

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

*В работе рассматриваются подход к моделированию технологических процессов, основанный на использовании сетей Петри. Для данной цели авторами статьи разрабатывается программное обеспечение, на описание работы которого сделан особый упор в статье. Основная цель данной работы – показать возможность, целесообразность и удобство моделирования технологических процессов с использованием предложенного подхода.*

### ВВЕДЕНИЕ

При проектировании технологических процессов различной сложности возникает вопрос алгоритмического моделирования и визуализации проводимых расчетов. Современные средства моделирования зачастую либо направлены на моделирование каких-либо определенных технологических процессов: лесопереработки, нефтепереработки и т. д., либо имеют большую сложность использования и высокий порог вхождения. Таким образом встает вопрос возможности быстрого и наглядного моделирования. Именно легкость и удобство работы с сетями Петри и стала основной причиной развития данной темы.

### I. ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сети Петри позволяют моделировать непосредственно алгоритмы работы определенных систем, где каждая позиция представляется некоторым состоянием системы, а каждый переход – некоторым действием, определяющим изменение состояния системы. Таким образом можно получить последовательность состояний системы, где каждое состояние определяется количеством фишек в позициях. Для получения лучшего результата каждому переходу присваивается длительность. Тогда мы получаем возможность отслеживать состояние системы во времени посредством двух типов временных диаграмм: диаграммы количества фишек в позициях от времени и диаграммы длительности работы переходов от времени, что дает возможность наблюдать время обработки определенной детали, время ее появления на определенном участке линии или время загрузки определенных участков технологического процесса. Дополнительные возможности для моделирования дает присваивание фишкам цвета, тем самым, например, разделяя типы деталей на производстве, или различные типы связи: информационную, физическую, электрическую и т.д. Дополнительную гибкость процессов и алгоритмов дает возможность настройки приоритетности переходов друг относительно друга.

### II. ДОПОЛНЕНИЯ К ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ

Для расширения возможностей стандартных сетей Петри в контексте моделирования технологических процессов, авторами статьи были добавлены следующие элементы:

- истоки – элементы, позволяющие определять периодически появляющиеся входные воздействия, генерируя фишки с определенной периодичностью. Например для моделирования работы автоматизированной погрузки на складе при стабильном поступлении заготовок из цеха. То есть Истоки имеют выход, но не имеют входов. В рамках истоков так же присутствует элемент цветной конвейер, который позволяет определять время, количество и цвет фишек, генерируемых определенным истоком.
- стоки – элемент, позволяющие накапливать фишки, является конечным элементом сети, например для определения итогового количества отправленных деталей за смену с определенной точки производства. Стоки имеют входы, но не имеют выходов.
- вложенные переходы – способ сохранения повторяющегося набора элементов сети, посредством объединения в единый переход. Условиями возможности объединения участка сети во вложенный являются: первым элементом, с которым соединены входные линии, и последним элементом, с которым соединены выходные линии вложенного перехода, должен быть переход. Вложенные переходы позволяют иметь несколько независимых входов и выходов, логически связанных с различными элементами участка сети. Пример использования вложенного перехода показан на рисунке 1 в конце данного тезиса.
- сигнальные переходы – способ введения в сети Петри операторов сравнения: больше или равно и меньше. Во-первых, сигнальные переходы не генерируют фишек на выходе и не используют фишки из позиций, указывающих на них, а только выдают сигнал, при удовлетворении входных условий (наличие либо отсутствие нужного количества фишек в позициях). Исходя из первой

особенности сигнальные переходы должны соединяться со входами других переходов, а не с позициями. В-третьих, выходы сигнальных переходов можно инвертировать, добываясь тем самым условия меньше.

### III. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В первую очередь программа позволяет собирать сети Петри из стандартных компонентов: позиций, переходов, прямых и инверсных соединительных линий. Так же в программе предусмотрена возможность задавать цвета фишкам и перехода, таким образом, что переходы определенного цвета принимают на вход и генерируют только фишки того же цвета. Стандартный цвет всех фишек и переходов – черный. Существует два возможных варианта моделирования работы сети: по дискретным отсчетам и по времени. В этапе по дискретным отсчетам любой переход срабатывает за один такт и возможна настройка отображения скорости переключения сети, например 5 тактов в секунду в течении 200 тактов. При моделировании по времени каждому переходу присваивается длительность. Длительность определяет время работы перехода при наличии благоприятных условий на входе.

Существует несколько различных способов визуализации работы сетей Петри. Во-первых, непосредственное наблюдение за сетью со включенным режимом моделирования, что дает наглядную картину работы сети во времени, работающие переходы подсвечиваются, в позициях отображается количество фишек. Для использования данного рода моделирования в презентациях существует возможность сохранения работы сети в формате .gif. Специально для циклических задач основывающихся на оптимизации

времени работы всей системы существует возможность построения временных диаграмм сети, как для наблюдения изменения количества фишек в позициях в определенный момент времени, так и для наблюдения времени срабатывания переходов. Так же можно отслеживать количество фишек вышедших из истоков и вошедших в стоки.

Учитывая дополнения к стандартным сетям Петри расчет состояний системы в матричной форме меняет вид и не представляет особого интереса, учитывая высокую требовательность к вычислительным ресурсам системы для моделирования больших объектов. На смену матричному пересчету пришла система связанных списков, в которой каждому элементу соответствует контейнер, содержащий адреса всех элементов входящих в данный, и всех элементов выходящих из данного, что позволяет делать итеративный пересчет состояния сети.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На текущий момент практически полностью готова концепция программного обеспечения, представленного в работе. Само ПО находится в ранней альфа версии. Данная программа может быть полезна при разработке алгоритмов работы промышленных и мобильных роботов, станков с ЧПУ, производственных линий и других процессов, выполняемых либо с определенной периодичностью, либо по строго заданному алгоритму.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория сетей Петри и моделирование систем / Питерсон Дж. Л. – Москва: Мир, 1984. – 264 с.
2. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами / Ившин В. П., Перухин М. Ю. – Москва.: ИНФРА-М, 2017. – 420 с.

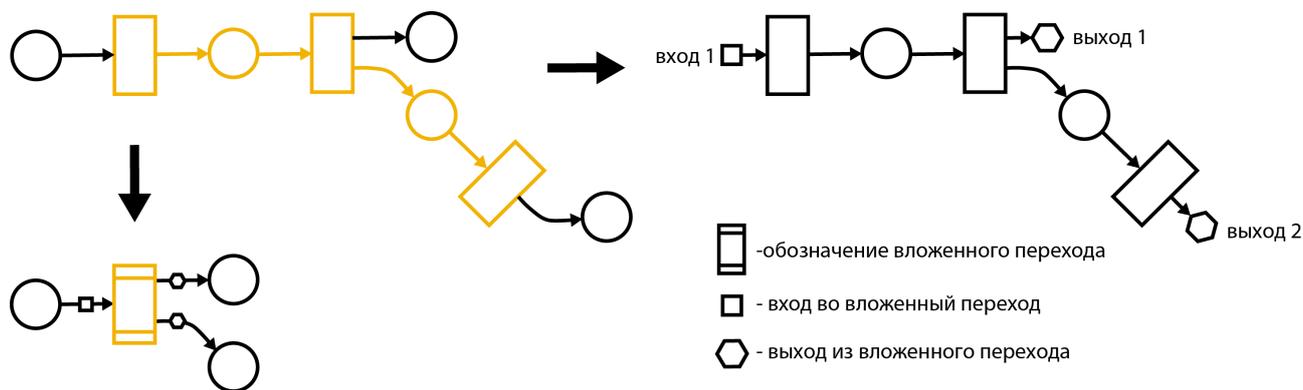


Рис. 1 – Пример использования вложенных переходов

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Konkolovichv@mail.ru.