:

$$I_{\delta} = \langle t, P_{i_1} \rightarrow P_{i_2} \rightarrow (P_{i_1}, P_{i_2}) \rightarrow \dots \rightarrow (P_{i_1}, \dots, P_{i_n}), A_i^t \uparrow, A_i^t \downarrow, A_i^t \updownarrow \rangle, \quad (7)$$

где t - время, P_{i_j} - задачи, $A_i^t \uparrow, A_i^t \downarrow$ - увеличение или уменьшение атрибутов задачи, $A_i^t \updownarrow$ - их содержательная модификация.

Таким образом, разработка тройки моделей $\langle I_{\delta}, I_{\delta}, I_{\delta} \rangle$ является основанием для программируемого создания и сопровождения базы знаний для моделирования процессов распространения пожаров на различных объектах, что позволит реализовывать конструктивные построения, которые будут инвариантными к будущим ситуациям.

Перспективы исследований

Использование для поддержки принятия решений в процессах пожаротушения информационно-аналитических систем необходимо для объективизации субъективных решений. Предложенная процедура вычисления времени распространения пожара от одной точки к другой позволит руководителю процессом пожаротушения определять решающие направления боевого развертывания сил и средств, что особенно важно при ликвидации чрезвычайной ситуации. Моделирование с применением элементов теории нечетких множеств будет способствовать увеличению адекватности процессов принятия решений в реальной ситуации.

Такая информация позволит в режиме реального времени быстро оценивать ситуацию, принимать правильные решения, минимизировать вероятности ошибок, минимизировать время проезда пожарного подразделения к месту пожара, а также время его локализации и ликвидации, что будет способствовать предотвращению человеческих жертв и материальных убытков.

Благодарности

Статья частично финансированна из проекта **ITHEA XXI** Института Информационных теории и Приложений FOI ITHEA и Консорциума FOI Bulgaria (www.ithea.org, www.foibg.com).

Литература

1. Быченко А.А. Модели распространения пожара на особо опасных объектах в условиях неопределенности // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 359-365.
2. Миронов М.П., Маскаева Л.Н., Макурин Ю.Н. Применение комплексного вероятностного подхода к прогнозированию пожаров и оценке ущерба от них // Пожарная безопасность. – 2005.– № 5. – С. 110-114.
3. Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. – К.: Наук. думка, 1991. – 152 с.
4. Гнатиенко Г.Н., Снитюк В.Е. Экспертные технологии принятия решений. – К.: Маклаут, 2008. – 444 с.

Информация об авторах

Александр Джулай – *нач. кафедры оперативно-тактической деятельности, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, ул. Оноприенко, 8, Черкассы, Украина; e-mail: djulaj@ukr.net*

Артем Быченко – *доцент кафедры пожарной и промышленной автоматики, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля; ул. Оноприенко, 8, Черкассы, Украина; e-mail: bichenko@ukr.net*

Андрей Левченко – *нач. кафедры пожарной и промышленной автоматики, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля; ул. Оноприенко, 8, Черкассы, Украина; e-mail: lad_ck@rambler.ru*