

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и цифровому
развитию МГТУ имени

Н.Э. Баумана

д.э.н., профессор

П.А. Дроговоз

« 12 »

2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Диссертация «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных
трелевочных машин» выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре
транспортно-технологических средств и оборудования лесного комплекса.

В период подготовки диссертации соискатель Клубничкин Владислав
Евгеньевич работал в МГТУ имени Н.Э. Баумана на кафедре транспортно-
технологических средств и оборудования лесного комплекса в должности доцента.

В 2008 г. Клубничкин Владислав Евгеньевич окончил с отличием
государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Московский государственный университет леса» по специальности
«Машины и оборудование лесного комплекса». Диплом специалиста ВСА
№0661852 от 11.07.2008 г., регистрационный номер 4728.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук
защитил при диссертационном совете по защите диссертаций на соискание ученой
степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, созданном на
базе Московского государственного университета леса. Решением от 2 марта 2012
г. №5 присуждена ученая степень кандидата технических наук (приказ
Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.03.2013 №123/нк-
5 о выдаче диплома кандидата наук Серия ДКН № 179355).

Handwritten signature in blue ink, likely of the official who signed the certificate.

В 2022 году Клубничкину Владиславу Евгеньевичу присвоено ученое звание доцента по научной специальности «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 26 декабря 2022 г. № 1853/нк-2. Серия ДОЦ № 012524.

Тема диссертационной работы окончательно утверждена на заседании Ученого совета МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) протокол № 10 от 29 декабря 2023 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин» принято следующее заключение.

Актуальность темы

Мировые объемы лесозаготовки стабильно растут, и к 2030 году ожидается увеличение до 4,5 млрд м³. В России, обладающей огромными возобновляемыми лесными ресурсами, стратегией развития лесного комплекса предусмотрено увеличение объемов заготовки древесины до 290 млн м³ в год, включая освоение новых лесных массивов на слабонесущих грунтах.

Утверждённая «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» и приоритетные направления научно-технологического развития РФ, включая интеллектуальные транспортные системы и автономные транспортные средства, подчеркивают необходимость внедрения инновационных технологий для повышения производительности труда, экологической устойчивости и безопасности лесозаготовок. Традиционные методы лесозаготовки сопряжены с высоким риском травматизма, воздействием вредных факторов и неблагоприятных условий труда, что делает внедрение беспилотных технологий особенно актуальным.

В настоящее время научно обоснованные методы формирования технического облика беспилотных трелевочных машин (БПТМ) отсутствуют, что является ключевой научной проблемой. Для её решения требуется проведение исследований по выбору конструктивно-компоновочных решений, определению рациональных схем технологического оборудования и трансмиссий, прогнозированию подвижности и разработке законов управления движением БПТМ. Разработанные в диссертации коллаборативная технология, математические модели и виртуальная лесосека позволяют повысить безопасность, энергоэффективность и точность выполнения трелевочных операций, что соответствует современным требованиям к рациональному использованию лесных ресурсов и сохранению экологического баланса.

В то время как роботизированные системы, включая автономные транспортные средства, с помощью алгоритмов машинного обучения, активно применяются в сельском хозяйстве и горнодобывающей промышленности, в лесной отрасли они пока не получили широкого распространения. Данная работа направлена на устранение этого разрыва, предлагая научно обоснованные решения для интеграции беспилотных технологий в лесозаготовительные процессы, что способствует эффективному лесопользованию и переходу к интенсивным методам лесозаготовок.

Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается:

- в разработанной коллаборативной технологии заготовки древесины беспилотными колесными и гусеничными машинами, отличающейся применением робототехнических комплексов при трелевке и порожнем ходе в автономном режиме, при работе на лесосеке и верхнем складе в дистанционно управляемом режиме, позволяющих повысить безопасность труда и энергоэффективность при выполнении операций трелевки и экономическую эффективность лесозаготовок;

- в разработанных математических моделях движения трелевочных беспилотных колесных и гусеничных машин, отличающихся возможностью моделирования перемещений трелеваемого пакета хлыстов в полупогруженном состоянии с учетом его колебаний;

- в разработанных законах управления движением беспилотными трелевочными колесными и гусеничными машинами, позволяющих: учитывать влияние пакета хлыстов на динамику машин с учетом особенности 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.

- в разработанной параметризированной математической модели условий эксплуатации – «виртуальная» лесосека с характеристиками дорожно-грунтовых условий, отличающейся использованием зависимости от числа проходов БПТМ.

- в разработанных новых методах определения рациональных технических характеристик трансмиссий и технологического оборудования БПТМ, отличающихся моделированием трелевки на виртуальной лесосеке и движения без нагрузки с целью повышения безопасности и энергоэффективности транспортных операций и расчета нагруженности агрегатов и узлов машин.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается:

1. В разработанных программных реализациях математических моделей движения колесных и гусеничных беспилотных трелевочных машин при трелевке на виртуальной лесосеке с целью прогнозирования энергоэффективности операций и нагруженности элементов лесозаготовительных машин на этапе проектирования.

2. В рекомендациях по выбору технических характеристик колесных и гусеничных беспилотных трелевочных машин с различным трелевочным оборудованием для хлыстовой заготовки древесины.

Внедрение

Результаты работы внедрены в ПАО «КАМАЗ», АО «Курганмашзавод»-«Рубцовск», ООО Завод «Алтайлесмаш», ООО «ЛЕСТЕХ-ФИНАНС».

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов базируются на сравнительной оценке данных теоретических и экспериментальных исследований динамики БПТМ, а также на использовании апробированных методов имитационного математического моделирования.

Личный вклад

Научная работа выполнена соискателем лично, а именно:

1. Разработана коллаборативная технология заготовки древесины беспилотными колесными и гусеничными машинами.

2. Разработан комплекс математических моделей движения беспилотных трелевочных колесных и гусеничных машин при выполнении трелевочных операций.

3. Проведены экспериментальные исследования с целью оценки адекватности и точности математических моделей движения беспилотных трелевочных колесных и гусеничных машин с пакетом хлыстов в полупогруженном состоянии.

4. Разработаны законы управления движением беспилотными трелевочными колесными и гусеничными машинами по заданным траекториям.

5. Разработана виртуальная лесосека для моделирования трелевочных операций с параметризованными характеристиками дорожно-грунтовых условий.

6. Разработан метод определения рациональных технических характеристик трансмиссии и технологического оборудования БПТМ с использованием виртуальной лесосеки и моделирования трелевочных операций.

7. Проведено сравнительное технико-экономическое исследование коллаборативной технологии заготовки древесины с использованием имитационного математического моделирования рабочих процессов.

В работе отсутствует заимствованный материал без ссылок на авторов и источники заимствования. Подготовка публикаций, выступлений в ряде случаев проводилась совместно с соавторами, при этом вклад соискателя является определяющим.

Апробация работы

Основные положения и результаты исследований заслушивались и обсуждались на: I-м Европейском лесопромышленном форуме молодежи. Воронеж, 2014; International seminar Soil trafficability- challenges for soils and vehicles. Tartu (Estonia), 2015; 48th International Symposium on Forestry Mechanization. Linz (Austria), 2015; 13th ISTVS European Conference. Rome (Italy), 2015; Международном молодежном симпозиуме «Современные проблемы математики. Методы, модели, приложения». Воронеж, 2015; 8th ISTVS Americas regional conference. Detroit (USA), 2016; 49th International Symposium on Forestry Mechanization: «From Theory to Practice: Challenges for Forest Engineering». Warsaw (Poland), 2016; XVI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Нижний Новгород, 2017; 19th International and 14th European-African Regional Conference of the ISTVS. Budapest (Hungary), 2017; Ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Мытищи, Московская обл. 2017-2025; 102-ой Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы помощи водителю: разработка, исследование, сертификация». Нижний Новгород, 2018; Международной научно-технической конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (ICMTMTE 2018-2020). Севастополь, 2018-2020; Научно-техническом семинаре «Подвижность транспортно-технологических машин». Нижний Новгород, 2018-2020; Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова «Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса». Воронеж 2020; Всероссийской научно-практической конференции «Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития». Воронеж, 2022; Всероссийской научно-практической конференции «Современный лесной комплекс страны: актуальные векторы развития», Воронеж, 2023; XX и XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». Вологда, 2022, 2023; 114-я международная научно-техническая конференция «Перспективы

развития наземных транспортных средств и технологий транспортной логистики». Нижний Новгород, 2023.

Публикации по теме диссертации

По материалам диссертации опубликовано 94 научные работы, общим объемом 18,9 п.л., из них по списку, рекомендованному ВАК РФ – 42, индексируемых в международной базе научных изданий SCOPUS – 18, патент РФ на изобретение – 1, патент РФ на полезную модель – 2, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – 1, прочие издания – 30. В том числе:

Публикации в научных изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Наумов В.Н. Исследование факторов, определяющих выбор типа и грузоподъемности лесозаготовительных погрузочно-транспортных машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2025. №1. С. 87-103. (1,1 п.л./0,5 п.л.). Лично соискателем определены рациональные технические характеристики технологического оборудования машины с использованием моделирования трелевочных операций.

2. Клубничкин Е.Е., Клубничкин В.Е. Выбор критерия оценки влияния типажа и грузоподъемности погрузочно-транспортных машин на эффективность трелевочного процесса // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2024. №3. С. 82-97. (1,0 п.л./0,5 п.л.). Лично соискателем проведено сравнительное технико-экономического исследование трелевки древесины с использованием имитационного математического моделирования рабочих процессов.

3. Рогачев Д.И., Клубничкин В.Е. Реализация сегментации деревьев для системы поддержки принятия решений оператора лесозаготовительной машины // Системы. Методы. Технологии. 2023. №4(60). С. 169-175. (0,5 п.л./0,25 п.л.). Лично соискателем сформирована цифровая карта местности для эффективного применения на участках виртуальной лесосеки при коллаборативной технологии заготовки древесины.

4. Исследование тормозных свойств колесного форвардера 8×8 / В.Е. Клубничкин [и др.] // Лесотехнический журнал. 2021. Т.11. №4 (44). С. 124-138. (0,93 п.л./0,4 п.л.). Лично соискателем проведены расчеты реакций в пятне контакта колес при горизонтальном положении машины, в условиях подъема и спуска с целью дальнейшего их применения при исследовании тормозных свойств и управляемости колесных БПТМ.

5. Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Рогачев Д.И. Автоматизация технологических процессов лесозаготовительной машины // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 12. С. 114-117. (0,19 п.л./0,09 п.л.). Лично соискателем выполнен анализ оборудования необходимого для беспилотной работы

трелевочной машины и сформированы основные требования к конструкции машины для эффективного применения её при коллаборативной технологии заготовки древесины.

6. Разработка узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины / В.Е. Клубничкин [и др.] // Лесотехнический журнал. 2020. Т.10. №4 (40). С. 217-226. (0,63 п.л./0,3 п.л.). Лично соискателем выполнен анализ конструктивных решений узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины и проведено исследование управляемости сочлененной машины в комплексе натурно-математического моделирования с целью дальнейшего применения в разработанных законах управления движением беспилотными трелевочными колесными машинами.

7. Программа и методика проведения экспериментальных исследований погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ / В.Е. Клубничкин [и др.] // Лесотехнический журнал. 2017. Т.7. №4. С. 175-182. (0,5 п.л./0,2 п.л.). Лично соискателем разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ с использованием участков виртуальной лесосеки.

8. О проходимости лесозаготовительных машин на гусеничном ходу и агрегатных машин на их базе / В.Е. Клубничкин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. №4. С. 169-175. (0,44 п.л./0,12 п.л.). Лично соискателем выполнен анализ условий эксплуатации лесозаготовительных машин и предложен показатель для сравнительной оценки проходимости.

9. Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам / В.Е. Клубничкин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. №1. С. 171-176. (0,38 п.л./0,12 п.л.). Лично соискателем разработаны участки виртуальной лесосеки и проведено исследование движения гусеничной лесозаготовительной машины с использованием программного комплекса моделирования динамики систем твердых тел.

10. Модель взаимодействия элементов опорной поверхности гусениц лесозаготовительной машины с грунтом / В.Е. Клубничкин [и др.] // Лесотехнический журнал. 2014. Т.4. №4 (16). С. 191-200. (0,65 п.л./0,2 п.л.). Лично соискателем разработана математическая модель взаимодействия элементов опорной поверхности гусениц лесозаготовительной машины с грунтом.

11. Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Бухтояров Л.Д. Исследование кинематики и динамики движителя гусеничной лесозаготовительной машины // Лесотехнический журнал. 2014. Т.4. №4 (16). С. 179-190. (0,68 п.л./0,3 п.л.). Лично соискателем проведено исследование кинематики и динамики движителя

гусеничной лесозаготовительной машины с использованием программного комплекса моделирования динамики систем твердых тел.

Прочие издания:

1. Клубничкин В.Е., Лазарев Д.М. Разработка динамической модели гусеничной беспилотной погрузочно-транспортной машины // В сборнике: Современный лесной комплекс страны: актуальные векторы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор А.А. Платонов. Воронеж, 2023. С. 94-100. (0,44 п.л./ 0,3 п.л.). Лично соискателем разработана динамическая модель гусеничной беспилотной погрузочно-транспортной машины с использованием программного комплекса исследования динамики систем твердых тел.

2. Клубничкин В.Е. Формирование облика гусеничных беспилотных трелевочных машин // Материалы XX Международной научно-технической конференции. «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» Вологда: ВГУ, 2022. С. 287-291. (0,34 п.л.).

3. Клубничкин В.Е. Коллаборативная технология трелевки древесины // В сборнике: Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор А.А. Платонов. Воронеж, 2022. С. 26-31. (0,4 п.л.).

Результаты диссертационного исследования опубликованы.

Заключение

Диссертационная работа Клубничкина Владислава Евгеньевича «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин» является самостоятельным завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором 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. Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (п.п. 9-14) от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. 16.10.2024 № 1382) к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, утвержденного Постановлением Правительства РФ. Тема и содержание диссертации полностью соответствует выбранным специальностям 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины и 2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Диссертация Клубничкина Владислава Евгеньевича «Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин» рекомендуется к

защите на соискание 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.

Заключение принято на совместном заседании кафедр транспортно-технологических средств и оборудования лесного комплекса, технологии и оборудования лесопромышленного производства и древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ).

Присутствовало на заседании 35 чел. Результаты голосования: «за» – 35 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 09.04.07-04/16 от «26» февраля 2025 г.

Заведующий кафедрой
транспортно-технологических
средств и оборудования лесного
комплекса, д.т.н, профессор



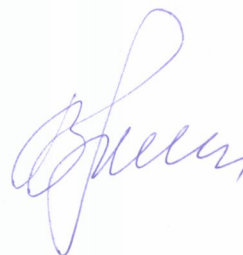
Котиев Г.О.

Заведующий кафедрой
древесиноведение и технологии
деревообработки» д.т.н., профессор



Санаев В.Г.

И.о. заведующего кафедрой
технологии и оборудования
лесопромышленного производства,
д.т.н, доцент



Никитин В.В.