

## СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЗАДАЧ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ИНФОРМАЦИОННОГО ЕДИНСТВА

Александр Джулай, Артем Быченко

**Аннотация:** В статье рассмотрены особенности проектирования системы поддержки принятия решений «Безопасность», предназначенной для информационно-консультативного сопровождения процессов принятия решений руководителями пожарных подразделений во время тушения пожара.

**Ключевые слова:** моделирование, принятие решений.

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

**Conference:** The paper is selected from XIV<sup>th</sup> International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

---

### Аспекты проблемной области

---

Проектирование сложных систем, как известно [Тимченко, 2000; Тимченко, 1991], имеет в своей основе логическую схему  $\Xi$ . Разработка такой логической схемы для создания информационно-аналитического обеспечения (ИАО) процессов принятия решений (ППР) противопожарными подразделениями является актуальной современной задачей, поскольку определенные наработки в этой области имеют разрозненный характер и, чаще всего, ограничиваются сбором и анализом статистического материала. Необходимым является создание автоматизированных систем (АС), которые в режиме реального времени предоставляли бы возможность прогнозирования ситуации и указывали на оптимальное распределение ресурсов и, как следствие, были направлены на уменьшение ошибок при пожаротушении.

---

### Формирование совокупности релевантных задач

---

Для внесения порядка в процесс создания АС поддержки ППР необходимо разработать схему  $\Xi$ , определить наполнение ее составляющих, их приоритеты и взаимодействие.

Формируя логическую схему, сделаем предварительные предположения [Джулай, 2004]. Модель АС М имеет две составляющие: ИБ – модель информационного банка, который содержит данные о пожарах, их особенностях и ошибках при тушении; ПМ – программный модуль, с помощью которого решаются задачи обслуживания ИБ, анализа и прогнозирования процессов противопожарной защиты. В качестве начальных данных используем данные карт пожаротушения, в которых находится информация о параметрах объекта, на котором возник пожар, особенностях его окружения, факторах окружающей среды и особенностях организации процесса пожаротушения. Ограничения содержат данные о наличии или отсутствии определенных ресурсов и кадровом составе. Проектным решением должна стать автоматизированная система поддержки принятия решений (АСППР), включающая в себя ИБ и ПМ. Оценка проектного решения R определяется такими критериями: полнотой ИБ, его информативностью (способностью к минимизации энтропии процессов решения аналитических задач), точностью идентификации оценки уровня противопожарной безопасности объекта и прогнозирования сценариев развития событий.

Процедура решения задачи создания АС декомпозируется на логически связанную, структурированную систему подзадач:

- определение факторов, которые осуществляют наибольшее влияние на уровень пожарной безопасности жилого объекта;
- определение структуры информационного банка и типизация его составляющих;
- разработка программного обеспечения функционирования ИБ;
- разработка процедуры унификации входных факторов;
- применение методов увеличения информативности входных данных с выявлением причинно-следственных связей;
- идентификация зависимости между уровнем пожарной безопасности объекта и значимыми факторами;
- расчет оптимального кадрового состава и материально-технического обеспечения в режиме реального времени.

Предложенная логическая схема проектирования вместе со структурированными задачами позволяет на единой информационно-методологической базе разработать АС, функционирование которой значительно улучшит аналитическое обеспечение процессов принятия решений в условиях критичности времени и ограниченности ресурсного потенциала. Проблемным остается решение вопросов, связанных с наполнением ИБ данными о жилых объектах и создании клиент-серверной архитектуры с сосредоточенным ИБ на сервере и ПМ на рабочих станциях, который позволит модифицировать данные в ИБ и выполнять нужные расчеты для каждого отдельного подразделения.

---

### Особенности проектирования АСППР

---

Разработку АСППРР, предназначенной для информационно-консультативного сопровождения процессов принятия решений, необходимо выполнить в соответствии с уровнями системной модели [Тимченко, 1991]:

<цели> → <задачи> → <методы, алгоритмы> → <средства> ,

учитывая технический, технологический, экономический и организационный аспекты. Кроме операций с ИБ и процедур формирования отчетов, основой ИАС является банк математических моделей и методов, которые являются инкапсулированными и недоступными для пользователя системы и подлежат изменениям, дополнениям и усовершенствованиям системным аналитиком. При решении определенного класса задач обеспечено резервирование методов, то есть одна и та же задача решается разными методами, а результаты анализируются и усредняются с определенными весовыми коэффициентами. Так, для структурной и параметрической идентификации оценки уровня пожарной безопасности используются такие модели: парная линейная регрессия, множественная линейная регрессия, множественная нелинейная регрессия, часовые ряды, интерполяционные полиномы, нейронные сети и методы: наименьших квадратов, метод Брандона, алгоритм обратного распространения ошибки, Левенберга-Марквардта и другие.

Детализируя структуру ИБ, отметим присутствие в нем пяти таблиц. Первая таблица содержит информацию о техническом парке, ресурсном обеспечении, средствах пожаротушения, кадровом составе, других технических данных. Во вторую таблицу заносят информацию о пожарах непосредственно из карточки учета пожара. Данные об ошибках личного состава при пожаротушении находятся в третьей таблице и связываются с данными второй таблицы по ключевому полю KEYFIELD. В четвертой таблице собрана информация о внутренних и внешних параметрах объекта, исходя из позиций пожарной безопасности. Безусловно, главную роль играет информация, которая сосредоточена в пятой таблице: результаты исследования уровня пожарной безопасности объектов жилого сектора, анализ ошибок личного состава и ситуаций их возникновения, оптимальные маршруты проезда к каждому из перекрестков.

Информацию, которая заносится в ИБ оператором или внутренними модулями при функционировании, разделяют на две составляющие: статическую и динамическую [Джулай, .2005]. Данные первого типа – информация о новых домах, пожарах и т.п., динамические данные отображают текущую ситуацию с дорожными и погодными условиями, изменения параметров жилых объектов и такие, которые нужны для оперативных расчетов.

АСППР “БЕЗОПАСНОСТЬ” работает в двух режимах: текущем и оперативном. При текущем режиме:

- выполняется идентификация уровней пожарной безопасности жилых 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;
- выполняется расчет времени и пути распространения пожара до опасного объекта.

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.

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
- план-карта возможных путей распространения пожара до особо опасного объекта.

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.

Для выполнения расчета времени и возможных путей распространения пожара требуется решить ряд задач:

- определить аспекты моделирования процесса распространения пожара в каждом из помещений особо опасного объекта с учетом особенностей его архитектуры  $A$ , строительных материалов  $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ , оборудования  $(O_1, O_2, \dots, O_m)$ , других факторов  $R$  и разработать математическую модель расчета скорости распространения пожара

$$V = F(C_1, C_2, \dots, C_n, A, O_1, O_2, \dots, O_m, R); \quad (1)$$

- определить время  $T_{ij}$  распространения пожара из одного помещения в другое, используя информацию о типе перекрытий  $(P_1, P_2, \dots, P_k)$ , кабельных шахтах  $(S_1, S_2, \dots, S_q)$ , окнах  $(W_1, W_2, \dots, W_g)$ , дверях  $(D_1, D_2, \dots, D_b)$ , воздуховодах  $(H_1, H_2, \dots, H_u)$ , технологических проемах  $(V_1, V_2, \dots, V_z)$ , и разработать алгоритм аппроксимации периметра пожара

$$P = G(P_1, P_2, \dots, P_k, S_1, S_2, \dots, S_g, W_1, W_2, \dots, W_g, D_1, D_2, \dots, D_b, H_1, H_2, \dots, H_u, V_1, V_2, \dots, V_z), \quad (2)$$

где под периметром будем понимать длину границы распространения огня, имеющую форму круга, кругового сектора или прямоугольника.

Идентификация зависимостей (1) и (2) является достаточно трудной задачей, поскольку необходимо учитывать большое число факторов, не каждый из которых имеет точное численное значение, или значение в интервале, что обусловлено различием справочной информации и реальным состоянием; строительные материалы имеют разный уровень износа; взаимодействие факторов может приводить к непрогнозируемым последствиям. Несмотря на все эти обстоятельства, очевидно, что разработка и использование моделей (1) и (2) является необходимым условием минимизации риска катастрофических последствий пожаров на особо опасных объектах.

Информационным базисом моделирования служит база данных, которая в дальнейшем будет преобразовываться в банк знаний. При проектировании базы данных необходимо учитывать такие аспекты:

- испытания показывают, что не у всех новых строительных конструкций, удовлетворяющих условиям надежной эксплуатации в нормальных условиях, обеспечивается требуемая огнестойкость;
- ее таблицы должны содержать информацию о фундаментальных законах тепломассопереноса, учитывающие закономерности горения материалов;
- информация должна быть представлена таким образом, чтобы процесс расчетов мог быть полностью автоматизированным и требовал минимального экспертного присутствия;
- существовала возможность оперативного внесения данных, являющихся исходной информацией для прогнозирования;
- предусмотреть учет степени изношенности строений; наличие легковоспламеняющихся предметов, синтетических изделий и техники, что увеличивает возможность возникновения пожаров и делает самый незначительный пожар чрезвычайно опасным, а также данных о потенциальных источниках опасности – подвалах и чердаках, кабельных коммуникациях;
- разработать структуру баз данных таким образом, чтобы в них можно было представлять нечеткую информацию;
- в качестве элементного базиса считать помещения, для них указывать особенности внутренней и внешней архитектуры, наличие и состояние возможных путей распространения пожара с указанием типовых и экспертно определяемых значений скорости и направления распространения пожара.

При формировании таблиц базы данных необходимо обратить внимание на субъективизм экспертов и способы верификации полученной нечеткой информации. Одним из них есть определение компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности [Снитюк, 2000] и учет их суждений с соответствующими весовыми коэффициентами.

Представление нечеткой информации объективизируют с помощью интервального представления или определения лингвистических переменных и построения функций принадлежности [Аверкин, 1986]. Если эксперты уверены в том, что значения параметра могут быть среди чисел интервала  $[a, b]$  без предпочтений, то достаточно выбрать интервальное представление информации. Использование треугольных функций принадлежности рационально в том случае, когда отсутствует постоянная уверенность в том, что значения фактора принадлежат некоторому интервалу. Для представления таких функций достаточно двух параметров, поскольку значения фактора  $X_i \in (c - a, c + a)$ , где  $c$  – значение, уверенность в получении которого является наибольшей. Трапециевидная функция принадлежности [Дюбуа, 1990] применяется в том случае, когда существует максимальная одинаковая уверенность в принадлежности значения параметра интервалу  $(\underline{m}, \bar{m})$ . Достаточно часто, например [Згуровский, 1990],

предлагают использовать колоколообразные функции принадлежности  $\mu = \frac{1}{1 + ((x - b)/a)^2}$ . Они являются двухпараметрическими. В связи с таким разнообразием представления нечеткой информации возникает задача определения и оптимальности каждого варианта.

Важным является аспект верификации полученного формального представления, поскольку проведение натурального эксперимента невозможно. Будем предполагать, что решение задач идентификации (1) и (2), т.е. скорость и периметр распространения огня является нечеткими переменными. Представления их функций принадлежности заносят в базу данных вместе с правилами такого типа:

Если  $(X_1 = a_{11}) \& (X_2 = a_{12}) \& \dots \& (X_n = a_{1n})$  с весом  $w_1$ , то  $Y = y_1$ ,

иначе, если  $(X_1 = a_{21}) \& (X_2 = a_{22}) \& \dots \& (X_n = a_{2n})$  с весом  $w_2$ , то  $Y = y_2$ ,

иначе, если  $(X_1 = a_{m1}) \& (X_2 = a_{m2}) \& \dots \& (X_n = a_{mn})$  с весом  $w_m$ , то  $Y = y_m$ .

Значение каждого выражения в скобках и результирующего выражения определяется значением соответствующей функции принадлежности. Базы данных, включающие такие значения, превращаются в нечеткие базы знаний [Ротштейн, 1999; Снитюк, 2006], поскольку позволяют осуществлять структурную и параметрическую идентификацию зависимостей (1) и (2) и получать новые знания из существующих данных. Важно понимать, что нельзя применять вероятностные модели, которые требуют однородных выборок с необходимостью многократного повторения типового процесса, что для особо опасных объектов неразрешимая задача. Это еще раз свидетельствует в пользу применения нечеткого моделирования.

При построении моделей (1) и (2) возникает проблема определения факторов, являющихся наиболее значимыми для определения скорости и путей распространения огня. Она связана с большим количеством факторов и значительным субъективизмом определения их значений, что вносит шумовой эффект в решение задачи идентификации.

---

### Нерешенные задачи и перспективы исследований

---

Значительная информационная насыщенность итерационного процесса формирования модели и, собственно, моделирования требует привлечения методов интеллектуального анализа данных, проведения верификации априорных данных, методов и результатов моделирования. Не исключено, что полученные модели будут уникальными и смогут быть использованными на других объектах. Но как уже указывалось ранее, такой подход в ситуации особо опасных производств является оправданным.

Поскольку процесс распространения пожара является координатно привязанным, то результатом реализации предлагаемой технологии должна стать некая геоинформационная система. Входной информацией для нее будет точка возникновения пожара, на выходе по запросу пользователя будет получена карта развития пожара с указанием скорости и наиболее вероятных путей распространения огня, а также время, через которое он достигнет указанной точки. Такие же задачи необходимо решать и при определении уровня задымления помещений.

Современные технологии формирования описаний элементной структуры и динамических процессов, основанные на применении вычислительной техники и создаваемые в виде компьютерных многофункциональных баз данных, позволяют автоматизировать процесс анализа нечеткой информации и прогнозирования развития ситуации на основе автоматизированной системы управления базами данных. Они открывают новые возможности для объективизации экспертной оценки параметров помещений особо опасного объекта и временных характеристик процесса развития пожара. Безусловно, реализация таких технологий требует проведения комплекса научных, технических и организационных задач.

Разработка и внедрение моделей, методов и средств, базирующихся на обработке нечеткой, а также, возможно, неполной информации даст возможность адекватного реагирования на наиболее опасном

направлении развития пожара и своевременного предупреждения о возможности возникновения критической ситуации в той или иной точке объекта.

Предлагаемый подход направлен на реализацию информационно-консультативной геоинформационной системы, которая даст возможность прогнозирования процесса развития пожара в пространственно-временной системе координат. Заметим, что этот процесс сопровождаются проблемы интерпретации полученных результатов как нечеткой информации и оптимизации идентифицируемых зависимостей, направленных на повышение точности расчетов.

---

## Литература

---

- [Тимченко, 2000] Тимченко А.А. Основы системного проектирования и системного анализа сложных объектов. – К.: Лыбидь, 2000. – 272 с
- [Тимченко, 1991] Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. – К.: Наук. думка, 1991. – 152 с.
- [Джулай, 2004] Джулай А.Н. Структуризация задач проектирования систем поддержки принятия решений противопожарными подразделениями // Материалы VII Межд. научн.-практ. конф. "Наука и образование '2004". – Днепропетровск: Наука и образование. – 2004. – Том 72. – С. 39-41.
- [Джулай, 2005] Джулай А.Н. Структурный анализ информационной технологии автоматизированной поддержки принятия решений при пожаротушении // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 392-398.
- [Снитюк, 2004] Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности // Черкаси: Вестник ЧДТУ. – 2000. – № 4. – С. 121-126.
- [Аверкин, 1986] Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
- [Дюбуа, 1990] Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. – М.: Радио и связь, 1990. – 286 с.
- [Згуровский, 1990] Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. – К.: Выща школа, 1990. – 351 с.
- [Ротштейн, 1999] Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
- [Снитюк, 2006] Снитюк В.Е., Быченко А.А. Аспекты нечеткости при моделировании процессов распространения пожара на особо опасных объектах // АСУ и приборы автоматики. – 2006. – Вып. 134. – С.89-93.

---

## Информация об авторах

---

**Александр Джулай** – Доцент, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, ул. Оноприенко, 8, Черкасы, Украина; e-mail: [djulaj@ukr.net](mailto:djulaj@ukr.net)

**Артем Быченко** – Доцент, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля; ул. Оноприенко, 8, Черкасы, Украина; e-mail: [bichenko@ukr.net](mailto:bichenko@ukr.net)