

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор ИСП РАН,

академик РАН,

доктор физико-математических наук

В. П. Иванников

21 апреля 2014 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Башкина Владимира Анатольевича

«Некоторые методы ресурсного анализа сетей Петри»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 05.13.17 - Теоретические основы информатики

### Актуальность

Проектирование параллельных и распределенных систем — важнейшее теоретическое и практическое направление современной информатики. Такими системами являются, например, компьютерные сети, вычислительные комплексы с распределенной архитектурой, протоколы передачи данных, многопоточные программы, модели технологических процессов, сложные системы логического управления и реагирующие системы. Задача проектирования подобных систем настолько сложна, что для её решения требуются фундаментальные исследования, основанные на различных формальных методах и средствах. В литературе предложено достаточно большое число разнообразных формальных моделей параллельных систем и процессов.

Одним из наиболее распространенных средств для моделирования, спецификации и анализа параллельных систем являются сети Петри. Причиной их популярности объясняется, прежде всего, адекватностью представления параллелизма, графической наглядностью, а также значительным накопленным опытом спецификации и анализа распределенных систем.

В то же время теория параллелизма (и, в частности, теория сетей Петри) далека от завершения, так как в ходе развития науки и техники появляются новые виды параллельных и распределенных систем, сложность которых постоянно растет. Чтобы успешно решать задачи анализа и синтеза систем со сложной структурой, необходимо дальнейшее развитие и совершенствование формальных методов их исследований. Важность данного направления обусловлена прежде всего необходимостью обеспечения надежности таких систем.

Диссертация В.А. Башкина посвящена актуальному направлению — разработке нового подхода к моделированию и анализу систем, формализованных в виде сетей Петри. Особенностью представленных в диссертации методов



является использование понятия ресурса сети Петри. Автором построена теория эквивалентных ресурсов, предложены новые ресурсно-ориентированные формализмы, а также разработаны методы анализа распределенных систем с ресурсами. Всё это вносит существенный вклад в развитие теории параллелизма.

### **Основные научные результаты и их значимость**

1. Автором разработана теория бисимуляционно-эквивалентных ресурсов, которая позволяет уточнить границу неразрешимости для отношений поведенческой эквивалентности сетей Петри. В диссертации показано, что достаточно естественное сужение бисимуляции – подобие ресурсов – всё ещё неразрешимо, но при этом его можно эффективно приблизить (как сверху, так и снизу). Представленные в работе исследования в области эквивалентностей ресурсов можно расценивать как существенное дополнение теории бисимуляций.
2. Предложенные методы адаптивного управления на основе выявления и замены подобных ресурсов могут быть полезны при разработке отказоустойчивых распределённых систем и технологических процессов.
3. Автором разработаны новые эффективные методы символьных вычислений над одномерными полулинейными множествами при помощи однопериодических базисов. Эти методы позволяют проводить анализ бесконечных множеств (в частности, множеств достижимости систем с неограниченным ресурсом) за полиномиальное время относительно размеров исходных базисов, что делает их достаточно перспективными для применения в системах верификации.
4. В диссертации предлагаются новые алгоритмы символьного анализа сетей Петри с одномерным ресурсом, предназначенные для решения проблем достижимости, верификации формулы логики EF, аппроксимации бисимуляции и проверки правильной организованности сети. Эти результаты существенно дополняют теорию односчётчиковых систем, поскольку благодаря использованию однопериодических базисов позволяют эффективно решать не только локальные, но и глобальные версии указанных проблем.
5. Автором доказана разрешимость проблемы бездефектности для сетей потоков работ с одномерным ресурсом. Предложенный алгоритм проверки значительно расширяет возможности формального анализа схем потоков работ, поскольку, в отличие от известных методов, позволяет рассматривать системы с бесконечными множествами состояний.
6. Определение и исследование в данной работе формализма сетей активных ресурсов (АР-сети), по сути, создаёт новый язык для моделирования распределенных систем с гибкой и динамически изменяющейся структурой. Этот формализм позволяет по-новому взглянуть на классические сети Петри и применить для их анализа новые инструменты. В частности, в диссертации представлены новые методы композиционного анализа, использующие представление процессов в виде сетей активных ресурсов. Эти подходы, а также предлагаемые автором специализированные расширения языка АР-сетей позволяют существенно расширить область использования формальных методов при



моделировании и верификации распределенных систем с динамической структурой.

7. Результаты, полученные при исследовании клеточных Р-сетей, дополняют как теорию сетей Петри, так и теорию асинхронных клеточных автоматов. Предлагаемая модель объединяет в себе ключевые возможности этих двух классических формализмов. Большой практический интерес представляют описательные возможности нового формализма, обусловленные простой клеточной структурой системного уровня сети и удобным автоматным представлением отдельного агента.

### **Оценка достоверности и новизны результатов**

Основные выводы и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы строгими математическими доказательствами. Определения, утверждения и их доказательства основаны на корректном использовании аппарата теории формальных моделей, алгебры и математической логики. Все результаты, полученные в диссертационной работе и представленные на защиту, являются новыми.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Представленной в диссертации исследование имеет важное значение как с точки зрения теории параллельных систем, так и с точки зрения ее приложений. Результаты работы могут быть использованы при создании автоматизированных систем моделирования и верификации параллельных систем и процессов. Разработанные автором модели, методы и алгоритмы могут служить теоретической базой для дальнейших исследований и практических разработок в области преобразования, редукции, верификации и анализа формальных моделей параллельных и распределенных систем.

### **Замечания по содержанию диссертации**

1. Остался нерешенным вопрос об алгоритмической разрешимости бисимулярности ресурсов в сетях Петри.
2. Не для всех алгоритмов, представленных в третьей главе, приводятся оценки сложности.
3. В разделе 3.5 хотелось бы видеть соображения автора по поводу обобщения предложенного метода проверки бездефектности на случаи большей размерности.
4. Раздел 4.3, посвященный модификациям сетей активных ресурсов, несколько перегружен материалом.

В то же время отмеченные недостатки не снижают ценности проделанной диссертантом работы, и по большей части являются пожеланиями для дальнейшего обобщения и углубления результатов.

## Общая оценка диссертации

Диссертация В. А. Башкина представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые результаты, полученные диссертантом, вносят существенный вклад в развитие теории сетей Петри и могут быть квалифицированы как научное достижение. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании семинара отдела «Технологий программирования» Института системного программирования РАН (протокол № 12 от «25» декабря 2013 г.).



Ведущий научный сотрудник  
Института системного программирования РАН,  
доктор физико-математических наук  
И. Б. Бурдонов