

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, доцента *Зюбина Владимира Евгеньевича*

на диссертацию *Журавлева Сергея Сергеевича*

«Имитационный программно-аппаратный комплекс

для тестирования АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности»,

предоставленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение

вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

### **Актуальность исследования**

Создание АСУ ТП – это сложный, ответственный и многоэтапный процесс. Ошибки в прикладном программном обеспечении, допущенные на начальных этапах, приводят, минимум, к дополнительным серьезным трудозатратам на их исправление, задержкам ввода системы в эксплуатацию. А в пределе, когда такие ошибки проявляются во время эксплуатации, программные ошибки в АСУ ТП ведут к поломке оборудования, аварийным ситуациям, выводу автоматизированного объекта из эксплуатации и даже человеческим жертвам. Но в общем случае, чем раньше ошибка в программе обнаруживается, тем проще ее исправить. Поэтому на каждом этапе создания АСУ ТП проводятся работы по обнаружению ошибок. Это особенно важно при автоматизации так называемых критических объектов и производств. К таким объектам по тяжести возможных последствий при отказе оборудования несомненно относятся предприятия горнодобывающей промышленности.

Существующие специализированные программно-аппаратные комплексы для разработки, верификации и сопровождения прикладного программного обеспечения на настоящий момент не обеспечивают отсутствие ошибок в программном обеспечении АСУ ТП. В связи с этим, создание новых средств контроля качества прикладного программного обеспечения АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности с использованием математических моделей технологических процессов является актуальным.

### **Краткая характеристика диссертационного исследования**

Диссертационное исследование относится к приоритетному направлению развития науки, технологии и техники «Информационно-телекоммуникационные системы» и одной из критических технологий «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем» Российской Федерации (утв. указом Президента РФ от 07.07.11 №899 в ред. от 16.12.15).

Диссертационное исследование направлено на повышение качества программного обеспечения АСУ ТП. В рамках проведенной работы создан имитационный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для контроля качества прикладного программного обеспечения АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности.

К основным результатам, полученным в ходе выполнения диссертационного исследования, относятся следующие:

1. Структура и алгоритм функционирования имитационного программно-аппаратного комплекса тестирования прикладного программного обеспечения АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности.
2. Имитационные модели технологического оборудования системы конвейерного транспорта и системы безопасности угольной шахты.
3. Имитационный программно-аппаратный комплекс тестирования прикладного программного обеспечения АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности.
4. Модифицированный метод полунатурного моделирования («Hardware-In-The-Loop»).
5. Методика контроля качества прикладного программного обеспечения АСУ ТП с помощью созданного имитационного программно-аппаратного комплекса.

### **Содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка (261 наименований) и трех приложений. Текст диссертации содержит 40 рисунков, 16 таблиц. Объем текста составляет 135 страниц.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приведены цель и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, обосновывается научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов.

В **первой главе** рассмотрены методы контроля качества прикладного программного обеспечения через тестирование и имитационное моделирование, поставлены задачи диссертационного исследования, приведены обзоры средств тестирования программ управления АСУ ТП и имитационного моделирования технических систем, дано описание развития теории имитационного моделирования. Далее проведен критический анализ наиболее значимых комплексов имитационного моделирования. После чего обоснован выбор среды, соответствующей задачам работы. В завершении главы проанализированы имитационные модели технологических процессов горнодобывающих предприятий.

Во **второй главе** приведено описание предметной области исследования и рассмотрены технологические процессы АСУ ТП. Рассмотрены модели технологического оборудования системы конвейерного транспорта и системы водоотлива. Описан подход к моделированию технологических процессов в среде моделирования MTSS.

В **третьей главе** содержится описание предлагаемого имитационного программно-аппаратного комплекса: структуры, логики функционирования, и методики использования. Рассмотрен модифицированный метод полунатурного моделирования, применяемый для разработки, отладки и тестирования АСУ ТП. В конце главы приведены результаты выполненных экспериментов.

В **заклучении** сформулированы основные научные и практические результаты исследования.

**Приложения** содержат таблицу сравнения специализированных программно-аппаратных комплексов, таблицу сред имитационного моделирования технических систем и акты о внедрении результатов диссертационного исследования, подтверждающие их достоверность и практическую ценность.

В списке литературы приведены библиографические ссылки, включающие, в том числе ссылки на три свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Обоснованность результатов, выносимых на защиту, обеспечена методологией исследования, включающей анализ отечественных и зарубежных литературных источников по теме исследования: по имитационному моделированию, теории конечных автоматов, верификации программного обеспечения.

Достоверность результатов, выносимых на защиту, подтверждается их апробацией на всероссийских и международных конференциях, полнотой публикаций в периодических изданиях, имеющимися актами о внедрении результатов, подтверждающих их практической ценности и свидетельствами об официальной регистрации созданного программного обеспечения.

### **Полнота публикаций результатов диссертации, соответствие автореферата содержанию диссертации**

Выводы и результаты диссертационного исследования прошли апробацию на научных и научно-технических конференциях, а также на научных семинарах.

По теме диссертационного исследования автором опубликованы 53 печатных работы, в том числе: 4 публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК; 2 публикации проиндексированы в базе данных Web of Science и 5 – в базе данных Scopus; 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ; 10 публикаций в рецензируемых научных журналах; 36 публикаций в трудах и тезисах всероссийских и международных конференций.

Автореферат структурно и содержательно соответствует диссертации, отражает основные положения диссертационной работы.

### **Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:**

1. Предложена структура имитационного программно-аппаратного комплекса (ИПАК), состоящего на программном уровне из (1) модуля настройки

конфигурации ИПАК, (2) модуля моделирования технологических процессов и оборудования (ММТПиО), (3) модуля управления сценариями, и (4) менеджера связи модулей, а на аппаратном уровне из (1) рабочей станции оператора модели, (2) тестируемых контроллеров целевой АСУ ТП (ТКЦАСУТП) и (3) блока преобразования физических сигналов (БПФС). На программном уровне (1) модуль настройки конфигурации ИПАК определяет способ формирования сигналов (имитатор/физический) и отображение физических сигналов на программные переменные, (2) ММТПиО имитирует физические процессы и компоненты системы управления, (3) модуль управления сценариями имитирует управляющие команды АСУ ТП, а (4) менеджер связи реализует обмен данными с ТКЦАСУТП и компонентами БПФС по последовательному каналу RS-485. Компоненты БПФС и ТКЦ АСУ ТП связаны сигнальными линиями: выходные сигнальные линии служат для задания электрических сигналов на входах ТКЦАСУТП, определяемых ММТПиО, а входные сигнальные линии служат для считывания управляющих воздействий с выходов контроллера для целей моделирования в ММТПиО.

2. Разработан модифицированный метод полунатурного моделирования («Hardware-In-The-Loop»), отличающийся тем, что для тестирования прикладного программного обеспечения контроллерного уровня наряду с математической моделью используется параллельно подключенный эталонный контроллер другой версии этой же АСУ ТП или другой модели изготовления. Эталонный контроллер применяется для сравнения ответных реакций проверяемых контроллеров на формируемые тождественные внешние воздействия при анализе и проверке совместимости прикладного программного обеспечения контроллеров АСУ ТП, выполняющих один и тот же набор функций.

3. Предложены имитационные модели технологического оборудования системы конвейерного транспорта и системы водоотлива угольной шахты, заключающиеся в имитации не только физических процессов, но и компонентов СКАДА-системы, контроллеров, датчиков и актуаторов. При этом в качестве входных сигналов модели выступают команды управления СКАДА-системой и управляющие сигналы, формируемые контроллерами, а на выходе модель формирует выходные сигналы датчиков.

## **Практическая значимость работы**

Полученные результаты позволяют сократить время приемо-сдаточных испытаний АСУ ТП на территории заказчика за счет предварительного контроля корректности и устойчивости (robustness) создаваемых программ АСУ ТП на предприятии-изготовителе, а также сокращения трудоемкости поиска и устранения ошибок ПО, выявленных в процессе штатной эксплуатации АСУ ТП.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждена актами о внедрении со стороны ИВТ СО РАН, ООО «КБ ИНФОРМСИСТЕМ» и ФИЦ УУХ СО РАН.

Имитационный программно-аппаратный комплекс применен следующим образом:

- для разработки, отладки и тестирования прикладного программного обеспечения АСУ ТП угольных шахт;
- при модернизации прикладного программного обеспечения диспетчерского уровня системы водоотлива шахты Осинниковской;
- при выполнении РФФИ №18-37-00356 «Разработка научных основ создания мобильного места оператора автоматизированной системы управления технологическими процессами добычи полезных ископаемых подземным способом на базе совмещения технологий нейрокомпьютерного интерфейса и дополненной реальности».

Результаты диссертационного исследования могут быть применены при разработке новых и модернизации существующих АСУ ТП предприятий горнодобывающей и других отраслей промышленности.

### **По материалам диссертации имеются следующие замечания:**

1. Формулировка п. 1 новизны о структуре и алгоритме взаимодействия компонентов имитационного программно-аппаратного комплекса носит декларативный характер, для ознакомления с сутью предлагаемого решения требуется приложить заметные усилия по анализу текста диссертации.

2. При анализе существующих решений опущен анализ технологии «цифровых двойников» (digital twins), идеологически близкий к предлагаемому решению и подпадающий под тематику исследований.

3. Представляется неоправданным включение в структуру программной части имитационного программно-аппаратного комплекса (рис. 31) «моделей модулей ввода/вывода АСУ ТП», которые упоминаются только один раз на стр. 88, их назначение в процедуре тестирования не определено. Не обоснована их необходимость, через невозможность моделирования этих модулей через другие структурные компоненты, а именно через модули моделирования технологических процессов и оборудования.

4. Представляется неоправданным включение в структуру аппаратной части имитационного программно-аппаратного комплекса (рис. 32) Рабочей станции диспетчера (как я понимаю, АСУ ТП), назначение этого компонента в процедуре тестирования не определено.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют научной значимости и практической ценности полученных результатов и не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы.

## **Заключение**

Диссертационное исследование Журавлева Сергея Сергеевича на тему «Имитационный программно-аппаратный комплекс для тестирования АСУ ТП предприятий горнодобывающей промышленности» представляет собой законченный научно-исследовательский труд. Сформулированная цель исследования достигнута. Полученные в ходе выполнения диссертационного исследования результаты обладают научной новизной, обоснованы, достоверны, апробированы, имеют практическую и теоретическую значимость и достаточно полно опубликованы. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Диссертация вносит значимый вклад в тестирование прикладного программного обеспечения АСУ ТП и соответствует паспорту специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»: п. 1 – «Модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем, их эквивалентных

преобразований, верификации и тестирования»; п. 3 – «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем».

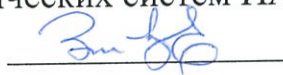
На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Журавлева Сергея Сергеевича соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 №842), а ее автор Журавлев Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент

Зав. лабораторией киберфизических систем ИАиЭ СО РАН,

д.т.н., доцент



Зюбин В.Е.

«15» января 2021 г.

Подпись заведующего лабораторией киберфизических систем ИАиЭ СО РАН, д.т.н., доцента В.Е. Зюбина заверяю

И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН,

к.ф.-м.н.



Абдуллина С.Р.

«15» января 2021 г.

Зюбин Владимир Евгеньевич

доцент, д.т.н., специальность ВАК 05.13.17 – Теоретические основы

информатики, заведующий лабораторией киберфизических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук,

Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д.1,

Тел.: (383) 330-71-62, e-mail: zyubin@iae.nsk.su.