

## **Отзыв научного руководителя**

на диссертацию Буренкова Владимира Сергеевича

«Методы и средства верификации протоколов когерентности памяти»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение

вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Количество процессорных ядер, размещаемых в составе современных микропроцессоров, постоянно увеличивается. Основной проблемой, возникающей при создании многоядерных микропроцессоров и микропроцессорных систем с общей памятью, является обеспечение согласованного, или когерентного, состояния памяти. За ее решение отвечают специальные устройства в составе микропроцессора, взаимодействующие друг с другом по протоколу когерентности. Ввиду сложности современных протоколов когерентности, ошибки возможны как на этапе проектирования протоколов, так и на этапе их аппаратной реализации. Ошибки в протоколе когерентности особенно критичны и должны быть выявлены до начала реализации подсистемы памяти микропроцессора.

По результатам выполненного Буренковым В. С. аналитического обзора работ, в которых представлены методы верификации протоколов когерентности памяти, установлено, что существующие методы обладают существенными недостатками, что определяет невозможность их непосредственного применения для решения задачи верификации протоколов когерентности памяти микропроцессоров, разрабатываемых для серийного производства. Данное обстоятельство определяет чрезвычайную актуальность разработки новых методов и средств верификации протоколов когерентности памяти, чему и посвящена диссертация Буренкова В. С.

Основными научными результатами диссертационной работы Буренкова Владимира Сергеевича являются:

1. Метод построения абстрактных формальных моделей протоколов когерентности памяти, основанный на синтаксических преобразованиях моделей, написанных на языке *Promela*.

2. Сформулированная и доказанная теорема о сохранении абстрактными преобразованиями свойств-инвариантов (в виде которых предъявляются требования к протоколам когерентности), определяющая корректность предложенного метода верификации.

3. Методика верификации протоколов когерентности памяти.

4. Алгоритмы преобразования дерева абстрактного синтаксиса, которое является промежуточным представлением *Promela*-моделей, позволяющие автоматически выполнять предложенные преобразования моделей.

Указанные результаты легли в основу созданной Буренковым В. С. программной системы, которая позволила с высокой степенью автоматизации провести верификацию протокола когерентности 16-ядерной системы из микропроцессоров Эльбрус-4С, разработанной в АО «МЦСТ».

Таким образом практическая значимость обсуждаемой работы может быть выражена следующим образом:

1. Предложен подход к разработке *Promela*-процессов, моделирующих кэш-контроллеры и координирующий их работу системный коммутатор. Подход позволяет естественным образом представлять модели протоколов когерентности, представленные множествами взаимодействующих конечных автоматов, на языке *Promela*.

2. Разработан программный инструмент, позволяющий с помощью операций над деревом абстрактного синтаксиса, соответствующему исходной модели, автоматизировать преобразования *Promela*-моделей.

3. Разработана методика верификации протоколов когерентности памяти, включающая весь процесс от создания формальных моделей протоколов

когерентности памяти до их параметризованной верификации.

Научной работой в области верификации протоколов когерентности памяти Буренков В. С. начал заниматься в 2011 г. В 2012 г. защитил магистерскую диссертацию, в которой представил ряд разработанных им формальных моделей части протокола когерентности, реализованного в микропроцессоре Эльбрус-4С, и создал программную инфраструктуру, обеспечивающую проведение верификации методом проверки моделей. Анализ полученных в работе результатов, в частности, ограничений метода проверки моделей, определили направления дальнейших исследований. В том же году Буренков В. С. поступил в аспирантуру кафедры «Компьютерные системы и сети» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В период обучения в аспирантуре Буренков В. С. продолжил научные исследования. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 8 научных статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ. Основные положения диссертации Буренков В. С. представил на VII Всероссийской молодежной научно-инженерной выставке «Политехника» в МГТУ им. Н.Э. Баумана, 9-м и 10-м международным коллоквиумах молодых ученых по программной инженерии SYRCoSE, 7-й Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем», 14-м международном научно-технологическом симпозиуме IEEE East-West Design and Test, а также на Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ в области инженерных и гуманитарных наук, проводимом в рамках Всероссийского инновационного молодежного научно-инженерного форума «Политехника». По итогам конкурса Буренков В. С. объявлен победителем и награжден дипломом первой степени.

Отмечу высокую научную квалификацию Буренкова В. С., его большую работоспособность, целеустремленность, увлеченность, ответственное

отношение к проводимым научным исследованиям, способность самостоятельно решать сложные научно-технические задачи.

Буренков Владимир Сергеевич является сложившимся научным работником, выполненная им диссертация на актуальную тему носит законченный характер.

Считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Буренков Владимир Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Научный руководитель,  
доцент кафедры «Компьютерные  
системы и сети» ФГБОУ ВО  
«Московский государственный  
технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)»,  
кандидат технических наук, доцент

С. Р. Иванов

27.02.2017г.

Подпись доцента С. Р. Иванова заверяю

АМ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВ  
ИМУЩЕСТВА  
ТЕЛ. 8-499-380-60-48

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
1005005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Телефон (499) 263-6391  
Факс (499)267-4844  
Эл. почта bauman@bmstu.ru