

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 12 февраля 2020 года публичной защиты диссертации Твардовского Александра Сергеевича на тему «Конечно автоматные методы анализа и синтеза дискретных систем с одной временной переменной» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 17 из 21 члена диссертационного совета, из них 9 докторов наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) (физико-математические науки):

1. Горцев А. М., доктор технических наук, профессор,
председатель диссертационного совета, 05.13.01 (техн. науки);
2. Тарасенко П. Ф., кандидат физико-математических наук,
доцент, ученый секретарь диссертационного совета, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
3. Васильев В. А., доктор физико-математических наук,
профессор, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
4. Воробейчиков С. Э., доктор физико-математических наук,
доцент, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
5. Дмитренко А. Г., доктор физико-математических наук,
профессор, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
6. Дмитриев Ю. Г., доктор физико-математических наук,
доцент 05.13.01 (физ.-мат. науки);
7. Домбровский В.В., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
8. Китаева А. В., доктор физико-математических наук, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
9. Кошкин Г. М., доктор физико-математических наук,
профессор, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
10. Лившиц К. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
11. Матросова А. Ю., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
12. Моисеева С. П., доктор физико-математических наук,
профессор, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
13. Рожкова С. В., доктор физико-математических наук,
доцент, 05.13.01 (физ.-мат. науки);
14. Смагин В. И., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
15. Спицын В. Г., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
16. Удод В. А., доктор технических наук, профессор, 05.13.01 (техн. науки);
17. Шумилов Б. М., доктор физико-математических наук,
профессор, 05.13.01 (физ.-мат. науки).

Заседание провел 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 А. С. Твардовскому ученую степень кандидата физико-математических наук.

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

решение диссертационного совета от 12.02.2020 № 221

О присуждении **Твардовскому Александру Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Конечно автоматные методы анализа и синтеза дискретных систем с одной временной переменной»** по специальности **05.13.01** – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) принята к защите 11.12.2019 (протокол заседания № 219) диссертационным советом **Д 212.267.12**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета №105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Твардовский Александр Сергеевич**, 1992 года рождения.

В 2017 году соискатель окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

С 01.09.2017 соискатель очно обучается в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности старшего лаборанта кафедры информационных технологий в исследовании дискретных структур в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный

исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования 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 науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, **Евтушенко Нина Владимировна**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук, отдел технологий программирования, главный научный сотрудник; по совместительству – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра информационных технологий в исследовании дискретных структур, профессор.

Официальные оппоненты:

Соколов Валерий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», кафедра теоретической информатики, заведующий кафедрой

Масленникова Марина Игоревна, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра математики, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном **Непомнящим Валерием Александровичем** (кандидат физико-математических наук, лаборатория теоретического

программирования, заведующий лабораторией) указала, что модели с конечным числом переходов, в частности конечные автоматы, изучались как инструмент анализа и синтеза дискретных систем и использовались для их тестирования и верификации, в то время как развитие информационных технологий стимулировало исследования автоматных моделей с временными переменными. Решение задач анализа и синтеза для временных автоматов позволяет расширить класс систем, для моделирования которых могут быть использованы системы с конечным числом переходов, что делает тему диссертационного исследования актуальной в контексте современной прикладной информатики, где поведение многих систем зависит от временных аспектов. А. С. Твардовским разработан метод построения канонической формы автомата с одной временной переменной с целью получения единственной с точностью до изоморфизма минимальной формы; проведено исследование замкнутости класса детерминированных автоматов с одной временной переменной относительно операции параллельной композиции; впервые предложены модели неисправности для автоматов с одной временной переменной на основе конечно автоматной абстракции и методы построения проверяющих тестов с доказательством их полноты; предложены подход к построению кратчайших адаптивных различающих последовательностей и подход к сокращению проверяющих тестов на основе оптимизации недетерминированной спецификации. Исследование расширяет классическую теорию автоматов решениями задач анализа и синтеза для автоматов с одной временной переменной и представляет интерес для учебных курсов по теории автоматов и тестированию на основе формальных моделей. Разработанные в диссертации методы синтеза проверяющих тестов могут быть внедрены в инструменты проверки функциональных требований к дискретным системам, временные аспекты которых часто необходимо учитывать при описании современного программного и аппаратного обеспечения, например, для телекоммуникационных протоколов и сервисов.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 18 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ (в том числе в российском научном журнале, переводная

версия которого входит в Web of Science, опубликована 1 работа), в сборниках материалов конференций, представленных в зарубежных изданиях, входящих в Web of Science, опубликовано 5 работ; в прочих научных журналах опубликовано 3 работы (из них 1 статья в электронном научном журнале); в сборниках материалов международных и российских (в том числе с международным участием) научных конференций опубликовано 4 работы. Общий объем работ – 9,6 а.л., авторский вклад – 5,26 а.л.

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

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

1. **Твардовский А. С.** К минимизации автоматов с временными ограничениями / А. С. Твардовский, Н. В. Евтушенко // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 4 (29). – С. 77–83. – 0,52 / 0,26 а.л.

2. **Твардовский А. С.** Минимизация автоматов с таймаутами и временными ограничениями / А. С. Твардовский, Н. В. Евтушенко, М. Л. Громов // Труды Института системного программирования РАН. – 2017. – Т. 29, вып. 4. – С. 139–154. – DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(4)-8. – 0,9 / 0,5 а.л.

3. **Твардовский А. С.** О возможностях автоматного описания параллельной композиции временных автоматов / А. С. Твардовский, А. В. Лапутенко // Труды Института системного программирования РАН. – 2018. – Т. 30, вып. 1. – С. 25–40. – DOI: 10.15514/ISPRAS-2018-30(1)-2. – 0,78 / 0,39 а.л.

Статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science:

4. **Tvardovskii A.** Refining the Specification FSM When Deriving Test Suites w.r.t. the Reduction Relation / A. Tvardovskii // Lecture Notes in Computer Science. –

2017. – Vol. 10533: International Conference on Testing Software and Systems (ICTSS 2017). St. Petersburg, Russia, October 09–11, 2017. – P. 333–339. – DOI: 10.1007/978-3-319-67549-7_22. – 0,37 а.л.

5. **Tvardovskii A.** Deriving Tests with Guaranteed Fault Coverage for Finite State Machines with Timeouts / A. Tvardovskii, K. El-Fakih, N. Yevtushenko // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 11146 : International Conference on Testing Software and Systems (ICTSS 2018). Cadiz, Spain, October 01– 03, 2018. – P. 149–154. – DOI: 10.1007/978-3-319-99927-2_13. – 0,4 / 0,15 а.л.

На автореферат поступило 4 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **В. А. Захаров**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, *с замечаниями*: на стр. 8. автор не приводит определение такого соответствия, которое связывает входную и выходную временные последовательности для рассматриваемых автоматов; неудачно построена фраза: «Изоморфизм (временных) автоматов предполагает, что между их переходами можно установить взаимно однозначное соответствие»; выбор символа $\aleph_m$ для обозначения класса автоматов на с. 8 крайне неудачен – в математике этой записью традиционно обозначается кардинальное число; описание алгоритмов следовало снабжать обоснованием его корректности и оценкой вычислительных затрат (сложностью) его применения; в главе 3 описан алгоритм построения интерактивной параллельной композиции автоматов, хотелось бы ознакомиться также и с декларативным определением результата этой композиции, т.е. иметь описание входно-выходного отношения, которое должен вычислять результирующий автомат. 2. **С. М. Старолетов**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, *с замечаниями*: обзор литературы в тексте диссертации неполный; семантика поведения временного автомата с ограничениями или тайм-аутами формально не описана, при описании применяются нестрогие с точки зрения математики и логики объяснения в виде предложений естественного языка; описание предлагаемых алгоритмов в тексте диссертации выполнено не соответствует международным

стандартам описания алгоритмов. 3. **Л. Д. Черемисинова**, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории логического проектирования Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск, *с замечаниями*: на стр. 14 сказано, что «в работе определяются классы детерминированных временных автоматов, замкнутые относительно операции параллельной композиции», но не приведен ни один из таких классов или условия, которым должны удовлетворять автоматы такого класса; на стр. 14 утверждается, что не единственность минимальной формы инициального детерминированного временного автомата нарушает принципы W-метода и потому не позволяет адаптировать его к временным автоматам, но на стр. 15 при синтезе тестов для такого автомата используется именно W-метод; непонятно, что иллюстрирует рисунок 1, т.к. упоминаемый временной автомат в работе не приведен; не ясна идея алгоритма 5, т.к. не определены ключевые понятия адаптивной различающей последовательности и адаптивного различающего примера. 4. **А. А. Шалыто**, д-р техн. наук, профессор факультета информационных технологий и программирования Национального исследовательского университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, *с замечаниями*: формулировка «конечно автоматные» в названии работы должны быть написана через дефис; в автореферате можно было бы расширить возможные пути использования предложенных алгоритмов на практике, что было бы интересно для специалистов технических специальностей.

В отзывах указывается, что диссертационное исследование посвящено решению задачи адаптации классических конечно автоматных методов минимизации, композиции и синтеза тестов к автоматам с одной временной переменной. А. С. Твардовским предложены метод построения минимальной формы детерминированных неинициальных полностью определенных временных автоматов и доказательство ее единственности с точностью до изоморфизма; разработан метод построения бинарной параллельной композиции инициальных детерминированных автоматов с временными ограничениями и доказательство незамкнутости класса таких автоматов относительно операции параллельной композиции при наличии «медленной» внешней среды; разработаны модель неисправности и методы синтеза

проверяющих тестов с гарантированной полнотой для детерминированных временных автоматов и недетерминированных временных автоматов относительно редукции. Полученные результаты расширяют теорию автоматов новыми методами анализа и синтеза для систем с временными аспектами, дают ответы на многие вопросы, остававшиеся до недавнего времени открытыми. Предложенные методы синтеза тестов и их оптимизации позволяют формально определить область покрытия неисправности при тестировании систем с временными аспектами и, в ряде случаев, уменьшить длину таких тестов. Результаты исследования могут быть интересны специалистам в областях дискретной математики и тестирования на основе формальных моделей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что **В. А. Соколов** является известным специалистом в вопросах анализа и синтеза дискретных систем, в том числе, на основе темпоральной логики (LTL), расширяющей классическую логику временными аспектами, которые свойственны динамическим системам; **М. И. Масленникова** является высококвалифицированным специалистом в области анализа и синтеза конечных автоматов; в **Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН** работают ведущие специалисты в области анализа, синтеза и тестирования сложных систем на основе автоматных моделей.

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

разработан новый метод минимизации для автомата с одной временной переменной, включающий минимизацию состояний, таймаутов и временных ограничений;

доказано, что минимальная форма неинициального автомата с одной временной переменной единственна с точностью до изоморфизма;

разработана операция параллельной бинарной композиции для автоматов с временными ограничениями;

установлены достаточные условия замкнутости операции параллельной бинарной композиции в множестве детерминированных полностью определенных временных автоматов;

разработаны модели неисправности и соответствующие методы синтеза проверяющих тестов с гарантированной полнотой для детерминированных и недетерминированных временных автоматов;

разработаны методы построения кратчайшей адаптивной различающей последовательности и сокращения проверяющих тестов для недетерминированных временных автоматов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано существование единственной с точностью до изоморфизма минимальной формы для неинициальных временных автоматов;

установлены достаточные условия замкнутости операции параллельной бинарной композиции в множестве детерминированных полностью определенных временных автоматов;

разработаны методы построения проверяющих тестов с гарантированной полнотой покрытия неисправностей для инициальных детерминированных и недетерминированных временных автоматов.

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

разработаны методы синтеза тестов с гарантированной полнотой на основе детерминированных и недетерминированных временных автоматов для проверки функциональных требований к компонентам телекоммуникационных систем с временными аспектами;

разработаны алгоритмы к оптимизации проверяющих тестов для недетерминированных временных автоматов, позволяющие сократить длину таких тестов для компонентов телекоммуникационных систем.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Разработанные методы синтеза тестов могут быть внедрены в инструменты проверки функциональных требований к дискретным системам с временными аспектами, например для телекоммуникационных протоколов и интернет-сервисов. Полученные результаты расширяют классическую теорию автоматов методами минимизации, композиции и синтеза тестов для автоматов

с одной временной переменной и могут быть использованы в учебном процессе Национального исследовательского Томского государственного университета и Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (г. Москва) при чтении курсов по теории автоматов и тестированию на основе формальных моделей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использована адекватная математическая модель конечного автомата с одной временной переменной, таймаутами, временными ограничениями и выходными задержками, учитывающая временные аспекты в поведении моделируемой системы;

использованы аппарат теории автоматов и аппарат математической логики для доказательств корректности метода минимизации и единственности минимальной формы для неинициальных детерминированных временных автоматов;

установлено, что предложенная операция параллельной бинарной композиции для временных автоматов сводится к соответствующей операции в классической теории автоматов;

установлены достаточные условия замкнутости операции параллельной бинарной композиции на множестве детерминированных полностью определенных временных автоматов и продемонстрировано нарушение замкнутости такой операции в общем случае, что согласуется с результатами для полуавтоматов с множеством временных переменных;

использованы принципы классических конечно автоматных методов синтеза тестов и аппарат математической логики для доказательства гарантированной полноты проверяющих тестов, синтезируемых предложенными методами для детерминированных и недетерминированных временных автоматов;

использованы аппарат теории автоматов и аппарат математической логики для доказательства корректности предложенных алгоритмов сокращения проверяющих тестов.

Личный вклад соискателя состоит в: совместной с научным руководителем постановке представленных в диссертации цели и задач, формулировке положений,

выносимых на защиту, подготовке публикаций по теме диссертации; самостоятельной разработке метода синтеза единственной с точностью до изоморфизма минимальной формы полностью определенного детерминированного временного автомата, исследовании замкнутости класса детерминированных временных автоматов относительно операции параллельной композиции, разработке моделей неисправности и методов синтеза проверяющих тестов с гарантированной полнотой для детерминированных и недетерминированных временных автоматов, а также подходов к оптимизации таких тестов.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи адаптации классических конечно автоматных методов минимизации, композиции и синтеза тестов к автоматам с одной временной переменной, имеющей значение для развития формальных методов тестирования и оптимизации дискретных систем с временными аспектами в области обработки информации.

На заседании 12.02.2020 диссертационный совет принял решение присудить **Твардовскому А. С.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), физико-математические науки, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета

12.02.2020



Горцев Александр Михайлович

Тарасенко Петр Феликсович