

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Сухарева Романа Юрьевича «Научные основы автономного управления колёсными дорожно-строительными машинами», представленную на соискание учёной степени **доктора технических наук** по специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

### Актуальность темы

Актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью совершенствования систем автономного управления строительными и дорожными машинами на всех этапах строительства и ремонта автомобильных дорог с целью снижения доли ручного труда.

В связи с этим диссертационная работа Сухарева Романа Юрьевича, посвященная повышению эффективности работы наземных транспортно-технологических машин, *соответствует критерию «Актуальность исследования».*

### Степень обоснованности и достоверности

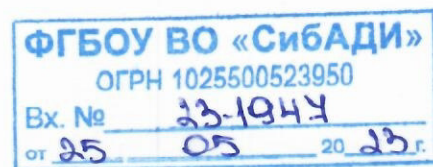
Обоснованность и достоверность результатов, выводов и рекомендаций, приведённых в рецензируемой работе подтверждается:

- корректностью принятых допущений.
- адекватностью математических моделей и корректностью использования методов имитационного моделирования
- обработкой необходимого объёма полученных экспериментальных данных.
- отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями другими учеными по разрабатываемой тематике.

### Научная новизна и практическая значимость результатов диссертации, возможные пути их использования

Полученные в диссертационной работе результаты исследований являются новым вкладом в решение важной научно-технической проблемы, а именно: повышению эффективности применения наземных технологических машин путём совершенствования методов расчёта их траекторий движения при выполнении ими технологических операций, связанных со строительством автомобильных дорог. Цель исследования работы: Решение научной проблемы повышения эффективности работы колёсных строительных и дорожных машин.

Новыми научными результатами диссертации, впервые полученными автором, являются:





1. Концепция автономного управления колёсными дорожно-строительными машинами (Глава 1. Разделы 1.1) и предложена классификация их систем управления.
2. Методика оценки эффективности рабочего процесса колёсной дорожно-строительной машины, оснащённой системой автономного управления (Глава 5. Раздел 5.5).
3. Математическая модель процесса движения колёсной строительной-дорожной машины, состоящей из ряда подсистем. (Глава 3. Раздел 3.1.-3.11).
4. Метод построения траектории движения машин, учитывающий их конструктивные ограничения (Глава 5 Разделы 4.2).
5. Новый копирный метод управления машинами при выполнении ими технологических операций (Глава 5 Раздел 5.6)

Практическая значимость результатов данного диссертационного исследования заключается в том, что автором:

- даны практические рекомендации и технические решения для создания перспективных систем автономного управления колёсными дорожно-строительными машинами (Глава 6 Раздел 6.2);

- рассмотрены, проанализированы, а также выявлены основные преимущества и недостатки таких методов управления строительной-дорожной техникой как «Метод Стэнли» и «Чистое преследование» (Глава 5 Разделы 5.2.-5.5);

-разработана инженерная методика создания перспективных систем автономного управления дорожно-строительными техникой (Глава 5 Разделы 5.4-5.6);

-введено понятие «Вектор состояние ДСМ» и варианты комплекта измерительной аппаратуры для его реализации (Глава 4. Раздел 4.3);

- получены новые экспериментальные данные (Глава 6. Раздел 6.1);

Результаты выполненных исследований имеют практическую ценность для науки и промышленности, так как предложенный метод автономного управления строительными-дорожными машинами на всех этапах строительства автомобильных дорог позволяет повысить эффективность их применения на 23-52% по отношению к применяемым в настоящее время такими способами как «Метод Стэнли» и «Чистое преследование». На предложенную систему автономного управления получен патент на изобретение. Результаты работы внедрены в АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения».

Теоретическая часть и методика проведения расчётов внедрена в учебном процессе ФГБОУ ВО «СибАДИ».



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

Оценка достоверности основных выводов проведена соискателем на основании анализа результатов теоретических исследований, изложенных в диссертационной работе.

Достоверность результатов обеспечена уровнем применявшегося методами обработки статистических данных.

1. **Первый вывод** о том, что в работе разработана новая концепция автономного управления колёсными строительными машинами, разработаны блок-схемы машины с серийной и с перспективной системами управления *подтверждается* приведенным текстом пятой главы исследования.

2. Содержащееся **во втором выводе** данные о том, что автором предложена классификация систем управления, в которую был добавлен новый класс систем управления, предложенный автором *подтверждается* приведенным текстом раздела 1.1 исследования.

3. Приведенные в **третьем выводе** обоснование необходимости разработки методики оценки эффективности рабочего процесса строительной машины, оснащённой системой автоматического управления на основе разработанного автором интегрального коэффициента *подтверждаются* результатами исследований, описанных автором в разделах 4 главы исследования.

4. Приведенные в **четвёртом выводе** сведения о том, что автором разработана математическая модель динамики процесса одновременного движения машины и выполнении ей различных технологических операций *подтверждаются* текстом главы 3 представленной работы, в том числе проверкой математической модели на адекватность.

5. *Положение пятого вывода* о том, что автором разработан метод моделирования трёхмерного микрорельефа разрабатываемой поверхности, *подтверждается* результатами статистического анализа дискретного и непрерывного, приведенными в третьей главе представленной работы.

6. **Шестой вывод** о том, что автором разработан метод построения траектории движения строительной техники при выполнении ей технологических операций *подтверждается* текстом четвёртой и пятой глав диссертации.

7. Приведённые в **седьмом выводе** данные о том, что автором предложено для оценки эффективности работы технологических машин применять такой параметр как «вектор состояния дорожно-строительной машины *подтверждается* исследованиями, приведёнными в разделе 5.5 пятой главы диссертации.



8. Приведённые в **восьмом выводе** данные о том, что автором проведено теоретическое исследование метода «чистое преследование» *подтверждается* приведёнными расчётами, приведёнными в разделе 5.2 пятой главе диссертации.

9. Содержащееся в **девятом выводе** данные о том, что автором проведено теоретическое исследование метода «Стэнли» *подтверждается* приведёнными расчётами, приведёнными в разделе 5.3 пятой главе диссертации..

10. Приведённые в **десятом выводе** данные о том, что автором разработан новый копирный метод автоматического управления строительно-дорожной техникой, при выполнении последней технологических операций по строительству автомобильных дорог *подтверждается* приведёнными расчётами, приведёнными в разделах 5.4-5.6 пятой главе диссертации..

11. *Положение* **одиннадцатого вывода** о том, что автором предложены практические рекомендации по использованию полученных в рассматриваемом научном исследовании результатов *подтверждается* текстом шестой главы диссертации.

Таким образом, рассматриваемая диссертационная работа *соответствует критериям «Научная новизна» и «Практическая ценность»*. Научные положения и выводы диссертационной работы Сухарева Романа Юрьевича *обоснованы и достоверны*.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 294 страницах основного текста.

**В введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень ее разработанности, сформулированы основная идея работы, ее цели и задачи, определены основные положения, выносимые на защиту, показана новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** выполнен анализ современных тенденций, формирующих необходимость повышения эффективности эксплуатации технологических машин при дорожном строительстве; проанализированы конструкции дорожных машин по признаку наличия различных функций управления. Рассмотрены показатели точности и эффективности функционирования дорожной техники, проведён анализ существующих математических моделей.

**Во второй главе** изложена общая методика исследований и приведена структура работы.

**В третьей главе** диссертации приводится математическая модель движения дорожно-строительной машины, оснащённой системой автоматического управления. В качестве базовой машины автор предлагает использовать



либо автогрейдер, либо фронтальный погрузчик. Дополнительными подсистемами представленной модели являются математическое описание микро-рельефа, процесс взаимодействия рабочего органа с разрабатываемой средой, работы гидропривода рабочего органа и рулевого управления, двигателя. Проведенный анализ рабочего процесса дорожно-строительных машин позволил разработать блок-схемы рабочих процессов без систем автоматизации, машины с серийной силовой установкой и с перспективной системой автономного управления, которая управляет не только рабочим органом, но и движением машины. Предложенная в работе математическая модель механической системы, описанная с помощью метода однородных координат и уравнений Лагранжа второго рода, позволяет получать временные зависимости перемещений частей дорожно-строительных машин в пространстве при стохастических и детерминированных входных воздействиях. В данном разделе работы автором разработан метод моделирования трехмерной поверхности, что позволило проводить теоретические исследования криволинейного движения технологических машин при строительстве автомобильных дорог, при этом математическая модель подсистемы взаимодействия рабочих органов машин с разрабатываемой средой представлена в виде линии тренда, представляющего собой среднюю величину усилия на рабочих органах, и флуктуации, описывающей случайные колебания усилия сопротивления копания. В работе проанализированы различные типы способов поворота машин – как с использованием управляющих колёс, так и с использованием ломающейся рамы. Кинематика процесса поворота с различными типами рулевого управления описана уравнениями радиусов поворота передней и задней осей, курсового угла и представлена в виде структурных схем.

**В четвертой главе** представлены основные результаты разработки методологии автономного управления колёсных дорожно-строительных машин, которая включает в себя методы управления движением и метод построения траектории с учётом кинематических ограничений дорожных машин, проведён анализ рабочего процесса, рассмотрены известные методы управления машинами. Разработан метод построения траектории движения, учитывающий кинематические ограничения колесных дорожно-строительных машин, координаты путевых точек и азимуты направления дальнейшего движения. Предложено новое понятие: «Вектор состояния дорожно-строительной машины» – это вектор параметров, описывающих текущее положение машины и рабочих органов, необходимых и достаточных для реализации методов автономного управления движением машины. Обоснованы варианты комплектов источников первичной измерительной



информации для формирования «вектора состояния». На основе анализа известных методов управления курсом движения машины и особенностей их применения предложен новый копирный метод управления курсом движения дорожно-строительных машин, при выполнении последними технологических операций.

**В пятой главе диссертации** автором выполнены исследования математических моделей процесса поворота дорожно-строительных машин с различными типами рулевого управления, которые позволили установить функциональную зависимость угла поворота передних колес от угла складывания полурам и коэффициента базы технологической машины для случая движения передней и задней осей по одной траектории, проведены теоретические исследования существующих методов управления машинами, при этом существующие методы были модернизированы для рассматриваемых условий эксплуатации, что позволило разработать новый копирный метод управления, для которого на основании проведенных теоретических исследований были получены функциональные зависимости оптимальных значений параметров метода управления, что позволило повысить точность работы во всем диапазоне рабочих скоростей машины и эффективность выполнения технологических операций.

**В шестой главе диссертации** приведены результаты экспериментальных исследований, выполненных на автогрейдере ГС-14.02. Результатом проведения комплекса исследований была подтверждена адекватность разработанной математической модели рабочего процесса дорожно-строительной машины. Расхождения экспериментальных и теоретических значений не превысили: при проведении активного эксперимента – 5 %; при проведении пассивного эксперимента – 7 %. Предложены практические рекомендации и технические решения для создания перспективных систем автономного управления колесными дорожно-строительными машинами,

*Характеристика диссертации в целом.* Структура диссертации имеет классический вид для работ по оценке эффективности работы системы по применению колёсных технологических машин при выполнении различных технологических операций. Описание материала исследований Сухарева Романа Юрьевича изложено научно и технически грамотно. Это облегчает знакомство с работой и понимание сути проведенных исследований. Главы логично переходят из одной в другую и заканчиваются выводами, что помогает восприятию работы как единого и законченного исследования. Графики и таблицы информативны. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.



### Замечания

1. Следует отметить, что при указании пунктов научной новизны автором не указано чем именно предложенные концепции, классификации, математические модели и методы отличаются от используемых ранее.

2. Автором при разработке модели эксплуатации машин оценивается только ее эффективность, путём более точного выбора траекторий движения. Вопросы безопасности выполнения работ в полностью автоматическом режиме в данной диссертационной работе не рассматривались.

3. В работе отсутствуют показатели эффективности работы машин, выраженные в ценовом эквиваленте. Предложенный автором интегральный критерий эффективности представляет собой показатель отклонения реальной траектории движения машины от требуемой. При этом ни допустимая величина отклонения траектории, ни её связь со стоимостью выполнения работ, автором не приведена. Понятие же «интегральный критерий эффективности» в автореферате не раскрыто. Отсутствие применения разработанной методики в парках строительных и дорожных машин не позволило получить конкретные данные на сколько изменится эффективность использования строительных и дорожных машин при применении предложенного метода автономного управления колёсными технологическими машинами.

4. В работе не приведены ограничительные показатели, которые бы показывали, при каких условиях преимуществом в точности обладает метод «чистое преследование», метод «копирования», а в каких случаях предпочтительнее использовать метод «Стэнли».

5. В работе представлено несколько расчётных схем строительно-дорожных машин, причём допущения прописаны только в разделах 3.2 и 3.3 (обоснования расчётных схем работы автогрейдера и погрузчика) в которых сказано о том, что: задняя ось представлена балансирными тележками, передняя ось имеет балансирную подвеску; упруго-вязкие свойства грунта, гидроцилиндров и элементов ходового оборудования представлены телами Фохта. Однако, при переходе к расчётной схеме динамики поворота машин, параметры подвески и разрабатываемого грунта пропадают. Хотелось бы знать допущения принятые автором для каждого расчётного случая.

6. Автором было заявлено об использовании в своей работе математических моделей микрорельефа поверхности, рабочего органа, силовой установки, однако, в полученных уравнениях регрессии, приведённых в пятой главе диссертации, ни один из указанных параметров не учтён. В итоге всё свелось к длине базы технологической машины, её скорости и расстоянию видимости. Хотелось бы видеть, как изменяются параметры управления технологи-



ческими машинами от угла установки рабочего органа, глубины заглобления, физико-механических свойств разрабатываемой поверхности и т.п.

7. В тексте имеются отдельные погрешности редакционного характера, не искажающие смысл изложенного материала.

Отмеченные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и не ставят под сомнение значимость проведённых исследований.

### **Публикации**

Количество публикаций по теме диссертации в виде 4 монографий, 18 статей, в том числе 12 в журналах, входящих в перечень ВАК, одной статьи в научном журнале, включённых в базу данных SCOPUS, говорит о достаточной апробации основных положений диссертации. В публикациях Сухарева Романа Юрьевича подробно раскрываются все части его диссертации.

### **Соответствие содержания диссертации и реферата**

Название диссертации соответствует её содержанию. Диссертация оформлена в соответствии с нормативными требованиями к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук. Изложение материала ясное для понимания положений работы специалистами. По содержанию диссертация соответствует специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и в достаточной мере отражает основные научные положения, выводы и рекомендации, научную и практическую значимость работы.

### **Соответствие содержания диссертационной работы паспорту специальности**

Тема и содержание диссертационной работы полностью соответствует специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы». Поставленная цель работы: Решение научной проблемы повышения эффективности работы колесных ДСМ путем разработки научных основ и методов автономного управления соответствует п.5 и п.6 паспорта специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

### **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Соискателем лично на основе теоретических и экспериментальных данных получены закономерности, устанавливающие связь между конструктивными и эксплуатационными параметрами колесной ДСМ, параметрами системы автономного управления и критерием эффективности..



## 7. Общее заключение

Диссертация выполнена автором самостоятельно. Работа содержит новые научные результаты в области исследования, обеспечившие повышение эффективности работы колесных ДСМ путем разработки научных основ и методов их автономного управления

Следует отметить, что текст работы имеет ясное изложение, хорошо поставленным, грамотным техническим русским языком, с использованием терминов, понятий и определений, принятых в нормативно-технической документации и научно-технической литературе.

Замечания, приведенные выше, носят преимущественно рекомендательный характер и ни в коей мере не снижают значимости представленной работы для науки, техники и производства.

На основании сказанного выше считаю, что диссертационная работа «Научные основы автономного управления колёсными дорожно-строительными машинами», а также автореферат данной работы, соответствуют паспорту специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы» и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, а ее автор Сухарев Роман Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени **доктора технических наук** по специальности 2.5.11 – «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы».

Официальный оппонент:

Вахидов Умар Шахидович

доктор технических наук, профессор,

(05.05.03 – Колёсные и гусеничные машины),

Заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины»

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»

603155, г. Нижний Новгород,


ул. Минина, д. 24.

т. 8-951-902 -55-88,

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

Я, Вахидов Умар Шахидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

«17» мая 2023

 (подпись)

Подпись д.т.н., зав. кафедрой СДМ ФГБОУ ВО НГТУ У.Ш. Вахидова заверяю

Ученый секретарь  
ФГБОУ ВО Нижегородский  
Государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева



 И.Н. Мерзляков

С одобрением декана

25.05.23

 Сухарев Р.Ю.