**Глава 1. Постановка задачи. Общее описание проблемы**

Существующие реализации цветных сетей Петри не рассматривают вопросов анализа возможных последствий для модели в условиях изменении параметров и свойств сети вне заданных значений. Подобный анализ позволил бы выявить «узкие» места реализованной модели - непредусмотренные изменения могут привести к критическим ситуациям в моделируемой системе, анализ применяется для выявления подобных условий.

В данной работе предлагаются методы проведения анализа сети, подходы к описанию исследуемых изменений и применению их к существующей сети Петри. Для обоснования эффективности предложенных методов предлагается программная система.

**Предмет исследования**: цветные сети Петри.

**Цель:** разработать методы анализа цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов и создать программную систему для демонстрации результатов работы предложенного анализа.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

- исследование теории цветных сетей Петри

- разработка и описание методов анализа модели, описанной цветной сетью Петри

- разработка программной системы для демонстрации предложенных методов

Разрабатываемые методы анализа не должны противоречить общей теории сетей Петри и также быть описаны формально. Эта глава посвящена исследованию теории сетей Петри и описанию математической модели анализа.

* 1. **Математическая модель цветной сети Петри**

Сеть Петри определяется пятеркой , где

,  - множество позиций;

,  - множество переходов;

 - функция следования;

 - функция предшествования;

 - начальное маркирование (состояние) сети;

 - множество положительных целых чисел.

Функции  и  задают множества дуг  и  соответственно.

Дуги, предшествующие позиции , обозначим множеством , а дуги, предшествующие переходу , множеством .

Здесь запись  означает наличие дуги , а запись  - дуги . Аналогично, дуги, следующие из  и , представим множествами , .

Входные позиции перехода  объединяются в множества его предшественников , а выходные позиции – в множества позиций–последователей .

Маркирование сети представляется вектором , где  - число меток в позиции . Переход  возбужден при маркировании  и может сработать, если выполняется условие , то есть число меток  больше или равно числу дуг , что соответствует .

Срабатывание перехода  приводит к тому, что каждая позиция  теряет  меток, а каждая из позиций  получает  меток.

Цветная сеть Петри отличается тем, что токены могут быть разных типов. Также, токены могут иметь параметры – значения свойств соответствующих типов токенов. В данной работе рассматривается введение и различных типов токенов и различных свойств токенов. Разделение на типы и добавление параметров к токенам накладывает следующие изменения в математической модели сети Петри:

- Маркирование сети теперь определяется не с помощью целых чисел (количества токенов в состояниях). Маркирование должно содержать информацию о количестве всех видов токенов в каждом состоянии и о значениях свойств в токенах.

TODO: [новая формула]

- Срабатывание перехода теперь зависит не от числа токенов во входных позициях и количестве дуг. Срабатывания переходов теперь описываются функциями от количества токенов указанных типов и значений свойств токенов. Количество дуг теперь может не иметь значения – количество токенов необходимое для срабатывания перехода, и количество токенов помещаемых в выходные позиции теперь указывается в функциях переходов, также как и значения свойств токенов.

TODO: [новая формула]

Введение цветных сетей Петри повышает удобство моделирования и позволяет описывать более сложные процессы и явления. Чем сложнее становятся модели, тем сложнее становится человеку предсказать зависимости в поведении системы. Описывая сложную систему, разработчик модели сталкивается с необходимостью разделять ее на более мелкие части и описывать их по-отдельности. Также, разработчик не может учесть всех возможных вариантов и ситуаций в системе – реализуется только та часть функциональности, которая представляет наибольший интерес и которая считается важной в описываемом процессе (по определению модель – это упрощенное представление реального процесса).

Как результат – модель системы не предусматривает определенное множество сценариев работы. И без проведения специальных исследований, предсказать хотя бы примерные последствия этих сценариев невозможно из-за сложности модели.

* 1. **Математическая модель процедуры анализа**

Анализ цветных сетей Петри в условиях изменения свойств модели вне заданных переделов опирается на допущение, что не весь диапазон возможных значений параметров сети был учтен при разработке модели. Так как Сеть Петри определяется пятеркой N = {P,T,J,O,M} – поэтому изменения параметров можно разделить на пять групп:

1. изменение параметров позиций. TODO: [новая формула]

2. изменение параметров переходов. TODO: [новая формула]

3. изменение параметров функций следования. TODO: [новая формула]

4. изменение параметров функций предшествования. TODO: [новая формула]

5. изменение параметров маркирования сети. TODO: [новая формула]

Отдельно можно отметить изменение параметров из нескольких указанных групп одновременно при заданных зависимостях между ними. Для этого введем обозначение функций от функций изменения. TODO: [новая формула]

Каждый из вариантов изменения параметров сети может быть применен как перед началом выполнения модели, так и в процессе ее работы. Динамическое изменение параметров вводит еще одну переменную в функции изменения – время (в самом простом случае это шаг выполнения сети Петри). Для возможности указания нескольких шагов или диапазона шагов, на которых нужно применить изменение, параметр «время» можно предствлять множеством целых чисел. TODO: [новая формула]

Введем формальный оператор применения функций изменения для сети петри следующим образом. TODO: [новая формула]

После применения изменений в сети Петри, необходимо собрать информацию о последствиях этих изменений в модели. Перед выполнением анализа, разработчик дожен указать как предполагаемые изменения сети, так и интересующие его параметры последствий. Изменения могут коснуться всех частей сети Петри, поэтому параметры последствий также можно разделить на пять групп:

1. Последствия для параметров позиций. TODO: [новая формула]
2. Последствия для параметров переходов. TODO: [новая формула]
3. Последствия для параметров функций следования. TODO: [новая формула]
4. Последствия для параметров функций предшествования. TODO: [новая формула]
5. Последствия для параметров маркирования сети. TODO: [новая формула]

Также, разработчик может быть заинтересован в анализе последствий касающихся нескольких групп одновременно. На формирование отчета о последствиях могут быть наложены функциональные зависимости от параметров последствий. Например: разработчика интересует только случаи, когда в определнной позиции находятся более чем 10 токенов определенного типа с определенными свойствами, но только при условии что определенный переход сработал не более 20 раз.

Для описания подробных последствий введем следующее обозначение. TODO: [новая формула]

Как и в случае с параметрами изменения, в случае последвий можно ввести временную характеристику. Она показывает, что разработчика интересуют последствия примененных изменений только после прогона модели определенное количество шагов. Введем следующее обозначение. TODO: [новая формула]

Процедура анализа может быть описана следующим образом: разработчик описывает параметры возможных изменений для модели, описывает интересуемые последствия для сети и запускает сеть Петри. Процедура анализа применяет изменения в соотвествии с указанными параметрами (шаг выполнения сети, параметры сети, которые нужно изменить) и собирает статистику последствий в соответствии с указанными параметрами для последствий.

В итоге разработчик имеет возможность оценить статистику последствий и соответствующие примененные изменения. Стоит заметить, что статистика последствий может быть использована не только с целью обнаружения критических для сети изменений, но и с целью получения готовых вариантов решения возникающих проблем. Если итогом применения изменения «И1» становится возникновение критической ситуации, то примененное изменение «И2» решает возникшие проблемы и дальнейшее выполнение сети Петри не сталкивается с критическими ситуациями.

Для описания модели процесса анализа введем следующие обозначения. TODO: [новая формула]

Процесс анализа теперь формально можно описать как: TODO: [новая формула]

Предложенный анализ является инструментом исследования уже готовых моделей, построенных на основе цветных сетей Петри. Механизмы анализа не вносят изменений в структуру сети, но изменяют ее параметры. Следующим шагом в развитии теории подобного анализа сетей Петри может быть исследование изменений самой струкруры сети, когда имеется возможность удалять/добавлять состояния, переходы и функции переходов.