

## УТВЕРЖДАЮ

Директор Института автоматики  
и электрометрии СО РАН



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

(выписка из протокола семинара «Информационные технологии и системы» от 23 декабря 2019 г.)

Присутствовали:

д.т.н.	Потатуркин О.И. (председатель семинара)
д.т.н.	Золотухин Ю.Н.
д.т.н.	Зюбин В.Е.
д.т.н.	Кириянов В.П.
д.т.н.	Лихачев А.В. (секретарь семинара)
д.т.н.	Резник А.Л.
к.ф-м.н.	Ануреев И.С.
к.т.н.	Белоконь С.А.
к.т.н.	Будников К.И.
к.т.н.	Кириянов А.В.
к.т.н.	Котов К.Ю.
к.т.н.	Лубков А.А.
к.т.н.	Мальцев А.С.

и другие сотрудники ИАиЭ СО РАН – всего 17 человек.

**Слушали:** Доклад Лях Т.В. по материалам диссертации «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».

В обсуждении работы приняли участие д.т.н. Потатуркин О.И., д.т.н. Золотухин Ю.Н., д.т.н. Резник А.Л., д.т.н. Лихачев А.В и другие. Научный руководитель д.т.н. Зюбин В.Е. отметил существенный личный вклад Лях Т.В. в получении изложенных в диссертационной работе результатов, самостоятельность и инициативу при постановке и решении научных задач, её высокую квалификацию.

### **Постановили:**

Принять следующее заключение по диссертации Лях Т.В. «Методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами».

1. Актуальность работы обусловлена следующими факторами. На сегодняшний день киберфизические системы (КФС) с повышенной надежностью получили широкое распространение как в области промышленности, так и в области пользовательских устройств (ПЛК, промышленный интернет вещей, встраиваемые системы, системы управления и т.д.). Алгоритмы управления КФС характеризуются неопределенной продолжительностью работы (т.е. заранее определить длительность работы невозможно: управляющая программа функционирует пока извне не поступит команда о выключении системы или не возникнет специфическая ситуация на объекте управления, например, произойдет его физическое разрушение); зависимостью поведения от сигналов, поступающих от 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 (NI LabVIEW), Дракон, MATLAB (Simulink)). Одним из примеров является процесс-ориентированное программирование (ПОП), которое развивается в ИАиЭ СО РАН.

Программное обеспечение (ПО) современных КФС достигло такой сложности, что его верификация является отдельной областью исследования. Наиболее распространенный подход – ручная проверка на этапе приемо-сдаточных испытаний. При этом специалист, проводящий ручную проверку, по сути выступает в качестве имитатора объекта управления: сначала 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 требуется наличие объекта управления. Однако исследование управляющего ПО на реальном объекте может привести к критической ситуации (поломке оборудования, аварии и т. п.). Поэтому современная тенденция при верификации – использование вместо реальных объектов управления их моделей.



Для исследования свойств управляющего ПО КФС используются методы динамической верификации и так называемые методы формальной верификации. Методы, разрабатываемые в области формальной верификации киберфизических систем, на текущем этапе сопряжены с серьезными ограничениями на сложность верифицируемого ПО, что делает эти методы фактически неприменимыми для решения практических задач.

Современная тенденция контроля качества управляющего ПО КФС предлагает интеграцию методов динамической верификации в итерационный процесс разработки ПО КФС. Тестирование (МВТ, модульное, регрессионное, пассивное, Back-to-Back, интеграционное, системное) с использованием физических или программных моделей объекта управления является наиболее популярным из современных подходов динамической верификации. Использование этих подходов как правило осложняется языковой гетерогенностью (использованием нескольких языков), 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.

На сегодняшний день слабо изучены модели и методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС. Отсутствие контроля качества создаваемых процесс-ориентированных программ управления КФС серьезно увеличивает риски проекта при разработке. Таким образом, исследование и разработка моделей и методов динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, объединяющих методы тестирования, мониторинга и моделирования, является актуальной проблемой.

2. Диссертационная работа выполнялась в тематической группе языковых средств проектирования информационных систем управления и лаборатории киберфизических систем Института автоматики и электрометрии СО РАН при проведении исследований по следующим программам:

- Проект IV.35.1.6 Научные основы, системные решения и программно-аппаратные средства совместной обработки многоспектральных и пространственных данных для информационной поддержки мониторинга природных и технических систем.

- Проект IV.36.1.3. Модели, методы и технологии управления и моделирования для сложных динамических процессов. Автоматизированные системы управления научно-исследовательскими и технологическими комплексами. № гос. рег. АААА-А17-117060610006-6. № ГЗ 0319-2016-0009.



### 3. Основные научные результаты, полученные Лях Т.В.

- 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 (*П. 1 паспорта специальности*).
- Предложены 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 (*П. 4 паспорта специальности*).
- Разработана архитектура и реализован программный комплекс динамической верификации процесс-ориентированных программ на базе среды LabVIEW, в которой автоматически интегрируются модули на языке Reflex (*П. 5 паспорта специальности*).

4. Научные положения, выводы и результаты, сформулированные в диссертации, апробированы при решении практической задачи автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ, пос. Листвянка, Ирк. обл.). В проекте был верифицирован алгоритм управления подсистемой вакуумирования, написанный на процесс-ориентированном языке Reflex, разработанный в ИАиЭ СО РАН. Также результаты работы использованы при разработке управляющего ПО углоизмерительной машины НОНИУС. Показана практическая польза разработанного комплекса программ динамической верификации управляющего ПО на языке Reflex. На разработанное программное обеспечение получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ (№ 2013660427 от 6 ноября 2013 г., №2018665910 от 11 декабря 2018 г.). Работа была включена в перечень важнейших результатов ИАиЭ СО РАН за 2018 год по направлению нанотехнологии и информационных технологий.

5. Результаты диссертации докладывались на 10-ти международных и всероссийских конференциях в том числе: «Индустриальные информационные системы – 2013» (г. Новосибирск, Россия, 2013 г.); Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники» (г. Красноярск, Россия, 2014 г.); Девятая международная Ершовская конференция PSI-2014 (г. Санкт-Петербург, Россия, 2014 г.); «Индустриальные информационные системы – 2015» (г. Новосибирск, Россия, 2015 г.), Seventh Workshop «Program Semantics, Specification and Verification: Theory and Applications» (г. Санкт-Петербург, Россия, 2016 г.); 17-th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (г. Эрлагол,



Россия, 2016 г.); V международная конференция «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, Россия, 2017 г.); International Conference on Electrical, Electronics, Computers, Communication, Mechanical and Computing (EECCMC) (г. Мадрас, Индия, 2018 г.); International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2019) (г. Томск, Россия, 2019 г.).

Основные результаты диссертационной работы представлены в восьми научных статьях, из которых шесть опубликованы в следующих журналах, рекомендуемых высшей аттестационной комиссией.

- Ковадло П. Г., Лубков А. А., Бевзов А. Н., Будников К. И., Власов С. В., Зотов А. А., Колобов Д.Ю., Курочкин А. В., Котов В. Н., Лылов С. А., Лях Т. В.. Система автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия. 2016. №52(2). С. 97–106.
- Лях Т. В., Зюбин В. Е., Гаранина Н. О. Автоматическая верификация алгоритмов управления в кибер-физических системах на программных имитаторах // Автометрия. 2019. №55(2). С. 103-113.
- Лях Т.В., Зюбин В.Е., Сизов. М.М. Опыт применения языка Reflex при автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. №7. С. 37-43.
- Краснов Д. В., Нефедов Д. В., Санжиев Е. С., Лях Т. В., Розов А. С. Практическая апробация процесс-ориентированной технологии программирования на открытых микроконтроллерных платформах // Вестник ВСГУТУ. 2017. №66(3). С.85-92.
- Розов А. С., Лях Т. В., Краснов Д. В., Санжиев Е. С. Практическая апробация языка IndustrialC на примере автоматизации установки термовакuumного напыления // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. №15(3). С. 90–99.
- Лях Т. В., Зюбин В. Е., Гаранина Н. О. Автоматизированная верификация алгоритмов управления сложными технологическими объектами на программных имитаторах // Вестник НГУ Серия: Информационные технологии. 2018. №16(4). С. 85-94.

6. Личный вклад автора включает разработку формальной модели системы динамической верификации процесс-ориентированного ПО КФС. Автором предложены критерий корректности процесс-ориентированных программ в виде вектора результатов выполнения тестовых сценариев и численный метод его определения. Все выносимые на защиту результаты получены либо самим соискателем, либо при его непосредственном участии. В опубликованных работах участие автора диссертации заключалось в самостоятельном проведении исследований, непосредственном участии в разработке концептуального подхода к верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, а также в подготовке текста публикаций. Кроме того автор самостоятельно разработала архитектуру комплекса автоматизированной верификации и

автоматизированной верификации и комплекса автоматической верификации, реализовала ПО комплексов верификации и виртуальных лабораторных стендов и подобрала тестовые задачи.

При выполнении диссертационной работы Т. В. Лях проявила себя сложившимся научным работником, способным ставить и решать сложные задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.

7. На основе вышеизложенного, семинар постановил считать диссертационную работу Т. В. Лях «Методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами» удовлетворяющей требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, и рекомендовать к защите по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Председатель семинара  
д.т.н.



О.И. Потатуркин

Секретарь семинара  
д.т.н.



А.В. Лихачев