

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.12, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 14 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Кушик Натальи Геннадьевны «Методы выделения подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

На заседании присутствовали 17 из 21 члена диссертационного совета, в том числе 7 докторов физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации):

№	Ф.И.О.	Ученая степень	Специальность в совете
1.	Горцев А. М., председатель	доктор технических наук	05.13.01
2.	Назаров А. А., заместитель председателя	доктор технических наук	05.13.01
3.	Тарасенко П. Ф., ученый секретарь	кандидат физико- математических наук	05.13.01
4.	Букреев В. Г.	доктор технических наук	05.13.01
5.	Васильев В. А.	доктор физико-математических наук	05.13.01

6.	Дмитренко А. Г.	доктор физико-математических наук	05.13.01
7.	Дмитриев Ю. Г.	доктор физико-математических наук	05.13.01
8.	Домбровский В. В.	доктор технических наук	05.13.01
9.	Евтушенко Н. В.	доктор технических наук	05.13.01
10.	Конев В. В.	доктор физико-математических наук	05.13.01
11.	Кошкин Г. М.	доктор физико-математических наук	05.13.01
12.	Матросова А. Ю.	доктор технических наук	05.13.01
13.	Рожкова С. В.	доктор физико-математических наук	05.13.01
14.	Смагин В. И.	доктор технических наук	05.13.01
15.	Спицын В. Г.	доктор технических наук	05.13.01
16.	Удод В. А.	доктор технических наук	05.13.01
17.	Шумилов Б. М.	доктор физико-математических наук	05.13.01

Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор технических наук, профессор Горцев Александр Михайлович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Н. Г. Кушику ученую степень доктора физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.12
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.12.2016 г., № 180

О присуждении **Кушик Наталье Геннадьевне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Методы выделения подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов»** по специальности **05.13.01** – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) принята к защите 02.09.2016 г., протокол № 175, диссертационным советом Д 212.267.12 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Кушик Наталья Геннадьевна**, 1987 года рождения.

В 2010 году соискатель окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук **«Методы синтеза установочных и различающих экспериментов с недетерминированными автоматами»** по специальности **05.13.01** – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) защитила в 2013 году в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности доцента кафедры информационных технологий в исследовании дискретных структур в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре информационных технологий в исследовании дискретных структур федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант – **Евтушенко Нина Владимировна**, доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лаборатория компьютерных наук, заведующий лабораторией; по совместительству – кафедра информационных технологий в исследовании дискретных структур, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Бурдонов Игорь Борисович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт системного программирования Российской академии наук, отдел «Технологии программирования», ведущий научный сотрудник

Волков Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», лаборатория комбинаторной алгебры, главный научный сотрудник

Бандман Ольга Леонидовна, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория синтеза параллельных программ, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль, в своем положительном заключении, подписанном Соколовым Валерием Анатольевичем (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра теоретической информатики, заведующий кафедрой), указала, что задача синтеза экспериментов для конечных автоматов имеет теоретический и практический интерес. «Умозрительные» (различающие, установочные и синхронизирующие) эксперименты с автоматами представляют интерес с точки зрения исследования последовательностных (ограниченно-детерминированных) функций, в частности, возможности представления таких функций конечными множествами. Задачи синтеза «умозрительных» экспериментов для недетерминированных автоматов класса только начинают исследоваться, однако полученные оценки сложности задач проверки существования экспериментов часто являются неутешительными. Соответственно, задача понижения сложности умозрительных экспериментов с недетерминированных автоматами является актуальной. Основными результатами работы можно считать следующие: оценки сложности задач проверки существования безусловного различающего и установочного экспериментов для полностью определенных наблюдаемых недетерминированных автоматов; методы синтеза адаптивного (условного) различающего и установочного экспериментов для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных автоматов; достижимость экспоненциальной оценки высоты адаптивного различающего эксперимента относительно числа состояний полностью определенного наблюдаемого недетерминированного автомата; классы недетерминированных автоматов, для которых задача проверки существования адаптивных установочных, различающих и синхронизирующих экспериментов имеет полиномиальную сложность, а соответствующие эксперименты имеют полиномиальную высоту; метод синтеза кратного проверяющего эксперимента с гарантированной полнотой для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных инициальных автоматов, классы моделей неисправности,

для которых существует кратный проверяющий эксперимент с гарантированной полнотой полиномиальной длины относительно числа состояний эталонного автомата; экспериментальное исследование практической применимости конечных автоматов и рассмотренных экспериментов с ними в задачах проверки функциональных и нефункциональных требований компонентов телекоммуникационных систем, в частности, метод синтеза кратных проверяющих экспериментов для Verilog описаний, метод оценки качества веб/мультимедиа/электронных сервисов на основе анализа и обучения автоматов с одним состоянием, эффективно представленных логическими схемами. В диссертационной работе Н.Г. Кушик рассматривается новое, активно развивающееся направление синтеза экспериментов для недетерминированных автоматов; при исследовании этого направления автором «закрывается» часть нерешенных ранее фундаментальных проблем. Предложенные методы решения задач синтеза умозрительных экспериментов для моделей конечных недетерминированных и, в том числе, ненаблюдаемых автоматов и полученные оценки сложности соответствующих задач можно классифицировать как научное достижение, расширяющее известную теорию автоматов. Работа открывает перспективы для дальнейших научных исследований в области анализа и синтеза дискретных систем, поведение которых может быть недетерминированным автоматом.

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе, по теме диссертации – 36 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 16 (из них 6 статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 4 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Web of Science и Scopus), свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 2, статей в международных научных зарубежных журналах – 2, в сборниках материалов международных и всероссийской с международным участием конференций – 15 (из них 9 зарубежных). Общий объем работ – 21,59 п.л., личный вклад автора – 7,08 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus:

1. **Кушик Н. Г.** О сложности проверки существования установочных последовательностей для недетерминированных автоматов / Н. Г. Кушик, В. В. Кулямин, Н. В. Евтушенко // Программирование. – 2014. – № 6. – С. 48–53. – 0,39 / 0,13 п.л.

в переводной версии журнала:

Kushik N. G. On the complexity of existence of homing sequences for nondeterministic finite state machines / N. G. Kushik, N. V. Evtushenko, V. V. Kulyamin // Programming and Computer Software. – 2014. – Vol. 40, is. 6. – P. 333-336. – DOI: 10.1134/S0361768814060140

2. **Kushik N.** Describing Homing and Distinguishing Sequences for Nondeterministic Finite State Machines via Synchronizing Automata / N. Kushik, N. Yevtushenko // Lecture Notes in Computer Science. – 2015. – № 9223 LNCS. – P. 188–198. – 0,53 / 0,27 п.л. – DOI: 10.1007/978-3-319-22360-5_16

3. **Kushik N.** Adaptive Homing is in P / N. Kushik, N. Yevtushenko // Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. – 2015. – № 180. – P. 73–78. – 0,39 / 0,19 п.л. – DOI: 10.4204/EPTCS.180.5

4. **Kushik N.** Heuristics for Deriving Adaptive Homing and Distinguishing Sequences for Nondeterministic Finite State Machines / N. Kushik, H. Yenigun // Lecture Notes in Computer Science. – 2015. – № 9447 LNCS. – P. 243–248. – 0,39 / 0,19 п.л. – DOI: 10.1007/978-3-319-25945-1_15

5. **Kushik N.** On adaptive experiments for nondeterministic finite state machines / N. Kushik, K. El-Fakih, N. Yevtushenko, A. R. Cavalli // International Journal on Software Tools for Technology Transfer. – 2016. – Vol. 18, is. 3. – P. 251–264. – 1,19 / 0,39 п.л. – DOI: 10.1007/s10009-014-0357-7

На автореферат поступили 5 положительных отзывов. Отзывы предоставили:

1. **В.А. Захаров**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математической кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, с замечаниями, отмеченными как *«стилистические погрешности»*: в части использования некоторых терминов, например, «высота эксперимента» и «длина эксперимента», в части выбора окончаний единственного и множественного числа, в части представления перспектив для дальнейших научных исследований и др., а также с замечаниями, отмеченными как *«структурные недостатки»* в части восполнения пробелов в области методов синтеза и оценок сложности умозрительных экспериментов с конечными автоматами, в части описании практической ценности работы, в части определения дерева преемников, в части представления отношения выводимости в тексте автореферата и др.
2. **Л.Д. Черемисинова**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории логического проектирования Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси (г. Минск), с замечаниями об отсутствии систематизация полученных теоретических результатов и об отсутствии описания практического решения задачи анализа какой-нибудь реальной дискретной системы, с привлечением предложенных в работе моделей и методов.
3. **В.М. Котов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой дискретной математики и алгоритмики Белорусского государственного университета (г. Минск), с замечанием об отсутствии иллюстративных примеров, схем, диаграмм и др. затрудняет восприятие материала.
4. **А.А. Шалыто**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии программирования» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, с замечанием о наличии опечаток в тексте автореферата и вопросом о понижении сложности синтеза распознающих экспериментов для недетерминированных автоматов, не ясно, исследовался ли этот вопрос автором работы.
5. **М.Ф. Каравай**, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией «Техническая диагностика и отказоустойчивость» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

(г. Москва), с замечаниями об отсутствии хотя бы небольшого примера тестирования или верификации информационного протокола на базе рассмотренных классов недетерминированных автоматов и пожеланием использования такого алгебраического инструмента как масштабирование в попытках снижения сложности «умозрительных» экспериментов и выделения классов удобных автоматов.

Авторы отзывов отмечают, что в диссертационной работе рассматривается актуальная проблема анализа конечных автоматов с целью синтеза специальных входных или входо-выходных последовательностей, позволяющих сделать заключение о свойствах автомата, предъявленного к эксперименту. Главная цель исследований – получить как можно более точные оценки длины тестовых последовательностей и обнаружить новые классы автоматов, для которых указанные выше задачи имеют существенно более эффективное решение, нежели то, которое возможно в общем случае для автоматов произвольного вида. Научную ценность в диссертации представляет широкое исследование новых классов недетерминированных автоматов, доказательства достижимых границ в разных типах «умозрительных» экспериментов, новые подклассы автоматов с экспериментами полиномиальной сложности, структурные автоматы, для которых эффективно решается задача восстановления автомата по фрагменту его поведения. Подобные исследования, несомненно, представляют большую научную ценность, расширяя горизонты теории конечных автоматов, внося вклад в теорию сложности алгоритмов и в дискретную математику. Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в выделении подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов. Для этого восполнен ряд пробелов в области методов синтеза и оценок сложности умозрительных экспериментов с конечными автоматами. Показано, что в большинстве случаев безусловные и адаптивные различающие и установочные эксперименты для недетерминированных автоматов имеют экспоненциальную длину (высоту), а задачи проверки их существования являются PSPACE-полными. Соответственно, для понижения установленной сложности в диссертации

определены классы конечных автоматов, для которых задача проверки существования адаптивных установочных, различающих и синхронизирующих экспериментов имеет полиномиальную сложность, а соответствующие эксперименты имеют полиномиальную высоту. Показано, что такие умоглядные эксперименты могут быть эффективно использованы при синтезе проверяющих экспериментов полиномиальной длины (высоты) относительно числа состояний автомата-спецификации в случае, когда все автоматы, описывающие возможные реализации, перечислены явно. Практическая значимость результатов заключается в использовании полученных результатов для автоматов специальных классов, описывающих поведение реальных технических систем. В частности, в пятой главе работы иллюстрируется эффективность использования экспериментов с недетерминированными автоматами при синтезе проверяющих тестов для компонентов телекоммуникационных систем, а именно, при тестировании программных реализаций телекоммуникационных протоколов. Компьютерные эксперименты подтверждают эффективность использования структурных автоматов при восстановлении автомата по фрагменту его поведения для оценки качества интерактивных сервисов. Проведенное экспериментальное сравнение подхода на основе структурных автоматов с подходом, основанным на формулах нечеткой логики, в частности, показывает, что подход, основанный на структурных автоматах, демонстрирует более высокую производительность, в то время как оба подхода имеют примерно одинаковую способность к предсказанию удовлетворенности пользователя интерактивным сервисом.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что **И.Б. Бурдонов** является федеральным экспертом научно-технической сферы, высококвалифицированным специалистом в области синтеза проверяющих тестов для конечно автоматных моделей, установления соответствующих оценок сложности, поиска масштабируемых решений для проверки качества дискретных систем; **М.В. Волков** – федеральным экспертом научно-технической сферы, высококвалифицированным специалистом в области синтеза синхронизирующих экспериментов для полуавтоматов, установления длин синхронизирующих

последовательностей, исследованию классов полуавтоматов с пониженными оценками сложности синхронизирующих экспериментов; **О.Л. Бандман** – федеральным экспертом научно-технической сферы, высококвалифицированным специалистом в области анализа дискретных систем и математического моделирования, синтеза клеточных автоматов, поиска масштабируемых решений для эффективного моделирования сложных систем; **Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова** является крупным научным центром исследований в области анализа и синтеза конечных автоматов, методов и средств формальной верификации, оценки качества специализированного программного обеспечения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие новые научные результаты:

предложены новые методы синтеза условных различающих и установочных экспериментов для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных автоматов и новый метод синтеза кратного проверяющего эксперимента с гарантированной полнотой для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных инициальных автоматов;

доказана достижимость экспоненциальной оценки $2^n - n - 1$ высоты кратчайшего адаптивного различающего эксперимента для полностью определенного наблюдаемого недетерминированного автомата с n состояниями, в то время как для полностью определенных детерминированных автоматов эта оценка является полиномиальной относительно числа состояний автомата;

доказаны необходимые и достаточные условия существования условных установочных и различающих экспериментов для ненаблюдаемых полностью определенных автоматов;

получены оценки сложности задач проверки существования безусловного различающего и установочного экспериментов для полностью определенных наблюдаемых недетерминированных автоматов: задача проверки существования безусловного различающего эксперимента является PSPACE-полной, задача проверки существования безусловного установочного эксперимента принадлежит классу PSPACE;

определены классы недетерминированных автоматов, для которых задача проверки существования адаптивных установочных, различающих и синхронизирующих экспериментов имеет полиномиальную сложность, а соответствующие эксперименты имеют полиномиальную высоту: к таким недетерминированным автоматам относятся автоматы, у которых каждое состояние может быть начальным, автоматы без слияний (*merging-free* автоматы), автоматы с уникально достижимыми состояниями;

определен класс моделей неисправности, для которых существует кратный проверяющий эксперимент с гарантированной полнотой полиномиальной длины относительно числа состояний эталонного автомата, в которых эталонный автомат является полностью определенным инициальным ненаблюдаемым недетерминированным автоматом: к таким недетерминированным автоматам относятся древовидные автоматы и автоматы, обладающие *merging-free* и детерминированной проекциями.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложены новые методы синтеза умозрительных экспериментов для недетерминированных, в том числе, ненаблюдаемых автоматов, вносящие значительный вклад в развитие современной теории автоматов, *и исследованы* новые подклассы конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

полученные в диссертационной работе *результаты могут быть использованы* при тестировании и верификации программных и/или аппаратных компонентов телекоммуникационных систем, при анализе безопасности компьютерных систем, при оценке качества специализированного программного обеспечения;

результаты могут быть использованы в учебном процессе радиофизического факультета Томского государственного университета при проведении лекционных и практических занятий по курсам «Теория автоматов», «Основы логического проектирования цифровых схем» и «Тестирование протокольных реализаций на основе формальных моделей».

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Результаты могут использоваться при решении задач верификации и тестирования программного и аппаратного обеспечения; при обработке больших данных (технологии BIG DATA); в учебном процессе в курсах лекций для студентов математических факультетов Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Казанского (Приволжского) федерального университета, Санкт-Петербургского государственного университета, Новосибирского национального исследовательского государственного университета, Ярославского государственного университета им. М.Г. Демидова и других университетов, и в научных центрах, где изучаются разделы дискретной математики, включающие современную теорию автоматов и алгоритмов.

Оценка достоверности результатов выявила, что:

теоретические результаты в области понижения сложности задач проверки существования и синтеза умозрительных для подклассов конечных автоматов доказываются с применением аппарата дискретной математики, в частности, элементов формальной логики, теории автоматов, теории сложности и комбинаторики; возможность эффективного использования подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности задач проверки существования и синтеза умозрительных экспериментов подтверждается посредством компьютерного моделирования;

результаты, полученные в диссертации для классов (ненаблюдаемых) недетерминированных автоматов, согласуются с известными методами синтеза и оценками сложности для класса детерминированных автоматов.

Личный вклад соискателя состоит в: продолжении исследований, начатых при подготовке кандидатской диссертации автора, в которой были предложены методы синтеза установочных и различающих экспериментов для наблюдаемых недетерминированных автоматов; автором самостоятельно было предложено развитие кандидатской диссертации в части исследования оценок сложности соответствующих экспериментов и выделения подклассов конечных автоматов с

пониженными оценками этой сложности; поставленные автором задачи обсуждались с научным консультантом, доктором технических наук, профессором Н.В. Евтушенко; оценки сложности задач проверки существования и синтеза установочных и различающих экспериментов получены совместно с научным консультантом, а также с ведущим научным сотрудником отдела «Технологии программирования» Института системного программирования РАН, кандидатом физико-математических наук, доцентом В.В. Куляминым, доцентом департамента компьютерных наук и проектирования Американского университета Шарджа (ОАЭ) К. Эль-Факи в рамках его визитов с целью проведения совместных научных исследований по инициативе лаборатории компьютерных наук ТГУ и доцентом факультета проектирования и естественных наук Университета Сабанчи (Турция) Х. Йенигуном в рамках гранта РФФИ № 15-58-46013 СТ_а; результаты по определению классов автоматов с пониженными оценками сложности задач проверки существования и синтеза умозрительных экспериментов обсуждались и уточнялись с участием научного консультанта работы; экспериментальное исследование по использованию автоматов специальных классов для оценки качества программных и аппаратных компонентов телекоммуникационных систем было проведено совместно с сотрудниками ТПУ, а также сотрудниками инновационной компании Монтимаж (Франция) в рамках Программы повышения международной конкурентоспособности Томского государственного университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров; результаты, выносимые на защиту, принадлежат соискателю.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Диссертация соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения для выделения классов автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области теории автоматов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На заседании 14.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Кушик Н. Г.** ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Горцев Александр Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тарасенко Петр Феликсович

14 декабря 2016 г.