

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Клубничкина Владислава Евгеньевича «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 4.3.4 - Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины и 2.5.11 - Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Актуальность темы

Лесозаготовительная отрасль сталкивается с комплексом проблем, включающим высокий уровень травматизма, нехватку квалифицированных операторов, значительное воздействие на окружающую среду и необходимость повышения производительности труда. Мировая тенденция к устойчивому лесопользованию и ужесточение экологических норм требуют внедрения принципиально новых, высокотехнологичных решений. Переход к «Индустрии 4.0» и развитие интеллектуальных транспортных систем, отраженные в Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года, подчеркивают необходимость разработки автономной лесозаготовительной техники.

В этом контексте тема диссертации В.Е. Клубничкина, посвящённая созданию научно-обоснованных методов разработки беспилотных трелевочных машин (БПТМ) для повышения безопасности, энергоэффективности и технологической эффективности лесозаготовок, является весьма актуальной и соответствует приоритетным направлениям развития науки и технологий в Российской Федерации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации изложены следующие научные положения, выводы и рекомендации, обладающие достаточной степенью обоснованности:

1. Коллаборативная технология заготовки древесины беспилотными колесными и гусеничными машинами.

Положение является комплексным и носит фундаментальный характер. Его обоснованность подтверждается глубоким анализом существующих технологий лесозаготовок, выявлением их недостатков (травматизм, простой, зависимость от человеческого фактора) и логическим построением новой технологической схемы. Предложенное разделение зон ответственности между операторами валочно-пакетирующей машины и верхнего склада, а также использование беспилотного летательного аппарата для предварительной разведки трактуется как закономерное развитие процессов автоматизации в лесном комплексе. Положение является оригинальным и представляет собой целостное организационно-техническое решение.

2. Новые математические модели движения трелевочных беспилотных колесных и гусеничных машин, учитывающие перемещения трелеваемой пачки хлыстов в полупогруженном состоянии с учетом её колебаний.

Обоснованность данного положения обеспечивается применением современного аппарата механики систем твердых тел с шарнирными связями. Модели реализованы в признанных программных комплексах («Универсальный механизм» и др.). Адекватность и точность моделей верифицированы путем натурных экспериментов с использованием высокоточного измерительного оборудования (система Racelogic Vbox, GPS-приемники, индуктивные датчики). Полученная погрешность траекторий (до 16%) и угловых скоростей (до 8%) находится в допустимых для инженерных расчетов пределах, что подтверждает достоверность моделей.

3. Законы управления движением беспилотных трелевочных машин, позволяющие учитывать влияние пачки, осуществлять энергоэффективное и безопасное движение и предотвращать выезд за пределы волока.

Положение обосновано для двух типов машин: для шарнирно-сочлененных колесных машин разработан комбинированный закон (управление по отклонению + программное управление), для гусеничных –

закон на основе комбинированного ПИД-регулятора. Обоснованность подтверждается строгими кинематическими и динамическими расчетами, представленными в работе, а также результатами имитационного моделирования, показавшими эффективность предложенных решений (отклонение от траектории не превышает 12%).

4. Метод определения рациональных технических характеристик трансмиссии и технологического оборудования БПТМ с использованием виртуальной лесосеки.

Обоснованность метода обеспечивается созданием параметризованной модели виртуальной лесосеки, учитывающей геометрические и физико-механические характеристики дорожно-грунтовых условий, а также лесоводственные и нормативные требования. Метод позволяет проводить комплексные виртуальные испытания на этапе проектирования, что подтверждается полученными в работе конкретными рекомендациями по выбору рациональных схем механизмов передачи-поворота (например, двухпоточный дифференциальный механизм с ГОП).

5. Результаты технико-экономического исследования, доказывающие эффективность коллаборативной технологии.

Полученные количественные оценки (рост производительности на 20%, экономия на зарплате оператора до 3,1 млн руб. в год, снижение расхода топлива) являются доказательными и базируются на сопоставлении с традиционными технологиями.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и результатов базируется на сравнительной оценке данных теоретических и экспериментальных исследований динамики БПТМ, а также на использовании апробированных методов имитационного математического моделирования. Верификация разработанных математических моделей выполнена путем сопоставления с результатами натурных экспериментов, проведенных на серийных образцах

техники с использованием современного контрольно-измерительного оборудования. Применение лицензионного программного обеспечения для реализации моделей и обработки данных дополнительно обеспечивает корректность полученных результатов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработана коллаборативная технология заготовки древесины беспилотными колесными и гусеничными машинами, отличающаяся применением робототехнических комплексов при трелевке и порожнем ходе в автономном режиме, а при работе на лесосеке и верхнем складе – в дистанционно управляемом режиме. Данный подход позволяет повысить безопасность труда, энергоэффективность операций трелевки и экономическую эффективность лесозаготовок в целом.

Созданы математические модели движения трелевочных беспилотных колесных и гусеничных машин, отличающиеся принципиально новой возможностью моделирования перемещений трелеваемой пачки хлыстов в полупогруженном состоянии с учетом ее колебаний, что более адекватно описывает реальный динамический процесс.

Разработаны законы управления движением беспилотных трелевочных колесных и гусеничных машин, которые позволяют:

Учитывать влияние пачки хлыстов на динамику машин с учетом особенностей трелевочного оборудования и конструктивного исполнения БПТМ.

Осуществлять энергоэффективное и безопасное беспилотное движение по волоку.

Повысить экологическую безопасность при выполнении маневров на лесосеке путем предотвращения выезда за пределы трелевочного волока.

Разработана параметризованная математическая модель условий эксплуатации – «виртуальная» лесосека с характеристиками дорожно-грунтовых условий, отличающаяся использованием зависимости от числа

проходов БПТМ, что позволяет учитывать изменение свойств опорной поверхности в процессе работы.

Предложены новые методы определения рациональных технических характеристик трансмиссий и технологического оборудования БПТМ, отличающиеся моделированием трелевки на виртуальной лесосеке и движения без нагрузки. Это позволяет на этапе проектирования оценивать и повышать безопасность и энергоэффективность транспортных операций, а также проводить расчет нагруженности агрегатов и узлов машин.

Теоретическая и практическая значимость работы

- Работа формирует новое научное направление, связанное с созданием теоретических основ и методов проектирования беспилотных лесозаготовительных машин.

- Разработанные математические модели и законы управления вносят вклад в теорию движения колесных и гусеничных машин в сложных природных условиях.

- Комплексный подход к формированию технического облика БПТМ, включая выбор конструктивно-компоновочных решений, трансмиссий и систем управления, представляет значительную практическую ценность.

- Результаты работы внедрены в ведущие машиностроительные предприятия (ПАО «КАМАЗ», АО «Курганмашзавод»-«Рубцовск», ООО Завод «Алтайлесмаш») и лесной отрасли (ООО «Лестех-финанс»), что подтверждено актами внедрения, и используются в учебном процессе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

- Предложенная коллаборативная технология и методы проектирования позволяют обосновать инвестиции в создание отечественных БПТМ в рамках политики импортозамещения.

Личный вклад соискателя

Личный вклад соискателя является определяющим и заключается в личном выполнении следующего комплекса исследований и разработок: разработка коллаборативной технологии заготовки древесины беспилотными

колесными и гусеничными машинами; создание комплекса математических моделей движения беспилотных трелевочных колесных и гусеничных машин; проведение экспериментальных исследований для оценки адекватности и точности разработанных математических моделей; разработка законов управления движением беспилотных трелевочных машин по заданным траекториям; создание виртуальной лесосеки с параметризованными характеристиками дорожно-грунтовых условий; разработка метода определения рациональных технических характеристик трансмиссии и технологического оборудования БПТМ; проведение сравнительного технико-экономического исследования коллаборативной технологии. Вся заимствованная информация в работе снабжена соответствующими ссылками на авторов и источники. Подготовка публикаций и выступлений в ряде случаев осуществлялась в соавторстве, при этом личный вклад соискателя являлся определяющим.

Апробация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования получили широкое признание и всестороннюю апробацию в научном и профессиональном сообществе. Основные положения и выводы работы были представлены, обсуждены и получили положительную оценку на ряде авторитетных международных и всероссийских конференций, симпозиумов и форумов. Среди них:

Международные форумы и конференции: International Seminar «Soil trafficability - challenges for soils and vehicles» (Тарту, Эстония, 2015); 48th International Symposium on Forestry Mechanization (Линц, Австрия, 2015); 13th ISTVS European Conference (Рим, Италия, 2015); 8th ISTVS Americas regional conference (Детройт, США, 2016); 49th International Symposium on Forestry Mechanization (Варшава, Польша, 2016); 19th International and 14th European-African Regional Conference of the ISTVS (Будапешт, Венгрия, 2017); Международная научно-техническая конференция «Современные направления и перспективы развития

технологий обработки и оборудования в машиностроении» (Севастополь, 2018-2020).

Всероссийские и национальные мероприятия: I Европейский лесопромышленный форум молодежи (Воронеж, 2014); Международный молодежный симпозиум «Современные проблемы математики. Методы, модели, приложения» (Воронеж, 2015); XVI Международная молодежная научно-техническая конференция «Будущее технической науки» (Нижний Новгород, 2017); Ежегодные научно-технические конференции профессорско-преподавательского состава Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищи, 2017-2025); 102-ая Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы помощи водителю...» (Нижний Новгород, 2018); Научно-технический семинар «Подвижность транспортно-технологических машин» (Нижний Новгород, 2018-2020); Всероссийская научная конференция, посвященная 90-летию ВГЛТУ (Воронеж, 2020); Всероссийские научно-практические конференции «Современный лесной комплекс страны...» (Воронеж, 2022, 2023); XX и XXI Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2022, 2023); 114-я международная научно-техническая конференция «Перспективы развития наземных транспортных средств...» (Нижний Новгород, 2023).

Основные научные и практические результаты диссертации нашли отражение в 95 публикациях автора. Из них 42 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях из перечня Высшей аттестационной комиссии (ВАК) РФ, 18 статей индексируются в международной базе данных SCOPUS. Получены 2 патента на изобретение, 2 патента на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты работы внедрены в учебный процесс. Материалы диссертации используются в Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Транспортно-технологические средства и оборудование

лесного комплекса» при преподавании дисциплин «Проектирование машин и оборудования лесного комплекса», «Проектирование внедорожных машин», «Конструирование и расчет машин и оборудования лесного комплекса» для направлений подготовки бакалавриата и магистратуры 15.03.02, 23.03.02 и 15.04.02, а также при руководстве курсовым и дипломным проектированием и научной работой студентов.

Оценка содержания диссертации

Диссертация представляет собой целостное и законченное научное исследование. Работа состоит из введения, семи глав основного содержания, общих выводов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, библиографического списка, содержащего 229 наименований, и приложений. Общий объем диссертации составляет 326 страниц машинописного текста. Основной текст включает 227 рисунков и 30 таблиц, что наглядно иллюстрирует теоретические и экспериментальные исследования.

Структура и содержание диссертации полностью соответствуют поставленным цели и задачам. Логика изложения последовательна: от анализа состояния проблемы и формирования концепции коллаборативной технологии к разработке математического аппарата, его экспериментальной верификации, созданию систем управления и завершается технико-экономическим обоснованием предлагаемых решений.

Представленные в работе научные результаты и выводы соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины»:

п.3. Теория и методы воздействия техники и технологий на лесную среду в процессе лесовыращивания, заготовки и переработки древесного сырья.

п.5. Компоновка, типы, параметры и режимы работы машин лесохозяйственных и лесопромышленных производств.

п.6. Автоматизация, роботизация, информатизация управления машинами и системами лесного хозяйства и лесной промышленности.

А также пунктам паспорта специальности 2.5.11. «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы»:

п.1. Теория рабочих процессов транспортно-технологических средств и их комплексов отраслевого назначения, включая ... лесохозяйственное ..., взаимодействующих с опорной поверхностью - посредством контактных движителей и/или опорных, ходовых модулей и с рабочими средами (объектами) – посредством навесного, прицепного и другого технологического оборудования.

п.2. Методы расчета и проектирования, направленные на создание новых и совершенствование существующих транспортно-технологических средств и их комплексов с учетом полного жизненного цикла изделий, обладающих высоким качеством, в том числе повышенными показателями экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, обеспечивающих энергоэффективность и безопасность эксплуатации.

п.5. Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств, в том числе в их узлах, механизмах, системах и технологическом оборудовании при взаимодействии с опорной поверхностью и с рабочими средами (объектами).

п.6. Оптимизация конструкций и синтез законов управления движением наземных транспортно-технологических средств и их комплексов, а также их отдельных функциональных узлов, механизмов и систем, направленные на улучшение экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, технологической производительности, обеспечение энергоэффективности и безопасности.

Диссертация написана ясным, научным языком, ее материал логично структурирован и хорошо воспринимается.

Замечания по диссертации

1. В работе обоснован выбор пачкового захвата как наиболее предпочтительного для БПТМ. Однако какова оценка влияния

предварительного формирования пачки валочно-пакетирующей машиной на общую производительность и стоимость технологического комплекса в сравнении с манипуляторными БПТМ, способными формировать пачку самостоятельно?

2. На стр. [111] говорится о размещении сенсоров на машине. Проводились ли исследования по оптимизации мест установки датчиков (лидаров, радаров, камер) для минимизации «мертвых зон» и обеспечения надежного распознавания в условиях лесной чащи?

3. Работа концентрируется на технических решениях, однако переход на коллаборативные технологии потребует кардинального изменения организации лесозаготовительного процесса. В диссертации не затрагиваются вопросы нормативно-правового регулирования применения БПТМ, подготовки и переподготовки кадров для их обслуживания, а также потенциального социального сопротивления внедрению беспилотных систем. Эти факторы могут оказаться решающими при практической реализации разработок.

4. В работе параллельно разработаны решения для колесных и гусеничных БПТМ. Однако в выводах отсутствует их сравнительный анализ по ключевым показателям (энергоэффективность, производительность, воздействие на грунт, стоимость) для одних и тех же условий виртуальной лесосеки, что могло бы дать ценные рекомендации для выбора типа движителя.

5. В работе представлены результаты верификации математической модели на дернистом грунте с максимальным отклонением траектории до 16%. Однако в главе 6 проводится моделирование преодоления экстремальных препятствий (подъемы/спуски 25-30°, косогоры 15°, вертикальные уступы до 0.8 м), где динамика машины и нагрузки на ходовую часть носят нелинейный и критический характер.

- Проводилась ли дополнительная верификация математической модели именно для этих экстремальных режимов движения (например,

сравнение с данными натурных испытаний на полигоне с искусственными препятствиями)?

- Насколько можно доверять результатам моделирования потери подвижности (например, отрыв кареток на подъеме 30° , Рис. 6.3) и критическим нагрузкам (10-кратная статическая), если верификация проводилась преимущественно в условиях криволинейного движения по относительно ровному грунту?

- Какие параметры модели (например, характеристики упруго-демпфирующих элементов подвески, предельные условия сцепления) оказывают наибольшее влияние на точность прогноза в экстремальных ситуациях и как вы оценивали их достоверность?

6. В тексте диссертации встречаются отдельные стилистические и редакционные погрешности.

Заключение

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Клубничкина Владислава Евгеньевича «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин» является завершенной, самостоятельной и целостной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема повышения энергоэффективности и безопасности лесозаготовок путем использования научно обоснованных методов формирования технического облика беспилотных трелевочных машин, конструктивно-компоновочных исполнений, рациональных схем технологического оборудования, трансмиссий, законов управления движением колесных и гусеничных БПТМ.

Автореферат и опубликованные научные работы полностью отражают основное содержание, сформулированные положения и выводы диссертации.

Недостатки, отмеченные в отзыве, не снижают уровня теоретической и практической значимости работы.

Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (п.п. 9-14) от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. 16.10.2024 № 1382) предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, утвержденного Постановлением Правительства РФ, а ее автор Клубничкин Владислав Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины и специальности 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Официальный оппонент:

Галактионов Олег Николаевич, доктор технических наук (05.21.01-Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства), доцент, заведующий кафедрой технологии лесного комплекса и ландшафтной архитектуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет». 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, просп. Ленина, д. 33, ПетрГУ

<https://petsu.ru/>. Тел. +78142782170. E-mail: galakt@petsu.ru



О.Н. Галактионов

Галактионов О.Н.
ЗАВЕРЯЮ
Мышина Е.Ю.
«___» _____ 200__ г.
21 НОЯ 2025