

*Надійшла до редколегії 14.03.2006*

**Теслюк Василь Миколайович**, канд. техн. наук, доцент кафедри САПР НУ"ЛПІ". Наукові інтереси: розробка засобів САПР для проектування мікроелектронних пристроїв, математичне моделювання. Адреса: Україна, 79044, Львів, вул. Акад. Сахарова, 27, кв. 508, тел. 8-067-93-24-006.

---

УДК 519.863.001.63

*В.Е. СНИТЮК, А.А. БЫЧЕНКО*

## **АСПЕКТЫ НЕЧЕТКОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА НА ОСОБО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

---

Рассматривается проблема моделирования скорости распространения пожара и определения его периметра для особо опасных объектов. В качестве инструментария ее решения предлагается использовать нечеткие базы знаний и соответствующие методы. Определяются аспекты создания технологии автоматизированной обработки данных и прогнозирования, результатом реализации которой является геоинформационная система.

### **1. Состояние проблемы и постановка задачи**

Моделирование процессов распространения пожаров с течением времени приобретает все большее значение. Такой вывод базируется на данных статистики: количество пожаров имеет небольшую тенденцию к уменьшению, вместе с тем, наблюдается устойчивый рост количества жертв и размера материального ущерба. Ситуация усложняется с увеличением производства горюче-смазочных материалов, продукции химической промышленности, атомной и других видов энергии. Соответствующие предприятия относят к особо опасным объектам. Пожары на них могут приводить к катастрофическим последствиям.

Критические условия развития и распространения пожаров не позволяют применить адекватные меры и средства пожаротушения, что подчеркивает определяющую роль фактора субъективности при принятии решений. Успешная борьба с пожарами возможна при условии умения прогнозирования процессов их поведения. В большинстве случаев такое прогнозирование является лишь результатом опыта и интуиции руководителя тушения пожара, других специалистов и, зачастую, приводит к ошибкам.

Применение математического моделирования на базе современной вычислительной техники могло бы позволить быстро и достаточно точно прогнозировать распространение пожаров с учетом конкретных условий. В этом направлении получены определенные научные результаты, но ориентированные на тушение лесных пожаров и пожаров в типовых помещениях. Так, в работе [1] выполнен анализ моделей и методов моделирования лесных пожаров, а в [2] описан программный комплекс, функционирующий на их базе. В Институте автоматики и электромеханики Сибирского отделения РАН разработан метод прогнозирования развития динамических процессов на поверхности Земли на основе нейросетевой обработки последовательности многоспектральных аэрокосмических изображений. Метод обладает адаптивностью, но, к сожалению, применим только для моделирования пожаров в окружающей среде. В книге [3] изложены результаты исследований динамики пожара в помещениях различного назначения. Они анализируются применительно к возможностям практического использования в системе гибкого нормирования при проектировании. Предложенная методика не учитывает взаиморасположения помещений различного назначения и поэтому является локальной и малоприменимой для особо опасных объектов.

В последние годы за рубежом при определении соответствия зданий и сооружений противопожарным требованиям используется подход на основе объектно-ориентированного нормирования, который предусматривает количественное определение пожарной опасности зданий и сооружений и ее сравнение с величинами, выбранными в качестве критериев. Аналогичный подход предложен для жилых объектов в работе [4] с учетом внешних и внутренних параметров. Очевидно, что результаты применения методов количественной

оценки пожарной опасности особо опасных объектов являются информативными факторами для определения закономерностей протекания процессов горения, особенностей эвакуации людей, прогнозирования развития ситуации как на объекте, так и вне его.

Таким образом, анализ научных источников, предложенных в них моделей, методов и средств пожаротушения свидетельствует о том, что главное внимание уделяется исследованию типовых ситуаций, случаям, в которых развитие пожара происходит, преимущественно, линейно. Руководителю пожара, чаще всего, рекомендуется определять скорость развития пожара до или во время его тушения, исходя из данных статистических таблиц и опыта [3,4]. В то же время, на особо опасных объектах процесс распространения пожара является существенно нелинейным, что затрудняет использование традиционных методов оценки, а также результатов моделирования. Нелинейность объясняется различной скоростью распространения пожара в зависимости от материала горения, расстояния до дверей, воздуховодов, кабельных шахт, т.е. распределением пожарной нагрузки и газообменом. Важным представляется тот факт, что исследование процессов распространения пожара из помещения в помещение остается вообще вне рассмотрения.

*Задача исследования* имеет такие составляющие:

– 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:

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

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

## **2. Особенности моделирования процесса развития пожара с использованием нечеткой информации**

Идентификация зависимостей (1) и (2) является достаточно трудной задачей, поскольку необходимо учитывать большое число факторов, не каждый из которых имеет точечное 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 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 теплопереноса, учитывающих закономерности горения материалов;

– информация должна быть представлена таким образом, чтобы процесс расчетов мог быть полностью автоматизированным и требовать минимального экспертного присутствия;

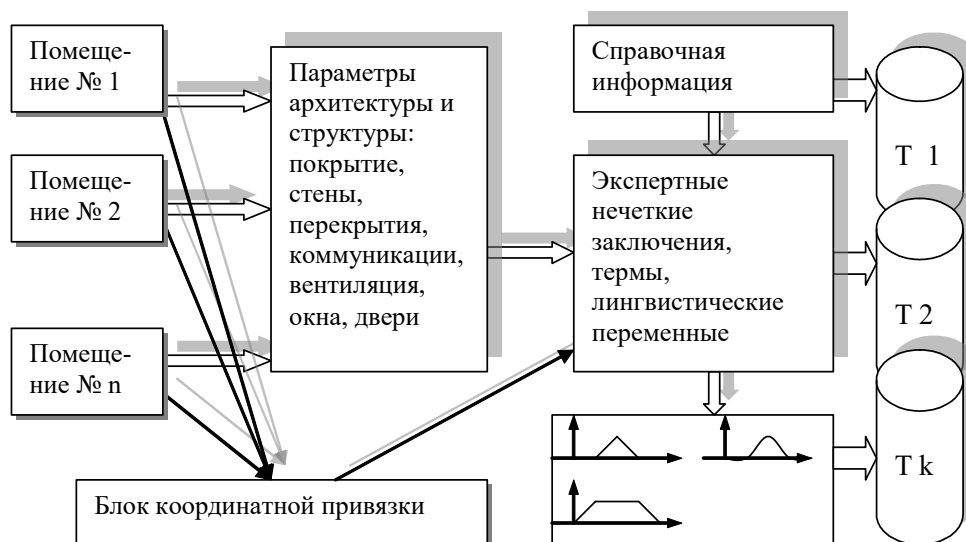
– должна существовать возможность оперативного внесения данных, являющихся исходной информацией для прогнозирования;

– нужно 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 иметь данные 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, указывать для них особенности внутренней и внешней архитектуры, наличие и состояние возможных путей распространения пожара с указанием типовых и экспертно определяемых значений скорости и направления распространения пожара (рисунок).



Формирование таблиц базы данных

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 [5] и учет их суждений с соответствующими весовыми коэффициентами.

Представление нечеткой информации объективизируют с помощью интервального представления или определения лингвистических переменных и построения функций принадлежности [6]. 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 большая уверенность в том, что значения фактора принадлежат некоторому интервалу. Для представления таких функций достаточно двух параметров (см. рисунок), поскольку значения фактора  $X_i \in (c - a, c + a)$ , где  $c$  – значение, уверенность в получении которого является наибольшей. Трапецевидная функция принадлежности [7] определяется пятеркой параметров  $(\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta, h)$ , где  $\underline{m}$  – нижнее модальное значение,  $\bar{m}$  – верхнее модальное значение,  $\alpha$  – левый коэффициент скошенности,  $\beta$  – правый коэффициент скошенности,  $h$  – высота, и применяется в том случае, когда существует максимальная одинаковая уверенность в принадлежности значения параметра интервалу  $(\underline{m}, \bar{m})$ . Достаточно часто, например в [6], предлагают использовать колоколообразные функции принадлежности  $\mu = 1/(1 + ((x - b)/a)^2)$ . Они являются двухпараметрическими. В связи с таким разнообразием представления нечеткой информации возникает задача определения эффективности 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 являются 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, включающей такие значения, превращаются в нечеткие базы знаний [8], поскольку позволяют осуществлять структурную и параметрическую идентификацию зависимостей (1) и (2) и производить 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.

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.

### 3. Выводы

Пожарная безопасность особо опасных объектов является той предметной областью, важность исследования которой не вызывает сомнений. В то же время, она является наименее информационно насыщенной с доминированием субъективных факторов при принятии решений, что приводит к катастрофическим последствиям в случае возникновения пожара. Предлагаемый подход направлен на реализацию информационно-консультативной геоинформационной системы, которая даст возможность прогнозирования процесса развития пожара в пространственно-временной системе координат.

Значительная трудоемкость реализации такой технологии сопровождается рядом аспектов, определенных выше. Кроме них остаются проблемы интерпретации полученных результатов, как нечеткой информации, и оптимизации идентифицируемых зависимостей, направленных на повышение точности расчетов.

**Список литературы:** 1. *Weber R.O.* Modelling Fire Spread through el Beds // Prog. Energy Combust. Sci. 1991. Vol.17. P.67-82. 2. *Karpov, A.I., Telitsyn, H.P. and Bulgakov, V.K.*, “Development of the Computer Code for the Prediction of Forest Fire Spread”, in Proc. of Second Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. P.100-108. 3. *Молчадский И.С.* Пожар в помещении. М.: ВНИИПО, 2005. 456 с. 4. *Иванников В.П., Ключ П.П.* Справочник руководителя пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с. 5. *Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али.* Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности // Черкаси.: Вісник ЧІТІ. 2000. № 4. С. 121-126. 6. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с. 7. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. М.: Радио и связь, 1990. 286 с. 8. *Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П.* Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. Вінниця: УНІ-ВЕРСУМ-Вінниця, 2002. 145 с.

*Поступила в редколлегию 28.02.2006*

**Снитюк Виталий Евгеньевич**, канд.техн.наук, доцент, докторант Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Научные интересы: эволюционное моделирование, нейронные сети, системное проектирование. Адрес: Украина, 18006, Черкассы, бул. Шевченко, 460/507, тел.: (050) 313-13-42.

**Быченко Артем Алексеевич**, преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и промышленной безопасности Черкасского пожарного института им. Героев Чернобыля. Научные интересы: автоматизированные системы управления, процессы пожаротушения. Адрес: Украина, 18030, Черкассы, ул. Оноприенко, 8, тел.: (0472) 55-09-39.

---

УДК 519.713:681.326

*В.И. ХАХАНОВ, В.В. ЕЛИСЕЕВ, В.И. ОБРИЗАН,  
WADE GHRIBI, HASSAN KTIAMAN*

## **ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

---

Предлагается новый подход к тестированию и диагностированию сложных иерархических программно-технических комплексов на основе существующих стандартов общества IEEE. Анализируются различные ad-hoc решения тестирования систем на кристаллах. Рассматривается алгоритм тестирования программно-технических комплексов на различных уровнях иерархии.

### **1. Актуальность исследования**

Современные микро- и нано-технологии в электронике позволяют создавать системы и сети на кристаллах (SoC – System on Chip, NoC – Network on Chip), обладающие, по сравнению с системами на платах, высокой частотой синхронизации и быстродействием, низким энергопотреблением, малыми размерами (1-4 см<sup>2</sup>), широкой функциональностью (включающей и приемопередатчик – Bluetooth), высокой степенью интеграции и интеллектуальной собственностью (IP) [1-3]. Компоненты NoC [4], по сравнению с системами на кристаллах, имеют дополнительную возможность обмена информацией по протоколу TCP/IP на всех шести уровнях OSI-стандарта. Что касается развития и интеграции в цифровую систему Wireless технологий, то их уже нельзя не учитывать при создании новых компьютерных систем и сетей. «Наша цель – по известному высказыванию вице-президента Intel Патрика Гелсингера – предоставить каждому жителю планеты возможности для вычислений и коммуникаций. Цифровые wireless-технологии приводят к технической революции в радиотехнике на основе использования микропроцессоров для создания программно-управляемых радиоустройств и интеллектуальных антенн. Новое поколение компьютеров или цифровых систем будет содержать встроенные средства радиообмена, если они обеспечивают новые полезные свойства для потребителя». Создается беспроводное общество в