

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Сибирский государственный
университет телекоммуникаций и
информатики» (СибГУТИ)



В.Б. Шиф
2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Лях Татьяны Викторовны «Методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Актуальность темы диссертационной работы. В современном мире киберфизические системы (КФС) с повышенной надежностью получили широкое распространение как в области промышленности, так и в области пользовательских устройств (промышленный интернет вещей, встраиваемые системы, системы управления). Основные характеристики алгоритмов управления КФС: заранее определить продолжительность работы невозможно: управляющее программное обеспечение (ПО) функционирует до поступления специальной команды извне о выключении системы или в случае возникновения специфической ситуации на объекте управления, например, в случае физического разрушения объекта управления; зависимость поведения от внешних сигналов с датчиков, и динамических характеристик объекта управления, а также логическим параллелизмом. Эта специфика приводит к появлению специализированных языковых средств и технологий программирования (языки МЭК 61131-3, G LabVIEW), Дракон, MATLAB Simulink).

Верификация программного обеспечения современных КФС является важной задачей. Чаще всего для этих целей применяется ручная проверка на этапе приемо-сдаточных испытаний. Специалист сначала вручную задает значения сигналов от датчиков, а затем контролирует значения выходных сигналов. Этот способ, в силу трудоемкости и сложности реализации, позволяет провести верификацию только простейших свойств ПО. Для верификации ПО КФС требуется наличие объекта управления. Однако исследование управляющего ПО на реальном объекте управления может привести к критической

ситуации (поломке оборудования, аварии). Поэтому на сегодняшний день все чаще для верификации используются имитаторы объектов управления.

Методы верификации, используемые для исследования свойств управляющего ПО КФС, условно делятся на методы динамической верификации и методы формальной верификации. Формальные методы верификации ПО киберфизических систем на текущем этапе своего развития сопряжены с серьезными ограничениями на сложность верифицируемого ПО. Современные подходы к разработке управляющего ПО КФС предполагают интеграцию методов динамической верификации в итерационный процесс разработки ПО КФС. Тестирование с использованием физических или программных моделей объекта управления является наиболее популярным из современных подходов динамической верификации. Использование этих подходов как правило осложняется языковой гетерогенностью, большим объемом ручных операций, высокой трудоемкостью создания симуляторов, а также ограниченной сложностью проверяемых требований к верифицируемому ПО. Другим перспективным подходом к динамической верификации ПО КФС является мониторинг поведения системы в процессе ее работы (runtime verification). Этот подход используется для анализа поведения управляющего ПО в процессе штатной работы системы, однако не позволяет исследовать поведение программ при различных условиях.

В этой связи диссертационная работа Лях Т.В., посвященная исследованию и разработке моделей, методов и комплексов программ динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, объединяющих методы тестирования, мониторинга и моделирования, является актуальной.

Характеристика диссертационной работы по главам. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (106 источников) и двух приложений. Основное содержание работы изложено на 133 страницах.

Во *введении* приводится обоснование актуальности выбранной темы, формулируется цель и задачи работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость работы и приведена информация о внедрении полученных результатов.

В *первой главе* обсуждается специфика алгоритмов управления КФС. Приводится сравнение программных языковых средств, использующихся при описании управляющих программ КФС. Проводится критический анализ существующих подходов к верификации программного обеспечения КФС. Приводится критический анализ математических моделей, используемых для описания КФС. Сформулированы требования к разрабатываемым моделям, вычислительным методам и комплексам программ динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС.

Во *второй главе* описывается четырёхкомпонентная формальная модель динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС с использованием программной модели объекта управления (ВОУ). Также описывается численный метод определения вектора результатов исполнения тестовых сценариев.

В *третьей главе* описана архитектура программных комплексов автоматизированной и автоматической верификации программ управления КФС в виде LabVIEW-приложения.

В *четвертой главе* представлены результаты апробации разработанных методов, моделей и комплексов программ на реальных практических задачах.

В *заключении* подводятся итоги диссертационной работы, формулируются ее основные результаты.

Научная новизна результатов работы. В диссертационной работе предложен, разработаны и исследованы модели и методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, которые использует средства процесс-ориентированного программирования и концепцию виртуальных объектов.

Принципиальный вклад в развитие технологии процесс-ориентированного программирования вносят следующие научные результаты, полученные автором:

1. Предложена четырехкомпонентная формальная модель системы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, состоящая из верифицируемого алгоритма управления, модели объекта управления, диспетчера тестовых сценариев и блока верификации. Отличительная особенность модели в том, что компоненты специфицируются как гиперпроцессы, имеющие выделенные каналы сообщений для синхронизации и совместного функционирования по верификации управляющих программ. При этом модель предполагает, что конечный итог верификации управляющей программы представлен вектором результатов исполнения тестовых сценариев.

2. Разработан численный метод определения вектора результатов исполнения тестовых сценариев, специфицированный для процесс-ориентированных ПО. Отличительная особенность метода заключается в последовательной активации гиперпроцессов “диспетчер”, “объект управления”, “алгоритм управления” и “верификатор”. При этом гиперпроцесс “верификатор” на основании состояний своих процессов вычисляет результат исполнения тестового сценария как вектор вещественных чисел в диапазоне $[0,1]$.

3. Разработана архитектура программного комплекса динамической верификации на базе среды LabVIEW, который состоит из компонентов “объект управления” и “алгоритм управления”, специфицированных на языке Reflex, и ядра, предоставляющего пользовательский интерфейс и функционирующего по алгоритму, задаваемому кодом “верификатора” и “диспетчера”.

Основные новые научные результаты, полученные автором.

1. Разработана формальная модель динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, которая включает четыре взаимодействующих расширенных гиперпроцесса, специфицирующих верифицируемый алгоритм управления, виртуальный объект управления, диспетчер управления тестовыми сценариями и блок верификации;

2. Предложен критерий корректности процесс-ориентированных программ в виде вектора результатов выполнения тестовых сценариев и численный метод его определения. В предложенном методе блок «диспетчер» управляет порядком прохождения тестов, а «верификатор» вычисляет значение вектора результатов.

3. Разработана архитектура и реализован программный комплекс динамической верификации процесс-ориентированных программ на базе среды LabVIEW, в которой автоматически интегрируются модули на языке Reflex.

Практическая значимость результатов работы. Разработанные метод и модель динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС упрощают процесс разработки, верификации и сопровождения управляющего ПО на протяжении жизненного цикла системы управления КФС. Применительно к области промышленной автоматизации, получаемые преимущества дают возможность снизить сроки разработки, сократить сроки пуско-наладочных работ и повысить качество создаваемого программного обеспечения. Решение практически апробировано на задаче автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа (пос. Листвянка, Иркутская обл.). Верифицирован алгоритм управления подсистемой вакуумирования. Разработанные механизмы бесшовной интеграции алгоритмических блоков, описанных на языке Reflex, в среду LabVIEW, были апробированы на задаче автоматизации углоизмерительной машины НОНИУС. Также решение практически апробировано при разработке виртуальных лабораторных стендов, используемых для обучения студентов технических специальностей на факультете информационных технологий Новосибирского государственного университета.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертации могут быть использованы в научных и промышленных организациях, занимающихся разработкой программного обеспечения для систем управления. Новые результаты и разработанные приложения могут также найти применение в учебном процессе, в курсах, посвященных методам оптимизации. В частности, в НГУ, НГТУ, СибГУТИ, (г. Новосибирск), ЛЭТИ (г. Санкт-Петербург), ОмГТУ (г. Омск), ТГУ (г. Томск), МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва) и других вузах.

Обоснованность и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается математическими выводами, проведенными вычислительными экспериментами, согласованностью полученных результатов с имеющимися данными в отечественной и зарубежной литературе и результатами моделирования.

Полнота опубликования результатов работы и апробация. По теме диссертации Т.В. Лях опубликовано 15 работ, из которых 5 статей в рецензируемых журналах из Перечня ВАК РФ и 5 публикаций в трудах и материалах международных конференций; 4 работы опубликованы в рецензируемых изданиях, индексируемых в международной базе Scopus и 2 работы опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях: Индустриальные информационные системы (г. Новосибирск, Россия, 24-28 сентября 2013 г.); Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники» (г. Красноярск, Россия, 6-8 мая 2014 г.); Девятая международная Ершовская конференция PSI-2014 (г. Санкт-Петербург, Россия, 24-27 июня 2014 г.); International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Эрлагол, Алтай, Россия, 30 июня – 4 июля,

2016 г.); международная конференция «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, Россия, 1 декабря 2017 г.); International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2019, г. Томск, Россия, 18-20 апреля 2019 г.); International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON-2019, г. Новосибирск, Россия, 21-22 октября 2019 г.). Публикации соискателя, содержащие основные результаты, соответствуют требованиям пунктов 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней. Диссертация отвечает требованиям пункта 14 Положения о присуждении ученых степеней и не содержит заимствованных материалов или отдельных результатов без ссылок на авторов и источники заимствования.

Личный вклад соискателя заключается в: разработке подхода к верификации программ управления КФС, разработке архитектуры комплексов автоматизированной и автоматической верификации, реализации ПО комплексов верификации и виртуальных лабораторных стендов, подборе тестовых задач для комплекса виртуальных лабораторных стендов.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а именно:

- п. 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
- п. 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
- п. 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Замечания по диссертационной работе.

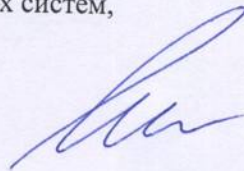
1. В диссертации отсутствуют оценки динамических характеристик предложенных алгоритмов (вычислительная сложность, требования к памяти).
2. Следовало подробнее отразить отличительные черты предложенных модели и численного метода.
3. На с. 48 вводится функция $rez(ts)$, вычисляемая по завершению проверки каждого тестового сценария. На с. 49 эта функция уже называется $res(ts)$. Из текста диссертации не понятно, как эта функция задается.
4. На с. 53 автор используем выражение, в котором результат логической операции «! \Rightarrow » умножается на вещественное значение a_i . Очевидно, что такое допустимо в программном коде, но в математических выражениях предпочтительнее использовать индикаторную функцию.
5. На с. 19 заголовок подраздела 1.4 «оторван» от основного текста разрывом страницы, аналогичная ситуация с заголовком 1.4.3 на с. 25 и 4.3.2 на с. 102. На с. 77 присутствует опечатка в слове «графского».

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Т.В. Лях, в которой решена актуальная научная задача, отличающаяся научной новизной и практической значимостью полученных в работе результатов.

Общее заключение по работе. Представленная диссертация является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных исследований и разработок, изложены новые научно обоснованные решения в области динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты достаточно полно опубликованы в российских и международных научных изданиях. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Таким образом, диссертация Лях Татьяны Викторовны «Методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациями на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор, Лях Татьяна Викторовна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Заключение принято по результатам рассмотрения диссертации на расширенном заседании Кафедры вычислительных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», протокол № 4 от 7 декабря 2020 г.

Заведующий Кафедрой вычислительных систем,
профессор, д.т.н. (специальность –
05.13.15 «Вычислительные машины,
комплексы и компьютерные сети»)



Курносов Михаил Георгиевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86; (8383) 269-82-28; prikom@sibsutis.ru; <https://sibsutis.ru>)

Лях Татьяна Викторовна
подпись
кадровый отдел
Ф.И.

