



**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY

УТВЕРЖДАЮ

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева».

Первый проректор - проректор  
по научно-исследовательской работе  
Самарского университета

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086  
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36  
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru  
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168360,  
ИНН 6316000632, КПП 631601001

д.т.н., доцент

30 ОКТ 2024

№ 104-5871

На № \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_



Прокофьев А.Б.

30 октября

2024 года

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Волхонской Елизаветы Евгеньевны  
«Управление распределением и техническим обслуживанием  
роботизированных транспортных средств на основе цифровых моделей»  
по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка  
информации, статистика», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

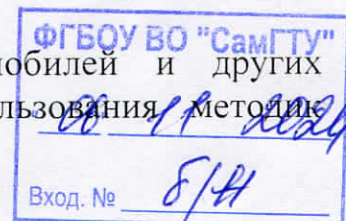
### Актуальность темы исследования

Современные тенденции развития производства предполагают внедрение автономных и роботизированных транспортных средств (РТС) в логистические и технологические процессы для увеличения выпуска продукции и повышения производительности труда. Создание роботизированных автомобилей, погрузчиков, комбайнов и других средств выполняется с оснащением их развитой системой датчиков, подсистем обработки и передачи данных о техническом состоянии узлов и агрегатов. Появляется возможность не только осуществлять мониторинг, но и прогнозировать процесс технического обслуживания роботизированных средств.

При этом возникает проблема рационального и экономически обоснованного распределения РТС на технологические процессы и дальнейшей коррекции работы комплекса РТС при эксплуатации.

Сложность современных роботизированных автомобилей и других автономных средств приводит к необходимости использования методов

Содержание отчета о работе Волхонская Е.Е.  
*[Signature]* 06.11.2024





виртуального ввода в эксплуатацию и виртуальных испытаний. В этом случае уже на этапе проектирования новых образцов РТС проводятся исследования на цифровых двойниках с целью анализа сценариев эксплуатации в различных условиях.

Существующие подходы и методы формального решения таких задач, как правило, направлены только на осуществление первоначального назначения РТС на производственные задачи в соответствие с календарным планом. В то же время недостаточно разработаны вопросы анализа функционирования роботизированных транспортных средств с привязкой к выполняемым задачам, учетом влияния внешней среды, исследованием случайных процессов износа, деградации и отказов узлов и агрегатов.

Для решения этих проблем Волхонская Е.Е. предлагает создать комплекс цифровых моделей, включающих оптимизационные и имитационные модели и использовать их для проведения, как виртуальных испытаний роботизированных транспортных средств, так и для текущей аналитики в процессе реальной эксплуатации.

Таким образом, в диссертационной работе Волхонской Е.Е. решается актуальная задача разработки системных цифровых моделей и методов анализа комплекса роботизированных транспортных средств для принятия решений на всех этапах жизненного цикла.

## **Структура и содержание работы**

Содержание диссертации Волхонской Е.Е. отражает общую логическую структуру проведенных автором исследований. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка используемой литературы и приложений.

В первом разделе описаны проблемы, возникающие при создании и эксплуатации роботизированных и автономных автомобилей. Выполнен системный анализ функционирования комплекса роботизированных транспортных средств и организации технического обслуживания и ремонта. Освещены подходы к модели-ориентированному системному проектированию комплекса РТС. Предложено применение концепции виртуального ввода в эксплуатацию и использования цифровых двойников при проектировании сложных робототехнических систем. Автором разработана методика управления виртуальными испытаниями для анализа различных сценариев производственных работ и стратегий технического обслуживания и ремонта РТС. Методика опирается на системные цифровые модели и реализуется в виде итерации нескольких этапов, включающих управление распределением РТС, формирование цифровой иерархической имитационной модели (ИИМ) в виде дискретно-событийной системы, анализ результатов виртуальных испытаний и коррекция параметров цифровых моделей. Представлена схема управления виртуальными испытаниями по предложенной методике и описано взаимодействие разработанных цифровых моделей.



Во втором разделе подробно рассмотрена цифровая модель подсистемы планирования. Выполнены постановка и решение задачи оптимизации назначений РТС при распределении по производственным работам предприятия. Задача назначения носит обобщенный характер и в диссертации решается на примере производственно-логистической системы агропромышленного предприятия. С этой целью формулирована задача целочисленного программирования с булевыми переменными и предложены ограничения, связанные с характеристиками и параметрами роботизированных транспортных средств и производственных процессов. Получено решение оптимизационной задачи в виде булевой матрицы начальных назначений роботизированных автомобилей и беспилотных комбайнов на работы, которые задаются календарно-сетевым графиком.

В третьем разделе подробно представлена разработанная цифровая иерархическая имитационная модель на основе стохастических временных раскрашенных сетей Петри. Автор обосновал выбор аппарата сетей Петри для имитационных виртуальных экспериментов с целью верификации решения оптимизационной задачи назначений. Разработаны модули иерархической цифровой имитационной модели. Новизна предложенных моделей заключается в сочетании имитации вероятностных процессов отказов и запросов на техническое обслуживание РТС с дискретно-событийным моделированием производственного процесса. Исследована возможность применения стратегии каннибализации для ускорения технического обслуживания РТС и разработана соответствующая имитационная модель. Проведены статистические эксперименты на моделях, которые позволяют определять стратегию технического обслуживания и необходимый резерв РТС для различных сценариев производственных задач.

В четвертом разделе описаны результаты экспериментальных исследований цифровых моделей и методики виртуальных испытаний на примере конкретной агропромышленной производственно-логистической системы. Приведены примеры практического внедрения результатов научных исследований, выполненных в диссертации.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования.

### **Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе Волхонской Е.Е. получены важные научные результаты в области системного анализа, применения цифровых моделей при виртуальных испытаниях и реальной эксплуатации роботизированных транспортных средств.

Новыми являются следующие результаты:

1. Разработана и апробирована методика управления виртуальными испытаниями на цифровых моделях комплекса роботизированных транспортных средств, отличающаяся итерационной процедурой анализа цифровой модели подсистемы планирования работ для оптимального



распределения транспортных средств по производственным задачам и исследования иерархической имитационной модели эксплуатации и технического обслуживания, что обеспечивает принятие эффективных решений на всех этапах жизненного цикла транспортных средств.

2. Решена задача целочисленного линейного программирования с булевыми переменными оптимального назначения роботизированных транспортных средств для выполнения производственных операций, отличающаяся учетом ограничений на степень загруженности роботизированных автомобилей в соответствии с площадью полей и объемами бункеров зерноуборочных комбайнов, что позволяет минимизировать затраты на эксплуатацию и формировать множество автомобилей для резервирования и каннибализации.

3. Предложена новая цифровая модель эксплуатации и технического обслуживания на стохастических временных раскрашенных сетях Петри с иерархической структурой модулей, отличающаяся моделированием стратегий резервирования и каннибализации и имитацией случайных процессов появления отказов, износа и деградации элементов и узлов транспортных средств, что обеспечивает сокращение времени простоя при техническом обслуживании и ремонте.

Это позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Волхонской Е.Е. содержит новые подходы, модели и средства для решения поставленных актуальных задач, имеющих значимую практическую полезность.

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректной постановкой математических задач, применением апробированных методов системного анализа, проведением экспериментов на имитационных моделях и сравнением результатов с фактическими решениями по использованию роботизированных транспортных средств на промышленных предприятиях.

Основные результаты исследования апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

### **Значимость результатов исследования для науки и практики**

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в формальном подходе к управлению процессами распределения роботизированных транспортных средств и обеспечении виртуального ввода в эксплуатацию на основе разработанных цифровых моделей роботизированных транспортных средств с учетом стратегии технического обслуживания и ремонта в агропромышленном комплексе. Предложенный комплекс системных моделей носит обобщенный характер и может использоваться для анализа



процессов эксплуатации других промышленных объектов.

Практическая значимость заключается в применении методики виртуальных испытаний для оптимального распределения транспортных средств по работам с учетом динамики процессов, что позволяет учесть специфику производств отрасли и способствует сокращению времени простоя специализированной техники и уменьшению расходов.

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях: АО «Передвижная механизированная колонна-402», г. Самара, и АО «Челно-Вершинский машиностроительный завод», с. Челно-Вершины, Самарская область при решении задач распределения специализированной техники и управлении техническим обслуживанием и ремонтом.

Научные результаты Волхонской Е.Е. были использованы при выполнении прикладной НИР по проекту Минобрнауки РФ «Разработка роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления».

Результаты диссертационного исследования в виде моделей и алгоритмов используются в учебном процессе Самарского государственного технического университета при подготовке студентов по направлениям магистратуры 15.04.04 – «Автоматизация технологических процессов и производств».

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Рекомендуется применение разработанного комплекса цифровых моделей и методики виртуальных испытаний в практике организаций, имеющих развитый парк автономных или роботизированных транспортных средств различного назначения. При этом предложенная методика и модели может использоваться и для обычных автотранспортных средств при наличии достаточной информации об их текущем техническом состоянии.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях ПАО КАМАЗ (г. Набережные Челны) и СберАвтоТех (г. Москва) для анализа эксплуатации и организации технического обслуживания беспилотных магистральных грузовиков.

### **Соответствие научной специальности**

Содержание и результаты диссертационной работы Волхонской Е.Е. соответствуют предметной области исследований научной специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, пункты 2, 11 и 15 паспорта специальности.



## Замечания по диссертационной работе

1. В разделе 1 в п. 1.4 подробно рассмотрен известный модельно-ориентированный подход к системному инжинирингу, но не показано место предлагаемых цифровых моделей в этой методике.

2. В диссертации не показано, насколько часто проводится анализ с помощью предложенной методики виртуальных испытаний, с какой периодичностью корректируются решения по распределению и эксплуатации роботизированных транспортных средств.

3. При описании иерархической имитационной модели следовало привести данные об ограничении на максимальное число транспортных средств, моделируемых на сетях Петри.

4. В четвертом разделе рассматривается упрощенная оптимизационная задача распределения транспортных средств. Не показано, насколько получаемое решение отличается от результата решения оптимизационной задачи, сформулированной во втором разделе диссертации.

5. В пункте 3.4 автор рассматривает функции наработки на отказ различных элементов систем автомобилей и использует различные распределения: экспоненциальное, Вейбулла, нормальное и т.п. Однако далее в приведенных имитационных моделях на сетях Петри используется только пуассоновский закон событий возникновения отказов.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают значимости научных результатов, полученных в диссертации.

## Общее заключение по работе

Диссертация Волхонской Елизаветы Евгеньевны является научно-квалификационной работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Диссертация содержит решение актуальной проблемы управления парком роботизированных транспортных средств на основе комплекса цифровых моделей технического обслуживания и ремонта при различных сценариях эксплуатации.

Основные научные и практические результаты получены лично автором.

Автореферат отражает суть диссертационного исследования. Научные и практические результаты представлены в достаточном количестве опубликованных работ: всего 11 работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, одна статья в журнале, входящем в международную базу Scopus, одно свидетельство о государственной регистрации базы данных, 4 статьи в прочих изданиях.

Диссертация соответствует требованиям и критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.13 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Волхонская Елизавета Евгеньевна заслуживает присуждения учёной



степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертация Волхонской Е.Е. и отзыв на нее рассмотрены и одобрены на заседании кафедры программных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» 24 октября 2024 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой программных систем ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», д-р техн. наук, доцент

Востокин Сергей Владимирович

докторская диссертация защищена 19/10/2007 по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», даю согласие на обработку персональных данных



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

Сокращенное наименование: Самарский университет

Адрес: Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.

телефон: +7 (846) 335-18-26

E-mail: [ssau@ssau.ru](mailto:ssau@ssau.ru)

Web-сайт: <https://ssau.ru/>