

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу 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».

1. Актуальность темы диссертационной работы

На сегодняшний день киберфизические системы с повышенными требованиями к безопасности получили широкое распространение. Верификация программного обеспечения (ПО) таких КФС является важной задачей. Эта задача усложняется также тем, что управляющее ПО КФС взаимодействует с окружающей средой – управляемым объектом управления – и формирует реакцию на внешние сигналы с датчиков в зависимости от динамически изменяющихся характеристик объекта, а также множества параллельно происходящих физических процессов на объекте. Время функционирования ПО КФС не ограничено.

Эти особенности приводят к тому, что для управляющего ПО КФС применение подходов, использующихся для верификации ПО общего назначения малоэффективно. Формальные методы верификации ПО для киберфизических систем в чистом виде малоприменимы и требуют серьезной адаптации для верификации ПО КФС. Современные динамические методы верификации предполагают интеграцию методов динамической верификации в итерационный процесс разработки, а также использование программных имитаторов окружающей среды.

В ИАиЭ СО РАН разрабатываются процесс-ориентированные языки для верификации управляющих программ киберфизическими системами. Однако для процесс-ориентированных программ модели и методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС ранее были изучены слабо.

В работе Лях Т. В. убедительно показано, что в настоящее время остро стоит проблема разработки моделей, методов и комплексов программ динамической верификации процесс-ориентированных программ управления КФС, объединяющих методы тестирования, мониторинга и моделирования, является актуальной. Представленный в диссертации анализ подтверждает высокую актуальность работы соискателя и ее значимость.

2. Оценка структуры и содержания работы.

Структура диссертационной работы адекватна ее содержанию и включает логически выстроенное повествование. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и приложения.

Во *введении* диссертации сформулирована актуальность 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). 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* приведены результаты апробации разработанного подхода к динамической верификации на ряде практических задач.

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

3. Степень новизны результатов и научных положений, выносимых на защиту. Их научная и практическая значимость.

Обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждена как теоритическими, так и практическими исследованиями. Автор корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, обосновывает их практически и теоритически. В диссертации изучены и критический проанализированы современные подходы к верификации ПО КФС, учитывается специфика управляющих программ КФС, а также специфика процесс-ориентированного подхода.

4. Достоверность и новизна полученных результатов

Научная новизна работы заключается в следующем:

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 верификаций 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”.

Достоверность разработанных методов подтверждается результатами их экспериментальной апробации на ряде практических промышленных и научных задач.

Основные положения и результаты диссертации докладывались на международных и всероссийских конференциях, в том числе:

- Индустриальные информационные системы – 2013 (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.);
- 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Эрлагол, Алтай, Россия, 30 июня – 4 июля, 2016 г.);
- V 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.).

Автореферат отражает основные результаты диссертации. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. По теме работы опубликовано 15 работ, из которых 5 статей в рецензируемых журналах из Перечня ВАК и 5 публикаций в трудах и материалах международных конференций. 4 работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международной базе Scopus и 2 работы опубликованы в Web of Science. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В 2018 г. результаты работы Т. В. Лях были включены в важнейшие результаты Института автоматики и электрометрии СО РАН.

5. Теоритическая и практическая значимость полученных автором результатов

Несмотря на ярко выраженный прикладной характер, работа имеет определенную теоритическую значимость работы, а именно предложена основанная на гиперпроцессах формальная модель динамической верификации, которая учитывает специфику алгоритмов управления КФС и особенности процесс-ориентированного подхода.

Практическая значимость работы подтверждается рядом проектов, в которых проводилась апробация результатов диссертации: разработка управляющего ПО вакуумной подсистемы Большого солнечного вакуумного телескопа (пос. Листвянка, Иркутская обл.); разработка виртуальных лабораторных стендов для обучения студентов технических специальностей (ФИТ НГУ), задача автоматизации углоизмерительной машины НОНИУС.

6. Замечания по диссертационной работе

- 1) В тексте диссертации присутствуют опечатки;

2) В главе 4 приводится результат апробации подхода на задаче автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа. Работа смотрелась бы более выигрышно, если бы был приведен полный список проверенных требований.

Отмеченные недостатки носят частный характер, не снижают научную значимость диссертационной работы Т. В. Лях и не влияют на общую положительную оценку представляемой работы.

7. Заключение

Диссертационная работа Лях Татьяны Викторовны выполнена на высоком научном уровне и представляет собой цельное научное исследование, содержащее решение актуальных научных задач. Текст оформлен в соответствии с требованиями ВАК.

Диссертация содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также имеет большую практическую ценность, что подтверждается сведениями об использовании полученных автором научных результатов. Сформулированные автором выводы можно охарактеризовать как обоснованные и достоверные.

Автор активно развивает дальнейшие исследования по теме работы, что подтверждается рядом свежих публикаций (например, публикация на международной конференции RusAutoCon 2020, 5-11 сентября 2020, IEEE, Scopus).

Автореферат отражает основные результаты диссертации. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Т. В. Лях «Методы динамической верификации процесс-ориентированных программ управления киберфизическими системами» удовлетворяет критериям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, установленным для кандидатских диссертаций, а ее автор, Лях Татьяна Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

ООО БФТ (Бюджетные финансовые технологии),
Департамент высокотехнологичного производства,
главный программист, к.т.н.

Бессонов А. В.

04.12.2020

«Подпись Бессонова А.В. заверяю»

Владимир Михайлович...
(должность)



(подпись)

(Ф.И.О.)