

УДК 004.942

Ю.Б. Гриценко, А.А. Голубева

Анализ процесса эвакуации людей нечеткими временными сетями Петри

Предложен подход использования нечетких временных сетей Петри для оценки времени эвакуации из зданий и сооружений. Проведен анализ процесса эвакуации людей нечеткими временными сетями Петри. Построена нечеткая модель в программной среде fuzzyTECH.

Ключевые слова: пожарная безопасность, математическая модель, потоковые сети, стохастические сети, нечеткие временные сети Петри, нечеткие сети, сети Петри.

В июле 2008 г. был принят Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Положения данного закона обязательны для исполнения при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, реконструкции, техническом перевооружении, изменении функционального назначения, техническом обслуживании, эксплуатации и утилизации объектов защиты [1]. Данный закон вступил в силу через 9 месяцев после его официального опубликования, т.е. в мае 2009 г.

В связи с этим стали актуальны исследования, посвященные анализу и моделированию пожарного риска. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска описаны в Постановлении Правительства РФ от 31 марта 2009 г. N 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска». В них сказано, что определение расчетных величин пожарного риска осуществляется на основании:

- анализа пожарной опасности объекта защиты;
- определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений [2].

Определение расчетных величин пожарного риска проводится по методикам, утверждаемым Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [2].

На основании этих методик и постановления Правительства РФ авторами статьи предложено использовать для моделирования компоненту расчета пожарного риска, такого как время эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожаров, и нечеткие временные сети Петри, которые позволяют решать задачи нечеткого моделирования и управления.

Описание процесса моделирования расчетного времени эвакуации. Моделирование расчетного времени эвакуации людей тесно связано со структурой здания и его помещения. Наилучшими представлениями путей эвакуации людей из помещения могут служить графы. В нашем же случае за основу описания и моделирования процесса эвакуации берется механизм сетей Петри, который основан на графовом представлении. В частности, это потоковые и стохастические или нечеткие сети. Нечеткие сети Петри позволяют решать задачи нечеткого моделирования и нечеткого управления. В данной статье рассматриваются нечеткие временные сети Петри типа S_{PT} (см. ниже).

Введение неопределенности в описание исходной математической структуры нечетких временных сетей Петри предполагает задание одной или нескольких структур с неопределенностью, которая может отображать стохастический, нечеткий или комбинированный характер ее проявления.

Несомненным достоинством сетей Петри является математически строгое описание модели. Это позволяет проводить их анализ с помощью современной вычислительной техники. Преимущество использования сетей Петри в моделировании [3]:

- большие выразительные способности в представлении параллельных асинхронных систем;
- способность представления локального управления, параллельных, конфликтных, недетерминированных и асинхронных событий;

- графическое представление сети;
- понятность модели и легкость ее изучения;
- возможность иерархического моделирования на их основе;
- возможность описания системы на различных уровнях абстракции;
- возможность представления системной иерархии;
- возможность машинной поддержки в проектировании;
- адекватное представление структуры организационно-технологических систем, а также логико-временных особенностей процессов их функционирования.

Представление пути эвакуации с помощью нечеткой временной сети Петри типа C_{PTT} .

Дадим определение нечеткой временной сети Петри C_{PTT} .

Нечеткой временной сетью Петри типа C_{PTT} будем называть подкласс временных сетей, который определяется как $C_{PTT} = (N, m_0, z_T, s_T)$, где

– $N = (P, T, I, O)$ – структура нечеткой временной сети Петри C_{PTT} , которая аналогична структуре ординарных сетей Петри и для которой $I: P \times T \rightarrow \{0,1\}$ – входная функция переходов; $O: T \times P \rightarrow \{0,1\}$ – выходная функция переходов;

– $\mathbf{m} = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$ – вектор начальной маркировки, каждый компонент m_i^0 которого представляет собой треугольное нечеткое число $M_{T_i} = \langle a_i, \alpha_i, \beta_i \rangle$ ($\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$);

– $\mathbf{z}_T = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ – вектор параметров временных задержек маркеров в позициях нечетких временных сетей Петри C_{PTT} , каждый компонент z_i которого представляет собой треугольное нечеткое число $Z_{T_i} = \langle a_i, \alpha_i, \beta_i \rangle$ ($\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$);

– $\mathbf{s}_T = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ – вектор параметров времен срабатывания разрешенных переходов нечетких временных сетей Петри C_{PTT} , каждый компонент s_i которого представляет собой треугольное нечеткое число $S_{T_i} = \langle a_i, \alpha_i, \beta_i \rangle$ ($\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$) [4].

Графически нечеткие временные сети Петри C_{PTT} представляются в виде ориентированного двудольного графа, аналогично классическим сетям Петри. Особенностью графического представления сети является изображение позиций (мест) в виде кружков, а переходов – в виде черточек (барьеров) [4]. Дуги графа соединяют позиции с переходами, а переходы с позициями.

Под позициями будем понимать помещения и дверные проемы, в которых концентрируются маркеры. А под маркерами, в свою очередь, будем понимать людей, которые накапливаются в помещениях.

Еще одной явной особенностью графического представления нечетких временных сетей Петри C_{PTT} является то, что над позициями размещается вектор параметров временных задержек маркеров в позициях, а над переходами размещается вектор параметров времен срабатывания разрешенных переходов.

В нечетких временных сетях Петри C_{PTT} можно вводить описание неопределенности в отдельные компоненты базовой математической структуры.

В качестве примера рассмотрим эвакуацию людей из помещения, план которого изображен на рис. 1. Соответствующая ему сеть изображена на рис. 2.

Сеть, изображенная на рис. 2, отображает не весь план эвакуации, а только одну сторону помещения. Как видно из рис. 1, в выход $P13-1$ направляется поток людей из коридора $P14$ и коридора $P15$. Потоки людей начинают движение одновременно и передвигаются параллельно. Аналогичным образом потоки людей двигаются относительно выхода $P15-1$.

Так как к выходам $P13-1$ и $P15-1$ двигаются по два параллельных потока людей, то необходимо выбрать и посчитать время эвакуации только того потока, загрузка которого будет максимальной. Таким является поток $P15$ (рис. 2).

На графе, представленном на рис. 2, помещению с номером $P1$ на рис. 1 соответствует кружок с номером $P1$ на рис. 2. Дверные проемы также являются местами, проему $P11-1$ см. (рис. 1) соответ-

ствует кружок P_{11-1} (см. рис. 2). А T_1 – это условие перехода маркера из помещения P_1 в P_{11} . Напомним, под маркерами в нашем случае мы будем понимать людей в помещении [3].

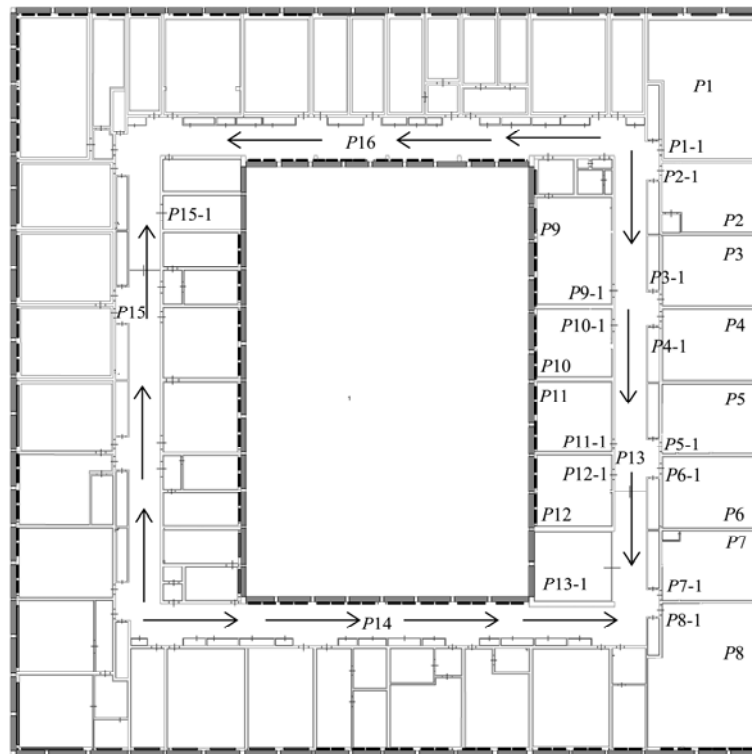


Рис. 1. Пример плана эвакуации из здания

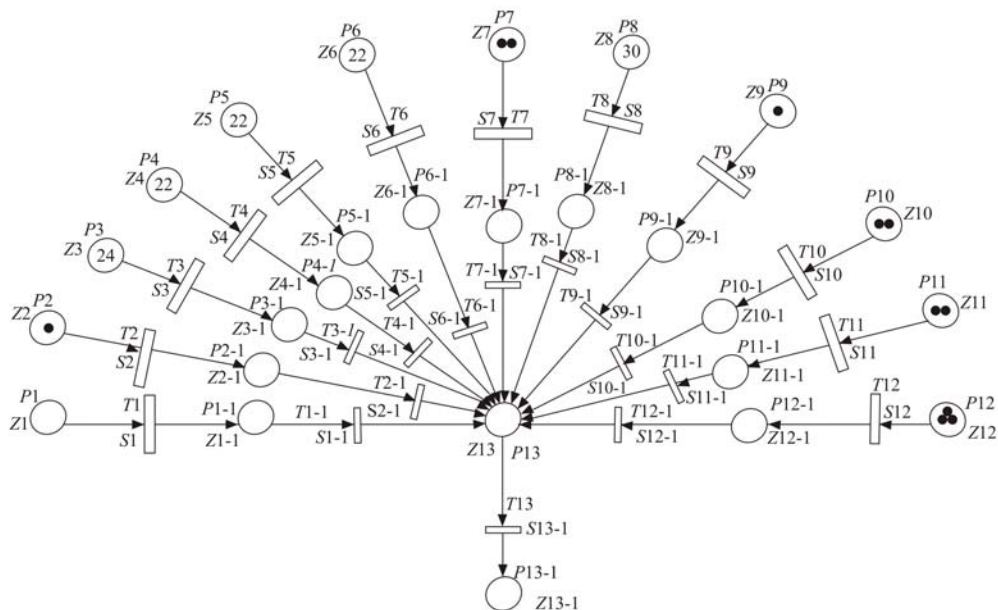


Рис. 2. Графическое представление плана эвакуации при помощи нечеткой сети Петри типа C_{PTT}

Также на графе, представленном на рис. 2, $Z[i]$ – векторы временных задержек маркеров в позициях, $S[i]$ – времена срабатывания переходов, где $Z[i] = (\alpha_i, \alpha_i, \beta_i)$ и $S[i] = (\alpha_i, \alpha_i, \beta_i)$.

Анализ процесса эвакуации людей нечеткими временными сетями Петри. Как уже было сказано выше, нечеткие временные сети Петри позволяют задать несколько структур с неопределенностью. Это позволяет последовательно вводить описание неопределенности в отдельные компоненты базовой математической структуры, такие как неопределенность задания начальной мар-

кировки, неопределенность задания времен задержек маркеров в позициях и неопределенность срабатывания переходов.

Решение практических задач нечеткого вывода характеризуется высокой трудоёмкостью. Поэтому в таких случаях не вызывает сомнения необходимость использования для этой цели специального программного инструмента, позволяющего существенно упростить создание и анализ соответствующей нечеткой модели.

В качестве такого инструмента была выбрана программная среда fuzzyTECH, которая обладает всеми необходимыми возможностями реализации систем нечеткого вывода и визуализации результатов нечеткого моделирования.

Для анализа процесса эвакуации людей при помощи нечетких временных сетей Петри авторы статьи предлагают ввести неопределенность во все три входных параметра нечетких временных сетей Петри. В нашем случае неопределенность может быть описана с позиций теории нечетких множеств.

В качестве входных переменных системы нечеткого вывода будем рассматривать три нечеткие лингвистические переменные: «количество человек» (в помещении), «время задержки» (время задержки человека в помещении), «время перехода» (время перехода человека между помещениями).

В качестве выходной лингвистической переменной будем рассматривать нечеткую лингвистическую переменную «время эвакуации».

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной «количество человек» используется множество {средняя загрузка помещения, максимальная загрузка помещения} (рис. 3, а). В качестве терм-множества второй лингвистической переменной «время задержки» используется множество {минимальное время задержки, среднее время задержки, максимальное время задержки} (рис. 3, б). Аналогичным образом в качестве терм-множества третьей лингвистической переменной «время перехода» используется множество {минимальное время перехода, среднее время перехода, максимальное время перехода} (рис. 3, в).

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной «время эвакуации» используется множество {минимальное время эвакуации, среднее время эвакуации, максимальное время эвакуации} (рис. 3, г).

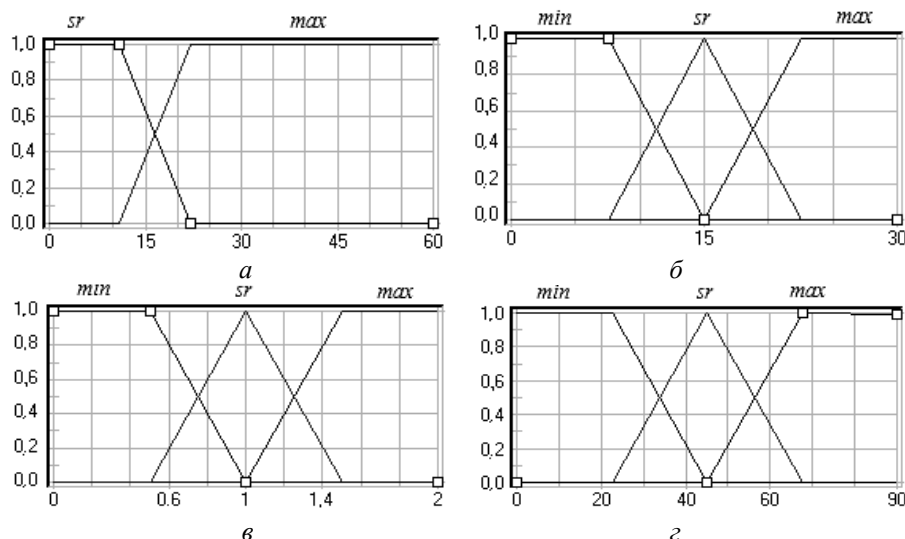


Рис. 3. Графические окна редакторов лингвистических переменных в программной среде fuzzyTECH: а – «количество человек»; б – «время задержки»; в – «время перехода»; г – «время эвакуации»

Проводя анализ данной системы нечеткого вывода для задачи анализа времени эвакуации людей из зданий и сооружений, мы можем установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных нечеткой модели. Данная зависимость отображена на рис. 4, а.

Два фрагмента, смоделированных в программной среде fuzzyTECH, и представленные на рис. 4, позволяют оценить влияние изменения значений входных нечетких переменных описанных выше, на значение выходной нечеткой переменной.

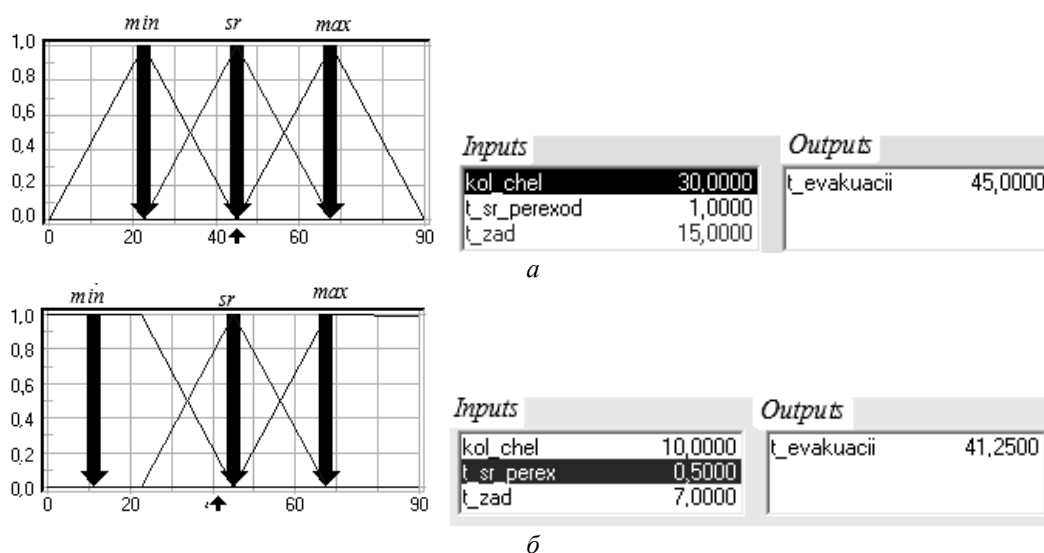


Рис. 4. Графические окна, отображающие результаты моделирования в среде fuzzyTECH: *a* – время эвакуации при максимальной загрузке помещения; *б* – время эвакуации при средней загрузке помещения

Из рис. 4, *a* видно, что данная зависимость получается при максимальной загрузке помещения, среднем времени перехода и средней задержке в помещении. При данных показателях время эвакуации равно 45 с. А из рис. 4, *б* видно, что данная зависимость получается при средней загрузке помещения, минимальном времени задержки в помещении и минимальном времени перехода. И становится приблизительно равной 41 с.

Таким образом, смоделировав процесс эвакуации людей из помещения, мы рассчитали время эвакуации при пожаре в зависимости от загрузки помещения, от времени задержки человека в помещении и от времени перехода человека между помещениями.

Заключение. В данной работе было представлено теоретическое и экспериментальное описание процесса моделирования расчетного времени эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожаров с использованием нечетких временных сетей Петри. При эксперименте была построена потоковая сеть на основе плана эвакуации. Так же был проведен анализ для системы нечеткого вывода.

Для анализа системы нечеткого вывода была выбрана программная среда fuzzyTECH, которая позволила отразить влияние входных переменных на выходную и интерпретировать данную зависимость.

Выполнение данной работы проводилось при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках мероприятия 2.4 Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», проект «Разработка Web-ориентированных геоинформационных технологий формирования и мониторинга электронного генерального плана инженерной инфраструктуры».

Литература

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12161584>, свободный (дата обращения: 24.10.2011).
2. Постановление Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/193800>, свободный (дата обращения: 24.10.2011).
3. Гриценко Ю.Б. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара. Алгоритм / Ю.Б. Гриценко, О.И. Жуковский, О.Г. Загальский // Доклады ТУСУРа. – Томск: В-Спектр, 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 213–218.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – М., 2005. – 736 с.

Гриценко Юрий Борисович

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа

Тел.: (382-2) 41-44-70

Эл. почта: ubg@muma.tusur.ru

Голубева Александра Александровна

Студентка гр. 426-2 ТУСУРа

Тел.: 8-913-825-84-26

Эл. почта: sasha_karateka@mail.ru

Gritsehko Yu.B., Golubeva A.A.

The analysis of process of human evacuation by fuzzy timed Petri nets

In the paper we offer an approach to the usage of fuzzy timed Petri nets for evaluation of the time necessary for evacuation in buildings and constructions. We have carried out the analysis of the evacuation process by fuzzy timed Petri nets. A fuzzy model is constructed in a software environment of fuzzy TECH.

Keywords: fire safety, mathematical model, stream network, stochastic-optical networks, fuzzy timed Petri nets, fuzzy networks, Petri nets.
