

Создание БПЛА вертикального взлета с наземным комплексом дистанционного управления, с учетом новых подходов к разработке средств экстренной разведки, является весьма актуальным и перспективным направлением в области мониторинга опасных явлений.

#### **Литература:**

1. Нестеренко А.Г., Кораев К.В., Сидоренко Е.А. Особенности развития системы комплексной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации в вопросах управления и взаимодействия с использованием специализированного Арктического класса Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы // Науч.-аналит. журнал «Вестник Санкт-Петербургского ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 3.

2. Картеничев А., Иванов А., Сукочев А. Задачи беспилотной авиации МЧС России в Арктической зоне // Каталог «Пожарная безопасность–2017». 2017.

3. Проведение аварийно-спасательных работ, тушение пожаров и применение пожарной и аварийно-спасательной техники в условиях крайнего севера: учеб. пособие / В.Н. Ложкин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Ложкина. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2015.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент;  
Т.Н. Антошина, кандидат педагогических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности моделирования процессов и систем с помощью сетей Петри. Приведены примеры моделирования вычислительных систем и процессов эвакуации людей при пожаре.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, математическая модель, сети Петри.

## **SIMULATE THE PROCESS AND SYSTEM WITH THE AID OF PETRI NETWORK**

A.Yu. Labinskiy; T.N. Antoshina.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

This article presents the speciality of simulate the process and system with the aid of Petri network. Presents the examples of simulate the computing system and process the evacuation peoples in the time of fire.

*Keywords:* fire safety, mathematical model, Petri network

Сети Петри – это графическое и математическое средство моделирования систем и процессов. Как правило, сетями Петри моделируют параллельные (синхронные и асинхронные) системы и процессы [1]. Области применения сетей Петри включают исследование телекоммуникационных сетей, сетевых протоколов, вычислительных систем и вычислительных процессов, производственных и организационных систем [2].

Сети Петри впервые описаны немецким математиком Карлом Петри в 1962 г. Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, состоящий из вершин двух типов – позиций и переходов, соединенных между собой дугами. Вершины одного типа

не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети. Пример сети Петри [2]:

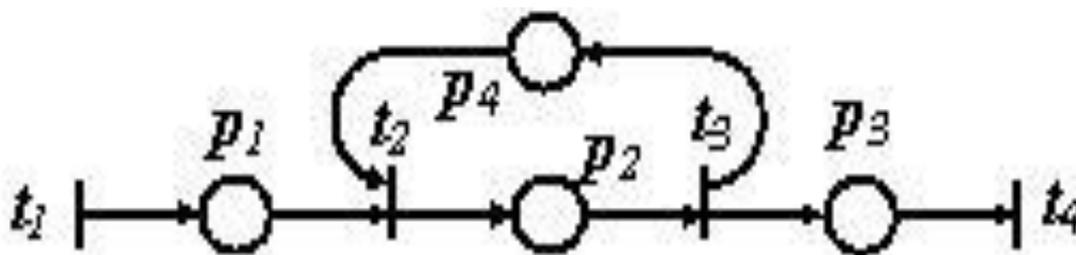


Рис. 1. Модель вычислительной системы

Данная сеть Петри моделирует вычислительную систему, которая обрабатывает задания, поступающие с устройства ввода, и выводит результаты на устройство вывода. Когда процессор свободен и в устройстве ввода есть задание, процессор начинает обработку задания.

Когда задание выполнено, оно посылается в устройство вывода. Процессор же либо продолжает обрабатывать другое задание, если оно имеется, либо ждет прихода задания, если устройство ввода еще не получило такового.

Состояния рассматриваемой вычислительной системы характеризуются следующими условиями:

- а) задание ждет обработки процессором –  $p_1$ ;
- б) задание обрабатывается процессором –  $p_2$ ;
- в) задание ожидает очереди для передачи на устройство вывода –  $p_3$ ;
- г) процессор свободен –  $p_4$ ;

В вычислительной системе могут выполняться следующие события:

- 1) задание помещается во входную очередь процессора –  $t_1$ ;
- 2) процессор начинает обработку задания –  $t_2$ ;
- 3) процессор завершает обработку задания –  $t_3$ ;
- 4) задание выдается на устройство вывода –  $t_4$ ;

Сети Петри разрабатывались для моделирования систем и процессов с параллельными взаимодействующими компонентами (синхронными и асинхронными) [3].

Процесс функционирования сети Петри может быть наглядно представлен графом достижимых маркировок. Состояние сети однозначно определяется ее маркировкой – распределением фишек по позициям.

Вершинами графа являются допустимые маркировки сети Петри, дуги помечены символом срабатывающего перехода.

Дуга строится для каждого возбужденного перехода. Построение прекращается, когда мы получаем маркировки, в которых не возбужден ни один переход, либо маркировки, содержащиеся в графе. Граф достижимых маркировок представляет собой автомат.

Некоторые виды сетей Петри [4]:

- временная сеть Петри – переходы обладают весом, определяющим продолжительность срабатывания (задержку);
- стохастическая сеть Петри – задержки являются случайными величинами;
- функциональная сеть Петри – задержки определяются как функции некоторых аргументов, например, количества меток в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов;
- цветная сеть Петри – метки могут быть различных типов, обозначаемых цветами, тип метки может быть использован как аргумент в функциональных сетях;

– ингибиторная сеть Петри – возможны ингибиторные дуги, запрещающие срабатывания перехода, если во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, находится метка;

– иерархическая сеть – содержит не мгновенные переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические, сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла вложенной сети.

Основными свойствами сети Петри являются [5]:

– ограниченность – число меток в любой позиции сети не может превысить некоторого значения  $K$ ;

– безопасность – частный случай ограниченности,  $K=1$ ;

– сохраняемость – постоянство загрузки ресурсов,  $\sum(A_i * N_i) = \text{const}$  постоянна, где  $N_i$  – число маркеров в  $i$ -й позиции;  $A_i$  – весовой коэффициент;

– достижимость – возможность перехода сети из одного заданного состояния (характеризуемого распределением меток) в другое;

– живость – возможность срабатывания любого перехода при функционировании моделируемого объекта.

Сети Петри используются для моделирования асинхронных систем, функционирующих как совокупность параллельных взаимодействующих процессов. Анализ сетей Петри позволяет получить информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы.

Причинно-следственная связь событий в асинхронных системах задается множеством отношений вида «условия-события».

Построение моделей систем в виде сетей Петри заключается в следующем [4]:

1. Моделируемые процессы описываются множеством событий (действий) и условий, определяющих возможность наступления этих событий, а также причинно-следственными отношениями, устанавливаемыми на множестве пар «события-условия»;

2. Определяются события-действия, последовательность выполнения которых управляется состояниями системы. Состояния системы задаются множеством условий, формируемых в виде предикатов. Количественно условия характеризуются величиной, которая выражается числами натурального ряда;

3. Условия, в зависимости от значений их количественных характеристик, могут выполняться или нет. Выполнение условий обеспечивает возможность реализации событий. Условия, с фактом выполнения которых связывается возможность реализации событий, называются предусловиями. Реализация события обеспечивает возможность выполнения других условий, находящихся с предусловиями в причинно-следственной связи. Эти условия называются постусловиями.

Несомненным достоинством сетей Петри является математически строгое описание модели. Это позволяет проводить анализ модели с помощью вычислительной техники.

Преимущества использования сетей Петри в моделировании [3]:

– большие выразительные возможности в представлении параллельных синхронных и асинхронных систем;

– графическое представление сети;

– наглядность модели и легкость ее изучения;

– возможность иерархического моделирования;

– возможность описания системы на различных уровнях абстракции;

– возможность машинной поддержки в проектировании.

Рассмотрим пример использования сетей Петри для моделирования процесса эвакуации людей из помещения при возникновении пожара [6]. В данной модели используются диаграммы, состоящие из двух типов объектов: события (множество мест) и условия (переходы).

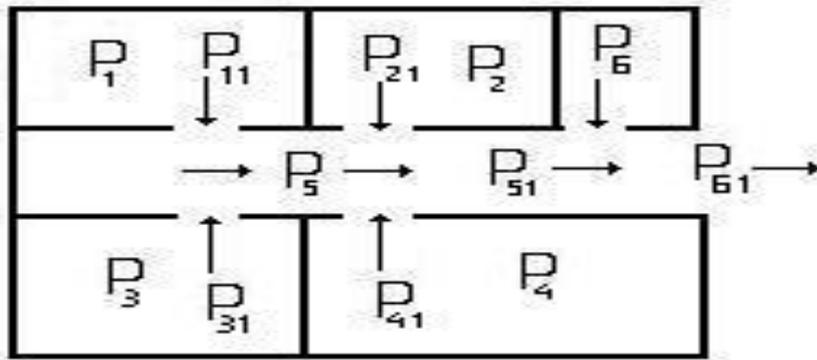


Рис. 2. План эвакуации из помещений

В графическом представлении сетей переходы изображаются «барьерами», а места кружочками. Стрелками отображаются их непосредственные зависимости. Внутри кружочка могут быть отображены фишки или цифры, показывающие количество фишек (обычно если фишек больше трех, то отображаются цифры). Например, помещению с номером  $P_1$  на рис. 2 соответствует кружок с номером  $P_1$  на рис. 3. Дверные проемы также являются местами, проему  $P_{11}$  на рис. 2 соответствует кружок  $P_{11}$  на рис. 3. А  $t_1$  – это условие перехода фишки из помещения  $P_1$  в  $P_2$ . Под фишками в данном представлении будем понимать людей в помещении.

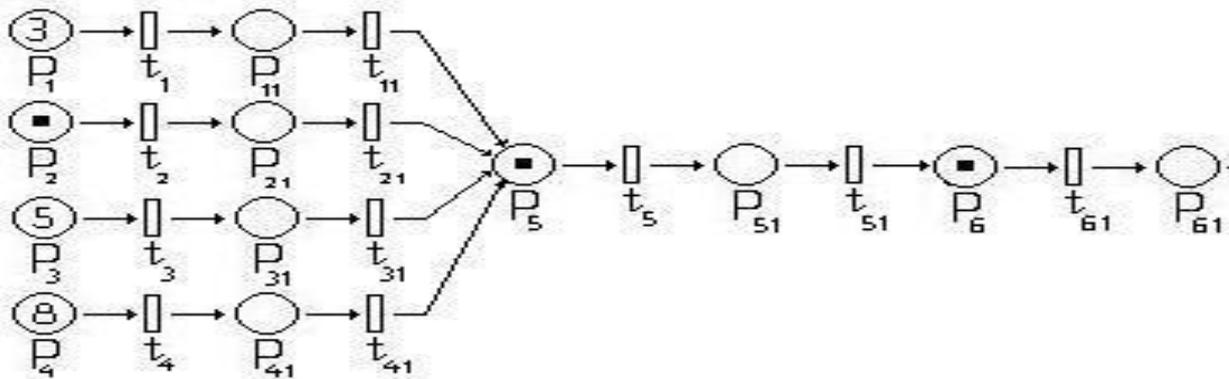


Рис. 3. Потокосеть Петри

Переходы, моделируемые представляемыми потоками сетей, имеют один вход, следовательно, можно говорить о моделировании ординарными потоковыми сетями.

Фактор наличия людей в помещении может носить как вероятностный, так и нечеткий характер. Одно из обобщений сетей Петри связано с реализацией в них дополнительных свойств, которые позволяют описывать в них неопределенность поведения систем в процессе их функционирования. Здесь могут быть предложены два подхода: описание неопределенности срабатывания переходов, находящихся в состоянии конфликта; описание неопределенности количества фишек (людей в помещениях) в позициях.

Неопределенность наличия фишек (людей в помещениях) может быть описана как с вероятностных позиций, так и с позиций теории нечетких множеств.

Моделируемая сеть Петри имеет следующие характеристики:

1. Моделируемая сеть является ограниченной, то есть любое место ограничено (здание и сооружение конечно), а значит множество допустимых разметок конечно.

2. Сеть не является безопасной, так как распределение степеней принадлежности того или иного человека к помещению может принимать значения больше единицы для нечеткой потоковой сети.

3. Сеть является консервативной, то есть сумма меток во всех местах сети постоянна (количество людей в здании постоянно, предполагаем, что при эвакуации новые люди в здании не появляются). Процесс моделирования должен закончиться при накоплении всех меток в конечной позиции. Метки не покидают сеть, они накапливаются в последней позиции.

4. В процессе моделирования сети, в зависимости от начальных условий, возможно появление мертвых переходов (переход, который может не сработать). То есть потенциально существуют тупиковые разметки, при которых люди за отведенное время не успевают покинуть помещение.

5. Переходы, существующие в сети, являются устойчивыми, так как сеть является ординарной и переходы не влияют на работу друг друга (каждый дверной проем или помещение функционирует независимо от другого дверного проема или помещения).

Таким образом, механизм нечетких и стохастических сетей Петри позволяет проводить моделирование различных систем и процессов, например, процесс эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожаров. Сеть Петри, моделирующая процесс эвакуации людей при пожаре, не является безопасной, так как в зависимости от начальных условий возможно появление переходов, которые могут не обеспечивать безопасную эвакуацию людей. Однако данная проблема может быть решена путем моделирования путей эвакуации людей таким образом, чтобы избежать появления мертвых переходов. Для этого можно предусмотреть сооружение дополнительных пожарных выходов.

#### **Литература**

1. Джеймс Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. М.: Мир, 1984.
2. Котов В.Э. Сети Петри. М.: Наука, 1984.
3. Лескин А.А. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989.
4. Зайцев Д.А. Композиционный анализ сетей Петри // Кибернетика и системный анализ. 2006. № 1.
5. Зайцев Д.А. Универсальная сеть Петри // Кибернетика и системный анализ. 2012. № 4.
6. Гриценко Ю.Б., Жуковский О.И., Загальский О.Г. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара // Доклады Томского университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ РАЗЛИВА ОСНОВНЫХ ВИДОВ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор, заслуженный  
работник высшей школы Российской Федерации;**

**А.А. Аксенов.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Обосновывается необходимость уточнения методик прогнозирования последствий аварий на подвижных химически опасных объектах данными по площади реального разлива аварийно химически опасных веществ. Рассматривается методика проведения эксперимента и приводятся данные по площади разлива основных аварийно химически опасных веществ, на примере обосновывается справедливость учета этих данных.