

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*363.7:674.8(043.3)

ГЕРМАНОВИЧ  
Александр Олегович

Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе  
многофункционального шасси для производства топливной щепы

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства**

Минск, 2015

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок.

Научный руководитель

**Лой Владимир Николаевич,**

кандидат технических наук, доцент, декан факультета технологии и техники лесной промышленности; учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

**Алифанов Александр Викторович,**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства; учреждение образования «Барановичский государственный университет»

**Бойков Владимир Петрович,**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы»; учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «16» июня 2015 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4, тел. (017) 327-83-41; e-mail: lmitlz@belstu.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «14» мая 2015 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций

кандидат технических наук, доцент



С. П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы для лесной промышленности Республики Беларусь все большую актуальность приобретает вопрос рационального использования лесосырьевых ресурсов за счет применения малоотходных и безотходных технологий заготовки и переработки древесного сырья. В связи с этим одним из основных направлений развития лесопромышленного комплекса является переработка древесных отходов и низкокачественной древесины на технологическую и топливную щепу. Во многих странах мира энергетика на древесной биомассе становится эффективной самокупаемой отраслью, конкурентоспособной по отношению к энергетике на ископаемом топливе. Республика Беларусь обладает значительным потенциалом для развития биоэнергетики благодаря наличию больших древесных запасов, хорошо развитой инфраструктуры распределения энергии и тепла, современных предприятий энергетического и лесного машиностроения. В этой связи развитие малой энергетики на основе использования древесного топлива является одним из важнейших направлений, обеспечивающих снижение доли импортируемых энергоресурсов, повышение энергоэффективности экономики и уровня энергетической безопасности страны. Кроме того, использование дополнительных источников сырья в виде низкокачественной древесины для получения технологической щепы позволит обеспечить полную загрузку модернизированных плитных производств.

Базовым оборудованием для заготовки щепы из тонкомерной, фаутной древесины и отходов лесозаготовок непосредственно на лесосеке является мобильная рубильная машина. Однако учитывая территориальную разрозненность лесосек и значительную деконцентрацию сырья, повысить эффективность процесса производства топливной щепы возможно путем внедрения рубильных машин с высокой степенью мобильности и автономности в работе, а также обладающих повышенной проходимостью и производительностью. С целью создания мобильных рубильных комплексов необходима разработка достоверных методик обоснования параметров базовых шасси и технологического оборудования, оценки взаимодействия эксплуатационных свойств рубильных машин и особенностей их конструкций, что является актуальным вопросом, имеющим научное и практическое значение.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям инновационного развития, фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. и научному направлению кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ. Диссертационные исследования

проводились в рамках следующих НИР: БС 11-211 «Разработать и освоить производство передвижной рубильной машины на мобильном шасси для заготовки топливной щепы с гидроманипулятором для подачи сырья», № ГР 20120230, ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование», 2011–2015 гг.; ГБ 14-027 «Повышение эксплуатационной эффективности мобильных рубильных машин на основе выбора их рациональных параметров», № ГР 20141092, 2014 г.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является разработка методов обоснования рациональных параметров мобильной рубильной машины, обеспечивающих эффективное производство щепы в условиях деконцентрации сырья. Задачи исследования:

1) выполнить сравнительный анализ конструктивных особенностей, технических и технологических показателей рубильных машин и выбрать критерии их оценки с учетом условий эксплуатации и режимов работы;

2) разработать методику и математическую модель для обоснования параметров базового шасси и технологического оборудования мобильной рубильной машины с учетом ее конструктивных особенностей, динамических процессов, происходящих при работе машины, характеристик измельчаемого древесного сырья, а также технологии и режимов работы;

3) провести экспериментальные исследования объекта исследовательских испытаний мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» для определения ее основных технико-эксплуатационных показателей, оценки эффективности эксплуатации в лесозаготовительных предприятиях при значительной степени деконцентрации сырья, а также проверки адекватности разработанной математической модели;

4) установить зависимости изменения крутящего момента привода рубильной установки от диаметра древесного сырья, его породы и влажности для моделирования возмущающего воздействия вынужденных колебаний динамической системы;

5) по результатам исследований разработать рекомендации по выбору параметров базового шасси и технологического оборудования мобильных рубильных машин, направленные на обеспечение эффективного производства щепы в деконцентрированном лесфонде.

Объект исследования: мобильная рубильная машина на многофункциональном шасси.

Предмет исследования: показатели технико-эксплуатационных свойств, параметры базового шасси и технологического оборудования мобильной рубильной машины.

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые разработана методика выбора рациональных параметров базового шасси и технологического оборудования мобильных рубильных машин, основанная на методах теории

колебаний динамических систем, имитационного моделирования с учетом комплексного анализа энергопотребления приводов основных механизмов рубильной установки, режимов ее работы и характеристик измельчаемого сырья. Моделирование возмущающего воздействия динамической системы выполнено с использованием закономерностей изменения усилия резания на резцах барабана, затрачиваемого на измельчение древесного сырья в зависимости от его физико-механических свойств и размерных характеристик.

**Положения, выносимые на защиту:**

– методика обоснования типа шасси и колесной формулы мобильной рубильной машины, а также параметров рубильной установки с учетом комплексного анализа энергопотребления приводов ее основных механизмов и характеристик измельчаемого древесного сырья;

– математическая модель, описывающая динамическую систему «мобильная рубильная машина – древесное сырье», позволяющая на основе оценки виброн нагруженности основных узлов машины обосновывать параметры шасси и технологического оборудования;

– рекомендации по эффективным способам перебазировок мобильной рубильной машины в условиях деконцентрированного лесфонда, обеспечивающим максимальную ее загрузку по соотношению затрат времени на технологические и переместительные операции;

– закономерности изменения мощности, затрачиваемой основными механизмами рубильной установки, позволяющие с учетом характеристик измельчаемого древесного сырья определять потребляемую энергию привода рубильной установки мобильной рубильной машины;

– обоснованные параметры базового шасси и технологического оборудования мобильной рубильной машины, позволяющие повысить эффективность заготовки щепы в условиях деконцентрации сырья.

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Диссертация является результатом личной работы А. О. Германовича. Автором выполнены анализ конструктивных особенностей рубильных машин и их систематизация по классификационным признакам, проведен обзор литературных источников, посвященных исследованию технико-эксплуатационных показателей и динамической нагруженности лесозаготовительных машин общего и специального назначения, обоснована актуальность исследований, разработаны методика обоснования энергетических параметров привода рубильной установки, типа и колесной формулы базового шасси, математическая модель исследования виброн нагруженности мобильной рубильной машины. Соискателем проведены экспериментальные исследования опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904». Автор лично подготавливал публикации по теме диссертации. Соавторами работ являются сотрудники кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ.

**Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов.** Результаты диссертационной работы докладывались на 75-79 научно-технических конференциях с международным участием, БГТУ, г. Минск (2011-2015 гг.); Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь, БГТУ, г. Минск (2011 г.); Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», БРУ, г. Могилев (2011 г.); VI Международном Евразийском симпозиуме «Деревообработка: Технологии, оборудование, менеджмент XXI века», УГЛТУ, г. Екатеринбург, (2011 г.); научно-технической конференции «Наука и образование для лесопромышленного комплекса России», МГУЛ, Москва (2012 г.); 65 Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, ЯГТУ, г. Ярославль (2012 г.); МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», БРУ, г. Могилев (2012 г., 2013 г.); МНТК по естественным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу - творчество молодых», ПГТУ, г. Йошкар-Ола (2013 г.); III МНТК «Автомобиль и электроника. Современные технологии», ХНАДУ, г. Харьков (2013 г.); МНПК «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве», БГАТУ, г. Минск (2013 г.); МНПК «Инновационные технологии деревообрабатывающей промышленности и механизации процессов в лесном комплексе», ХНТУСХ, Харьков (2013 г.); 11-й МНТК «Актуальные проблемы развития лесного комплекса», ВГУ, г. Вологда (2014 г.); МНТК «Механика технологических процессов в лесном комплексе», ВГЛТА, г. Воронеж (2014 г.).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при создании опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» и его эксплуатации в ГЛХУ «Березинский лесхоз», что подтверждено актами внедрения в производство.

**Опубликование результатов диссертации.** По результатам исследований опубликовано 30 печатных работ, в том числе 11 научных статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 4,8 авторского листа, 4 – в научных сборниках, 15 – в материалах и тезисах научных конференций, 1 патент на полезную модель, 2 заявки на изобретения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 174 наименований и список публикаций соискателя из 33 наименований, приложений. Работа изложена на 219 страницах печатного текста, включая 93 иллюстраций на 78 страницах, 20 таблиц на 24 страницах и 11 приложений на 59 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

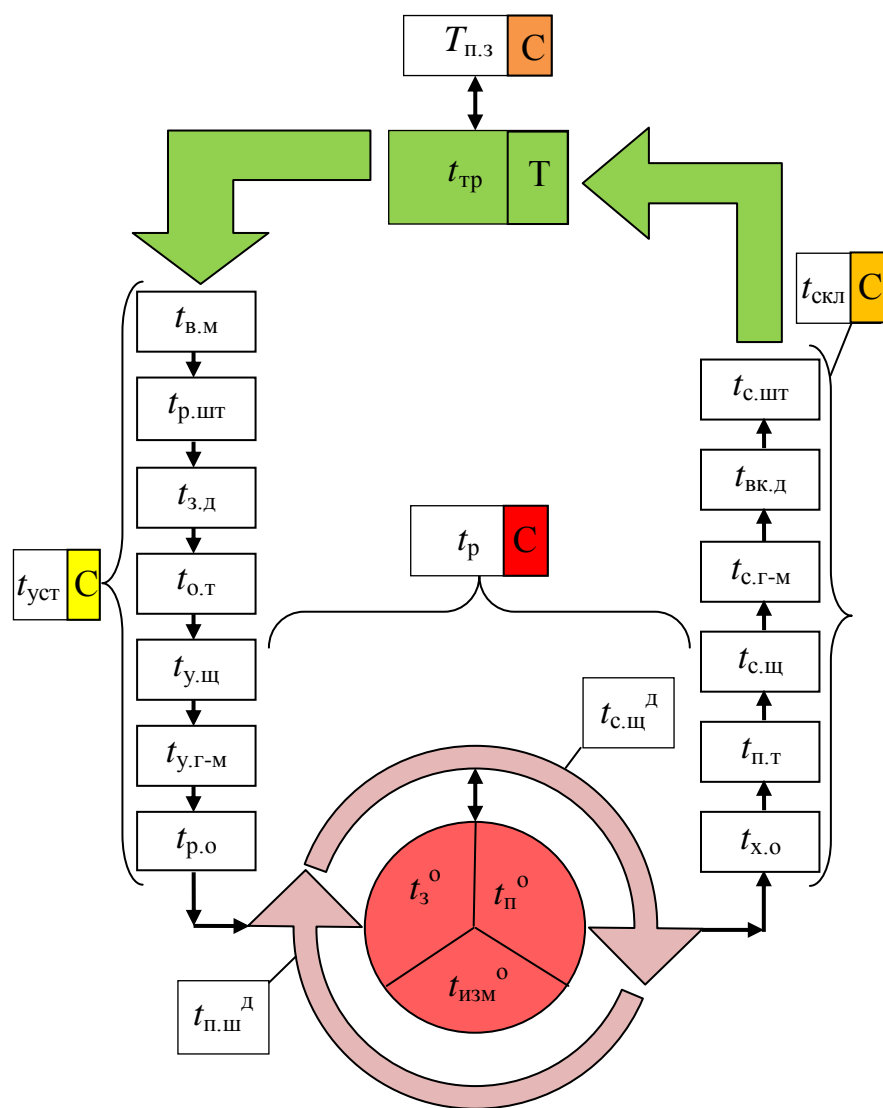
**В первой главе** рассмотрено современное состояние и перспективы использования древесного топлива в Республике Беларусь. На основе проведенного сравнительного анализа конструктивных особенностей и представленной классификации рубильных машин выделены основные технические критерии их оценки, а также применительно к природно-производственным условиям республики и перспективным технологиям получения щепы определены приоритетные компоновочные схемы данных машин и направления совершенствования их конструкций [1–А, 2–А, 23–А, 28–А, 31–А, 32–А]. Выполненный анализ научных исследований в области процесса измельчения древесины в щепу при помощи рубильных машин (Н. М. Вальщиков, Н. П. Рушнов, Г. И. Завойских, М. В. Гомонай, Э. П. Лицман, Е. А. Пряхин, L. M. Hellstrom), технологий заготовки щепы в различных местах концентрации древесного сырья (В. Д. Никишов, И. Р. Шегельман, А. В. Вавилов, А. С. Федоренчик, К. В. Полежаев, В. Н. Баклагин, R. Rippengal, A. Leinonen, M. Kallio, D. Hanson, J. Laitila, K. Vaatainen), а также динамических процессов технологических операций лесных машин (А. В. Жуков, Н. М. Вальщиков, В. А. Александров) и ряда других работ позволил установить необходимость решения задач по обоснованию параметров технологического оборудования и базового шасси мобильных рубильных машин.

В проведенных исследованиях не рассмотрены мобильные рубильные машины на базе форвардера (многофункционального шасси), а также отсутствуют достоверные данные для проектирования такого типа машин. Решение поставленных задач требует проведения комплексных теоретических и экспериментальных исследований, разработки методик и расчетных схем, позволяющих при проектировании мобильной рубильной машины выбирать рациональные параметры шасси, рубильной и силовой установок с учетом ее эксплуатации в деконцентрированном лесфонде с применением эффективных технологических процессов заготовки щепы.

**Во второй главе** проведенный анализ технологических процессов заготовки щепы мобильными рубильными машинами позволил установить, что для технологий заготовки щепы на лесосеке наиболее целесообразно применять рубильную машину на базе форвардера, для заготовки щепы на промежуточном складе – на базе автомобильного шасси, а при заготовке щепы на складе потребителя – прицепную рубильную машину. Ввиду высокой степени заболоченности лесфонда в Республике Беларусь разработана технология заготовки щепы на труднодоступных лесосеках и конструкция универсального контейнера для щепы с целью реализации такой технологии [33–А].

В результате проведения эксплуатационно-технологических испытаний опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» в ГЛХУ «Березинский лесхоз» описан технологический цикл рубильной машины

на многофункциональном шасси (рисунок 1) и определены эффективные затраты времени на выполнение основных операций. Проведенный многофакторный эксперимент с последующим выводом интерполяционной формулы производительности измельчения древесины позволил установить взаимосвязь технологических и эксплуатационных параметров и их следующую приоритетность по влиянию на производительность измельчения: диаметр стволовой древесины, скорость подачи сырья, угловая скорость вращения рубильного барабана [9–А].

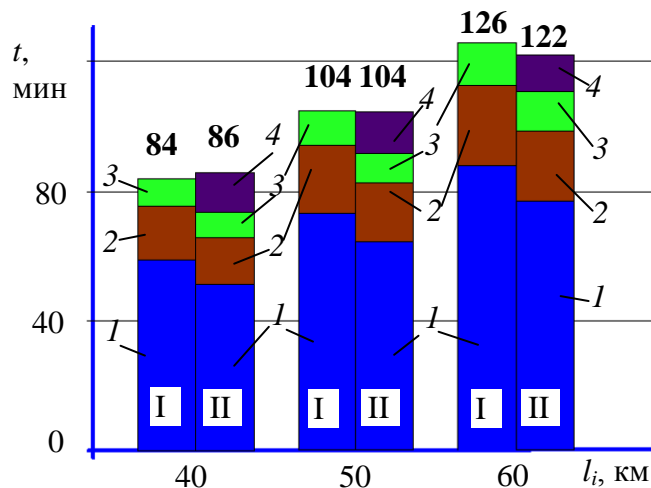


**Рисунок 1. – Технологический цикл работы мобильной рубильной машины**

В процессе проведения теоретических и экспериментальных исследований с учетом анализа характеристик лесотранспортных путей разработаны рекомендации по эффективным способам перебазировок мобильной рубильной машины от одного места концентрации сырья к другому. Установлено, что эффективное использование рубильной машины по соотношению затрат времени на технологические и транспортные операции обеспечивается при расстоянии перебазирования самостоятельно (I) до 50 км (рисунок 2). При расстоянии перебазировок более 50 км целесообразно для перемещения

рубильной машины использовать автотягач (II) с низкорамным полуприцепом [10–А, 21–А, 30–А]. Эксплуатационно-технологические испытания машины позволили определить фактическую производительность (100–130 нас. м<sup>3</sup>/ч) объекта исследования в реальных условиях эксплуатации лесохозяйственных предприятий республики, а также значения расходов топлива силовых установок при различных режимах работы (35,1–41,9 л/ч для автономного двигателя).





**1** – время движения по дорогам с асфальтобетонным покрытием; **2** – время движения по дорогам с гравийным покрытием; **3** – время движения по грунтовым дорогам; **4** – время на погрузку/разгрузку автотягача

**Рисунок 2.** – Затраты времени при переезде на расстояние ( $l_i$ ) 40, 50, 60 км

На основании полученных результатов выведены регрессионные зависимости, которые позволяют разработать практические рекомендации по нормированию расхода топлива существующих и проектируемых машин.

**Третья глава** посвящена разработке методики обоснования параметров мобильной рубильной машины. С учетом физико-механических свойств измельчаемого древесного сырья разработана методика, которая включает расчетную схему и математическое описание производства щепы барабанной рубильной установкой, которая позволяет обосновать конструкционные и компоновочные параметры рубильной установки на основе эффективного энергопотребления ее привода [20–А, 22–А, 24–А].

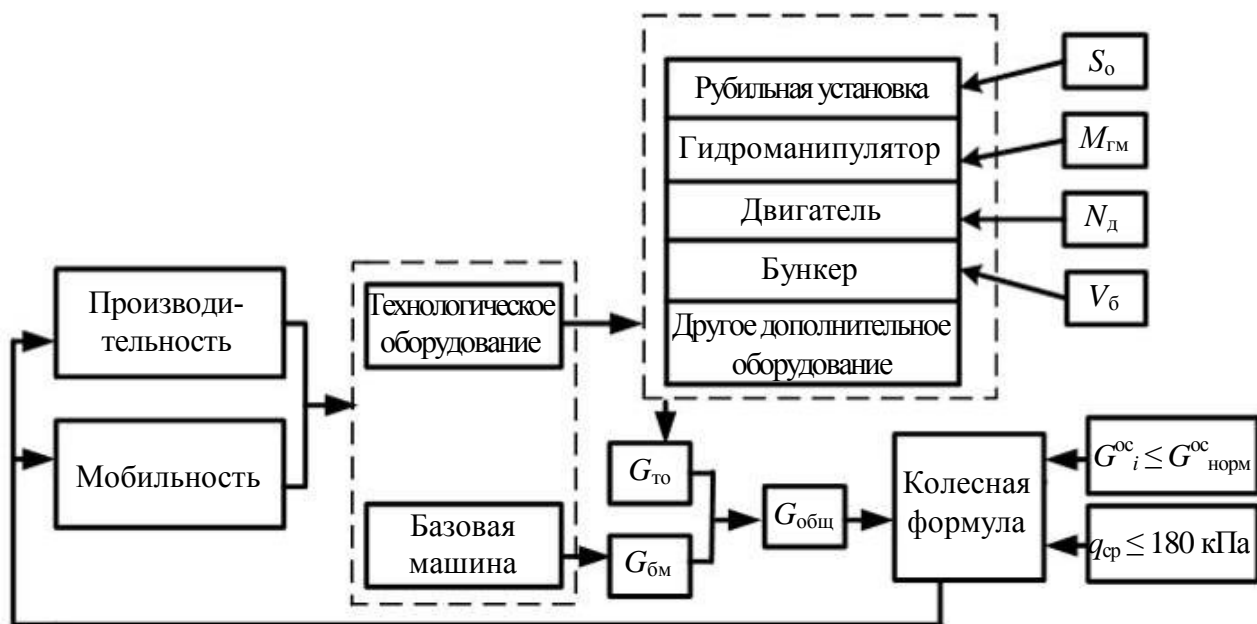
Разработана методика обоснования типа шасси и колесной формулы рубильной машины с учетом типа местности и применяемой технологии заготовки щепы, а также необходимой сменной производительности, зависящей от скорости передвижения и основных параметров технологического оборудования машины. В зависимости от технологии и, соответственно, вида измельчаемого сырья разработана методика обоснования колесной формулы базового шасси, описанная структурно-логической схемой (рисунок 3), которая показывает взаимосвязь параметров технологического оборудования (площади сечения загрузочного окна рубильной установки  $S_0$ , грузоподъемного момента гидроманипулятора  $M_{ГМ}$ , мощности двигателя  $N_d$  привода рубильной установки, объема бункера для щепы  $V_б$ ) с производительностью рубильной машины, ее массой и колесной формулой.

На основании проведенного регрессионного анализа и статистической обработки значений основных параметров технологического оборудования и

базового шасси получены регрессионные зависимости (1)–(3): массы рубильной установки от площади сечения загрузочного окна  $m_{ру}(S_o)$ ; массы двигателя от его мощности  $m_{д}(N_{д})$ ; массы манипулятора от его грузового момента  $m_{ман}(M_{ГМ})$ , кг. Зависимость массы бункера со щепой от его объема  $m_{б}(V_{б})$  была получена расчетным путем и определяется по выражению (4), кг [29–А].

$$m_{ру}(S_o) = 13105S_o^{0,6552}; \quad (1) \quad m_{ман}(M_{ГМ}) = 248,92M_{ГМ}^{0,4317}; \quad (3)$$

$$m_{д}(N_{д}) = 18,252N_{д}^{0,6904}; \quad (2) \quad m_{б}(V_{б}) = 607,49V_{б}^{0,8175}. \quad (4)$$



**Рисунок 3. – Структурно-логическая схема обоснования колесной формулы мобильной рубильной машины**

Для выбора рациональных параметров основных узлов и составляющих рубильной машины разработана математическая модель, включающая расчетную схему (рисунок 4), математические зависимости, которые описывают процессы, возникающие при измельчении древесного сырья в щепу, а также решения систем дифференциальных уравнений и анализ полученных результатов [5–А, 11–А, 12–А, 14–А, 16–А, 17–А, 18–А, 25–А, 27–А]. Математическая модель имеет семь степеней свободы, описывающих колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение рубильной машины на мобильном шасси определяется следующими обобщенными координатами: вертикальными перемещениями центров тяжести остова машины, рубильной установки, кабины, кресла оператора –  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  соответственно; угловыми перемещениями центров тяжести остова (рамы) машины, рубильной установки, кабины –  $Q_1, Q_2, Q_3$  соответственно. Основными упругодемпфирующими элементами рубильной машины являются шины, элементы креплений рубильной установки, кабины, кресло оператора.

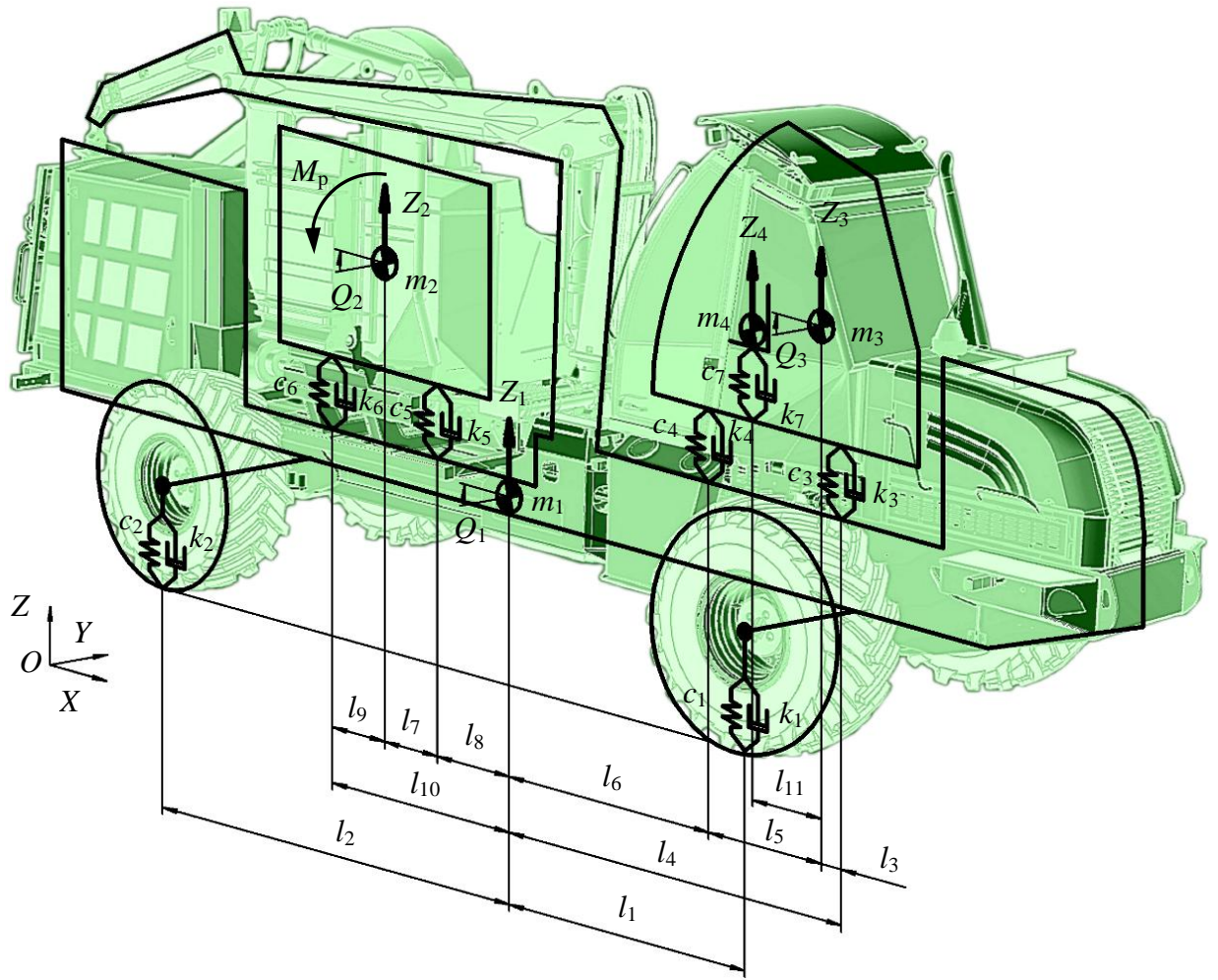


Рисунок 4. – Расчетная схема математической модели мобильной рубильной машины

Система дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода, описывающих колебательные процессы, возникающие при работе мобильной рубильной машины, имеет следующий вид:

$$\ddot{z}_1 = \left( \begin{aligned} & -(z_1 - l_1\theta_1)c_1 - (z_1 + l_2\theta_1)c_2 + (z_3 - l_3\theta_3 - z_1 + l_4\theta_1)c_3 + \\ & + (z_3 + l_5\theta_3 - z_1 + l_6\theta_1)c_4 + (z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)c_5 + \\ & + (z_2 + l_9\theta_2 - z_1 - l_{10}\theta_1)c_6 - (\dot{z}_1 - l_1\dot{\theta}_1)k_1 - (\dot{z}_1 + l_2\dot{\theta}_1)k_2 + \\ & + (\dot{z}_3 - l_3\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_4\dot{\theta}_1)k_3 + (\dot{z}_3 + l_5\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_6\dot{\theta}_1)k_4 + \\ & + (\dot{z}_2 - l_7\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_8\dot{\theta}_1)k_5 + (\dot{z}_2 + l_9\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_{10}\dot{\theta}_1)k_6 \end{aligned} \right) / m_1; \quad (5)$$

$$\ddot{\theta}_1 = \left( \begin{aligned} & l_1(z_1 - l_1\theta_1)c_1 - l_2(z_1 + l_2\theta_1)c_2 - l_4(z_3 - l_3\theta_3 - z_1 + l_4\theta_1)c_3 - \\ & - l_6(z_3 + l_5\theta_3 - z_1 + l_6\theta_1)c_4 + l_8(z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)c_5 + \\ & + l_{10}(z_2 + l_9\theta_2 - z_1 - l_{10}\theta_1)c_6 + l_1(\dot{z}_1 - l_1\dot{\theta}_1)k_1 - l_2(\dot{z}_1 + l_2\dot{\theta}_1)k_2 - \\ & - l_4(\dot{z}_3 - l_3\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_4\dot{\theta}_1)k_3 - l_6(\dot{z}_3 + l_5\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_6\dot{\theta}_1)k_4 + \\ & + l_8(\dot{z}_2 - l_7\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_8\dot{\theta}_1)k_5 + l_{10}(\dot{z}_2 + l_9\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_{10}\dot{\theta}_1)k_6 \end{aligned} \right) / I_1; \quad (6)$$

$$\ddot{z}_2 = \left( \begin{array}{l} -(z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)c_5 - (z_2 + l_9\theta_2 - z_1 - l_{10}\theta_1)c_6 - \\ - (\dot{z}_2 - l_7\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_8\dot{\theta}_1)k_5 - (\dot{z}_2 + l_9\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_{10}\dot{\theta}_1)k_6 - M_p \end{array} \right) / m_2; \quad (7)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \left( \begin{array}{l} l_7(z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)c_5 - l_9(z_2 + l_9\theta_2 - z_1 - l_{10}\theta_1)c_6 + \\ + l_7(\dot{z}_2 - l_7\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_8\dot{\theta}_1)k_5 - l_9(\dot{z}_2 + l_9\dot{\theta}_2 - \dot{z}_1 - l_{10}\dot{\theta}_1)k_6 - M_p \end{array} \right) / I_2; \quad (8)$$

$$\ddot{z}_3 = \left( \begin{array}{l} -(z_3 - l_3\theta_3 - z_1 + l_4\theta_1)c_3 - (z_3 + l_5\theta_3 - z_1 + l_6\theta_1)c_4 + \\ + (z_4 - z_3 - l_{11}\theta_3)c_7 - (\dot{z}_3 - l_3\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_4\dot{\theta}_1)k_3 - \\ - (\dot{z}_3 + l_5\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_6\dot{\theta}_1)k_4 + (\dot{z}_4 - \dot{z}_3 - l_{11}\dot{\theta}_3)k_7 \end{array} \right) / m_3; \quad (9)$$

$$\ddot{\theta}_3 = \left( \begin{array}{l} l_3(z_3 - l_3\theta_3 - z_1 + l_4\theta_1)c_3 - l_5(z_3 + l_5\theta_3 - z_1 + l_6\theta_1)c_4 + \\ + l_{11}(z_4 - z_3 - l_{11}\theta_3)c_7 - l_3(\dot{z}_3 - l_3\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_4\dot{\theta}_1)k_3 - \\ - l_5(\dot{z}_3 + l_5\dot{\theta}_3 - \dot{z}_1 + l_6\dot{\theta}_1)k_4 + l_{11}(\dot{z}_4 - \dot{z}_3 - l_{11}\dot{\theta}_3)k_7 \end{array} \right) / I_3; \quad (10)$$

$$\ddot{z}_4 = \left( -(z_4 - z_3 - l_{11}\theta_3)c_7 - (\dot{z}_4 - \dot{z}_3 - l_{11}\dot{\theta}_3)k_7 \right) / m_4, \quad (11)$$

где  $m_1, m_2, m_3, m_4$  – масса остова, включающая массу рамы, мостов, автономного двигателя, двигателя базовой машины, гидроманипулятора; масса рубильной установки; масса кабины, масса нагруженного кресла оператора соответственно, кг;

$I_1, I_2, I_3$  – моменты инерции остова машины, рубильной установки, кабины соответственно, кг·м<sup>2</sup>;

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7; k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$  – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления шин, креплений рубильной установки, кабины, кресла оператора соответственно, Н/м, Н·с/м;

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}$  – горизонтальные координаты, м.

В качестве внешнего возмущающего воздействия выступает периодически изменяющийся в процессе измельчения древесного сырья момент усилия резания  $M_p$ . Специфика работы мобильной рубильной машины связана с резко переменным характером воздействия технологической нагрузки ввиду непостоянной подачи древесного сырья к рубильному барабану, а также его различных физико-механических свойств [26–А]. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильной установки, что было подтверждено при проведении экспериментальных исследований.

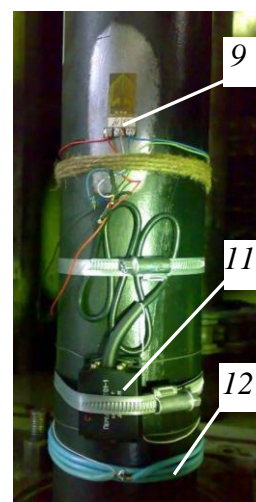
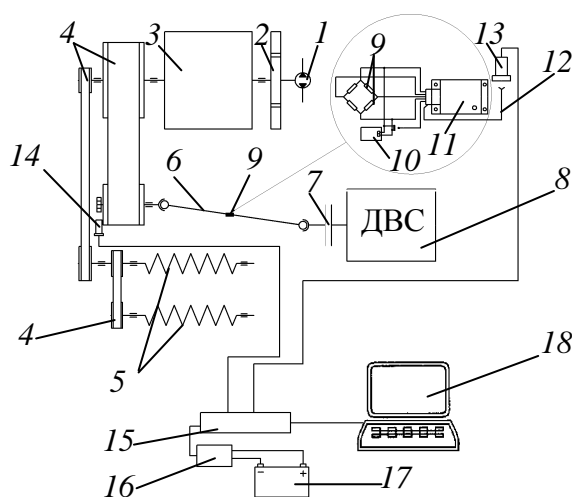
По результатам решения системы дифференциальных уравнений определены динамические реакции на опорах корпуса передней и задней осей  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$ . Выражения для их определения имеют следующий вид:

$$R_{д1} = c_1(z_1 - l_1\theta_1) + k_1(\dot{z}_1 - l_1\dot{\theta}_1); \quad (12) \quad R_{д2} = c_2(z_1 + l_2\theta_1) + k_2(\dot{z}_1 + l_2\dot{\theta}_1). \quad (13)$$

Адекватность математической модели подтверждена на основе сопоставления нормированных спектральных плотностей теоретических и эксперименталь-

ных величин динамических опорных реакций, а также виброскорости рабочего места оператора рубильной машины «Амкодор 2904». Величины статистики  $D^2$  нормированных спектральных плотностей сравниваемых параметров находились в пределах 34,9–48,5 при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и значении области принятия гипотезы  $\chi_{n,\alpha}^2$ , равном 55,76. Результаты математического моделирования динамических процессов, происходящих при измельчении древесного сырья в щепу, позволили установить значения коэффициентов динамичности ( $k_d = 1,10–1,25$ ), которые были использованы при проектировании несущих конструкций шасси опытного образца рубильной машины «Амкодор 2904», а также определить жесткость ее основных упругодемпфирующих элементов, компоновочные параметры, при которых уровень вибрации не превышал предельно-допустимых значений.

**В четвертой главе** изложена методика и результаты экспериментальных исследований эксплуатационных свойств мобильной рубильной машины. Объектом исследования являлась рубильная машина «Амкодор 2904» на многофункциональном шасси. Цель исследовательских испытаний заключалась в определении основных показателей рубильной установки (рисунки 5, 6) и динамической нагруженности ходовой части и рабочего места оператора, определении величин размерно-компоновочных параметров, входящих в систему дифференциальных уравнений, и основных технико-эксплуатационных показателей объекта исследований, а также подтверждении основных результатов, полученных с помощью разработанных методик и математической модели.

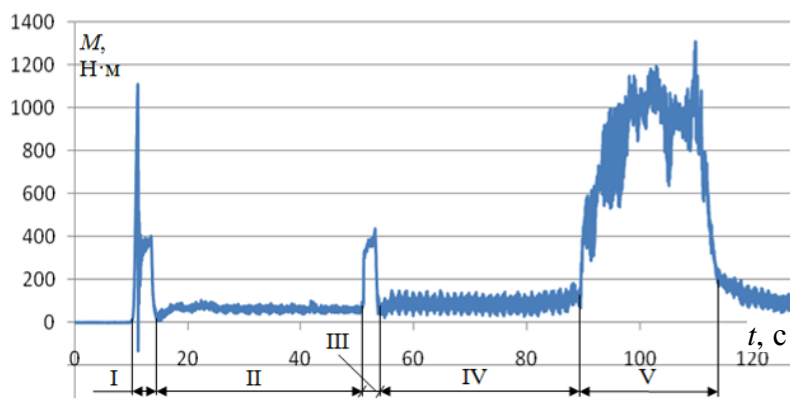


- 1** – насос гидросистемы рубильной установки; **2** – вентилятор; **3** – рубильный барабан; **4** – ременная передача; **5** – винтовой конвейер; **6** – карданный вал; **7** – муфта сцепления; **8** – автономный двигатель; **9** – тензорезистивные датчики; **10** – аккумуляторная батарея; **11** – передатчик; **12** – антенна; **13** – приемник; **14** – датчик частоты вращения; **15** – измерительный комплекс Spider 8; **16** – преобразователь электрического тока; **17** – аккумулятор; **18** – компьютер

**Рисунок 5.** – Схема подключения измерительного оборудования для определения крутящего момента привода рубильной установки

Экспериментальные исследования проводились в условиях испытательных баз исследовательского центра испытаний и доводки машин ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга», НТЦ «Республиканский полигон для испытаний мобильных машин» ГНУ ОИМ НАН Беларуси, ГУ «Белорусская МИС» и в производственных условиях ГЛХУ «Березинский лесхоз», УП «Минское лесопарковое хозяйство». В качестве измерительного оборудования использовались: многофункциональный измерительный усилитель Spider 8, тензорезисторы, анализатор PULSE 3560-C, акселерометры, тензометрические датчики вертикальной нагрузки УД-1 и др. [15–А].

При проведении исследовательских испытаний рубильной машины с целью определения размерно-компоновочных параметров выполнены замеры основных геометрических величин, жесткости, пятен контактов колес и т. д. Для определения технико-эксплуатационных показателей объекта исследований получены данные по распределению эксплуатационной массы на оси машины, скорости движения, устойчивости, тягово-сцепным свойствам, мгновенному расходу топлива автономного двигателя машины.



**I – зона включения сцепления; II – зона работы рубильного барабана без нагрузки; III – зона включения подающего транспортера; IV – зона подачи сортифта к рубильному барабану; V – зона измельчения сортифта**

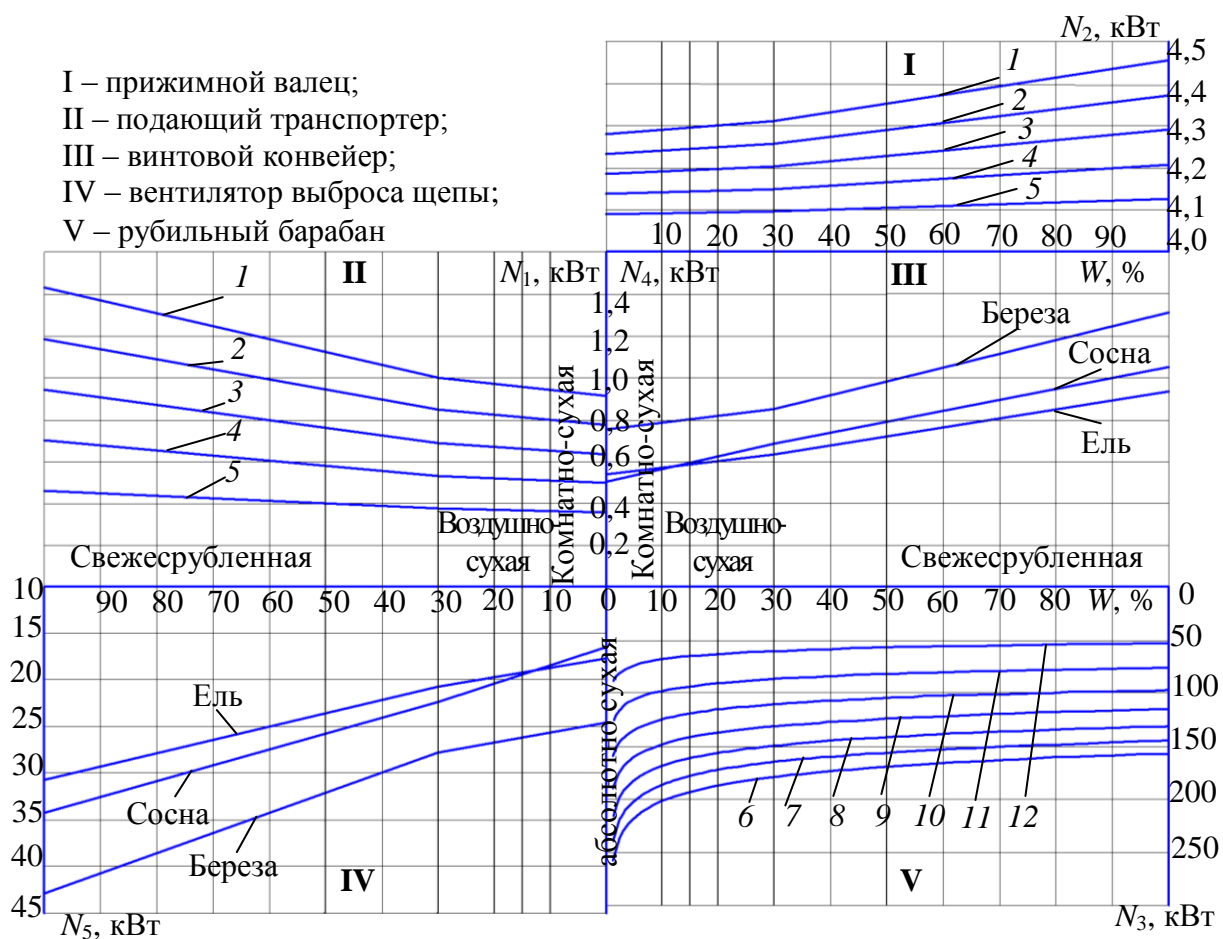
**Рисунок 6. – Изменение крутящего момента привода рубильной установки**

в процессе измельчения (1100–1300 Н·м); на установившихся оборотах рубильного барабана (45–60 Н·м); кратковременные – при включении подающего транспортера (310–420 Н·м); в процессе подачи древесного сырья к рубильному барабану (40–140 Н·м). Обработка полученных массивов численных значений регистрируемых параметров позволила получить закономерности изменения крутящего момента, используемые для моделирования возмущающего воздействия вынужденных колебаний динамической системы, а также выполнить оценку силовых и компоновочных параметров мобильной рубильной машины.

Экспериментальные исследования позволили также определить значения крутящего момента привода рубильной установки; виброускорений основных узлов машины; изменения опорных реакций под колесами рубильной машины в процессе ее работы [6–А, 7–А, 8–А]. Установлены диапазоны значений крутящего момента в различных режимах работы: пиковые – в момент разгона рубильного барабана, а также

Результаты экспериментальных исследований позволили разработать рекомендации по выбору параметров базового шасси и технологического оборудования, на основании которых усовершенствована конструкция опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904», а также подтвердить достоверность разработанной математической модели.

В пятой главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, на основе которых получены закономерности процесса измельчения древесного сырья барабанной рубильной установкой (рисунок 7), и даны рекомендации для проектирования мобильных рубильных машин с автономным двигателем [3–А, 13–А, 19–А].



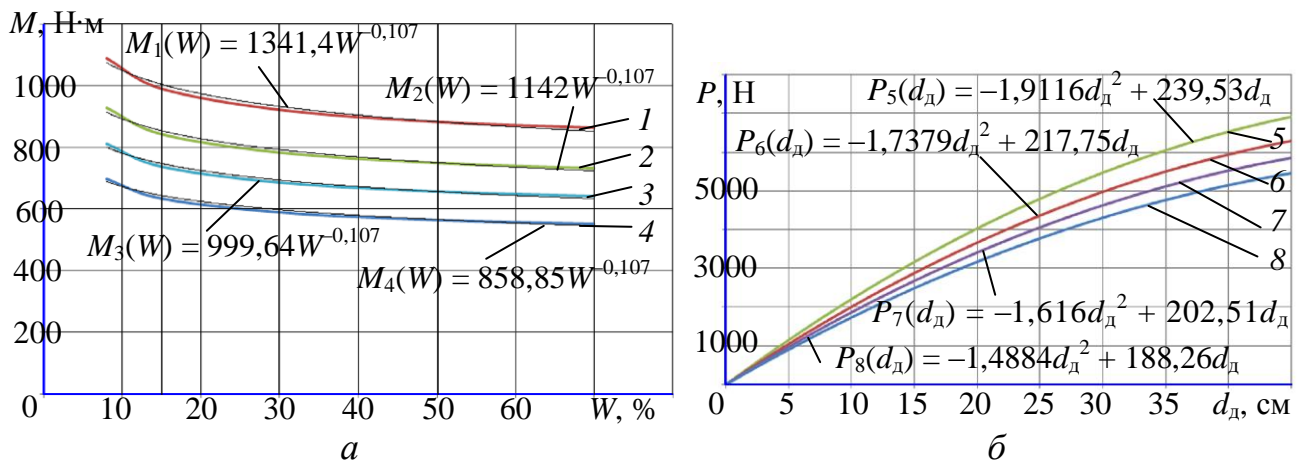
объем древесного сырья (березы): 1 – 0,25 м<sup>3</sup>; 2 – 0,20 м<sup>3</sup>; 3 – 0,15 м<sup>3</sup>; 4 – 0,10 м<sup>3</sup>; 5 – 0,05 м<sup>3</sup>;  
 диаметр измельчаемой стволовой древесины: 6 – 0,40 м; 7 – 0,35 м; 8 – 0,30 м; 9 – 0,25 м;  
 10 – 0,20 м; 11 – 0,15 м; 12 – 0,10 м

Рисунок 7. – Аналитические зависимости определения мощности привода рубильной установки

Установлено, что в лесозэксплуатационных условиях Республики Беларусь максимальная мощность привода подающего транспортера находится в диапазоне 1,4–1,5 кВт, а привода прижимного вальца – 4,5 кВт при измельчении свежесрубленного древесного сырья объемом 0,25 м<sup>3</sup>. На мощность приво-

да рабочего органа существенное влияние оказывает влажность древесины и диаметр измельчаемой стволовой древесины. Так, при эффективной угловой скорости рубильного барабана (800–850 об /мин) максимальное значение мощности, затрачиваемой на измельчение воздушно-сухой древесины сосны составит 186 кВт, а на измельчение свежесрубленной – ниже на 8–10%. Максимальная мощность, используемая на привод одного винтового конвейера, находится в пределах 1,3–1,4 кВт, вентилятора для выброса щепы – 40–42 кВт при транспортировании щепы мокрой древесины березы.

Проведенные экспериментально-теоретические исследования позволили построить регрессионные зависимости изменения крутящего момента привода рубильной установки, а также усилия резания от физико-механических свойств измельчаемого древесного сырья (рисунок 8). Установлено, что при измельчении комнатно-сухой древесины сосны диаметром 0,4 м усилие резания на резцах рубильного барабана составляет 6,5 кН и снижается на 20% при измельчении свежесрубленной древесины.



диаметр измельчаемой стволовой древесины: 1 – 0,40 м; 2 – 0,30 м; 3 – 0,25 м; 4 – 0,20 м;  
 5 – комнатно-сухая древесина; 6 – воздушно-сухая древесина; 7 – древесина  
 влажностью 30%; 8 – свежесрубленная древесина

**Рисунок 8.** – Зависимости изменения крутящего момента (а) и усилия резания (б) от изменения диаметра древесного сырья (сосна) и его влажности

С помощью разработанной методики обоснования параметров базового шасси выбрана колесная формула и типоразмер шин мобильной рубильной машины, удовлетворяющие условиям ее эксплуатации, а также с использованием математической модели определены значения параметров динамической системы (жесткость шин, опор рубильной установки, кабины, кресла оператора; расположение рубильной установки, центра тяжести), при которых уровень вибрации на рабочем месте оператора не превышает предельно- допустимых значений.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основе комплексной оценки эксплуатационных свойств рубильной машины разработана методика обоснования ее параметров с учетом особенностей конструкций рубильной установки, базового шасси, энергетических характеристик силовой установки и технологии заготовки щепы [1–А, 4–А, 6–А, 8–А, 18–А, 20–А, 23–А, 25–А, 28–А, 29–А].

2. Разработана математическая модель динамической системы «мобильная рубильная машина – древесное сырье», позволяющая производить оценку виброн нагруженности основных узлов рубильной машины и рабочего места оператора, а также выбирать параметры базового шасси и технологического оборудования машины с учетом предельно-допустимых уровней вибраций. Определены значения основных параметров динамической системы мобильной рубильной машины, при которых уровень вибрации не превышает предельно-допустимых значений (жесткость шин – 660–680 кН/м, опор рубильной установки и кабины –  $(1,0–1,1) \cdot 10^9$  кН/м, подрессоренного кресла оператора – 10 кН/м; продольное расположение центра тяжести –  $l_1 = 3,5$  м; расположение рубильной установки – расстояние от ее центра тяжести до задней оси машины – 1,0 м). Оценка адекватности математической модели выполнена путем сравнения нормированных спектральных плотностей теоретических и экспериментальных величин динамических опорных реакций, а также виброскорости рабочего места оператора [2–А, 5–А, 7–А, 11–А, 12–А, 14–А, 16–А, 17–А, 19–А, 27–А].

3. На основании эксплуатационно-технологических и исследовательских испытаний опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» установлено максимальное расстояние ее самостоятельной перебазировки, равное 50 км, при котором обеспечивается полная загрузка машины по соотношению затрат времени на технологические и переместительные операции, также получена математическая зависимость производительности рубильной машины от основных влияющих факторов [9–А, 10–А, 21–А, 30–А]. В результате аппроксимирования экспериментальных данных были получены математические зависимости изменений расхода топлива, затрачиваемого на производство щепы. Установлено, что при максимальной загрузке рубильной установки удельный расход топлива составляет не более 0,37 л/нас. м<sup>3</sup>.

4. Получены закономерности изменения крутящего момента привода барабанной рубильной установки в зависимости от характеристик древесного сырья, позволяющие моделировать колебательный процесс измельчения древесного сырья в щепу. При измельчении ствольной воздушно-сухой древесины сосны диаметром 0,35 м крутящий момент привода рубильной установки составляет 1100–1300 Н·м [15–А, 26–А].

5. Полученные закономерности мощности привода основных механизмов барабанной рубильной установки, которые отражают взаимодействие характеристик измельчаемого древесного сырья, позволили установить:

– наибольшую мощность привода подающего транспортера в лесоэксплуатационных условиях Республики Беларусь – 1,4–1,5 кВт и мощность, затрачиваемую на привод прижимного вальца, – 4,45 кВт;

– максимальное значение мощности, затрачиваемой на измельчение воздушно-сухой древесины, составляет 186 кВт, свежесрубленной - на 8–10% меньше;

– максимальную мощность, потребляемую на привод одного винтового конвейера, которая находится в пределах 1,3–1,4 кВт, и мощность привода вентилятора для выброса щепы – 40–42 кВт [3–А, 13–А, 22–А, 24–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Результаты исследований использованы при создании опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904», эксплуатационно-технологические испытания которой подтвердили эффективность ее применения в деконцентрированном лесфонде. Обоснованы параметры технологического оборудования мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси (площадь сечения загрузочного окна рубильной установки – 0,27 м<sup>2</sup>, грузоподъемный момент гидроманипулятора – 60 кН·м, мощность автономного двигателя – 230–250 кВт), соответствующие выбранной колесной формуле 4К4 и производительности 100–130 нас. м<sup>3</sup>/ч при заготовке щепы на промежуточном складе и складе потребителя. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» в условиях ГЛХУ «Березинский лесхоз» составил 774 441,89 тыс. руб. (в ценах 2014 г.).

Математическая модель, позволяющая обосновывать рациональные параметры рубильной машины, реализованная в виде компьютерной программы, прошла практическую апробацию и внедрена в серийное производство мобильных рубильных машин «Амкодор 2904», выпускаемых ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга».

Разработанную методику обоснования параметров базового шасси и технологического оборудования мобильной рубильной машины, запатентованные конструкции рубильных установок [31–А, 32–А] и универсального контейнера для щепы [33–А] целесообразно использовать на машиностроительных и лесозаготовительных предприятиях при создании и эксплуатации машин для производства щепы, что позволит повысить конкурентоспособность выпуска отечественной лесозаготовительной техники и увеличить эффективность комплексной переработки древесины. Методика обоснования параметров мобильной рубильной машины внедрена в учебный процесс на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1–А. Мохов, С. П. Анализ конструктивных особенностей рубильных машин / С. П. Мохов, А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 40–44.

2–А. Германович, А. О. Основные направления совершенствования мобильных рубильных машин / А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 99–102.

3–А. Лой, В. Н. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины / В. Н. Лой, А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 21–24.

4–А. Германович, А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси / А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 79–82.

5–А. Лой, В. Н. Моделирование работы самоходной рубильной машины с автономным двигателем / В. Н. Лой, А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 18–21.

6–А. Германович, А. О. Экспериментальное исследование поперечной устойчивости самоходной рубильной машины / А. О. Германович // Вестн. Харьк. нац. техн. уни-та сел. хоз-ва им. Петра Василенко. – 2013. – Вып. 143. – С. 132–139.

7–А. Германович, А. О. Экспериментальное исследование вынужденных колебаний рубильной машины при выполнении технологических операций / А. О. Германович // Вестн. ХНАДУ. – 2013. – Вып. 63. – С. 31–35.

8–А. Германович, А. О. Тяговые испытания самоходной рубильной машины / А. О. Германович // Автомобильный транспорт. сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 33. – С. 129–134.

9–А. Германович, А. О. Оценка влияния различных факторов на производительность мобильной рубильной машины / А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 20–23.

10–А. Лой, В. Н. Анализ транспортной составляющей технологического цикла мобильной рубильной машины / В. Н. Лой, А. О. Германович // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 24–27.

11–А. Германович, А. О. Моделирование работы рубильной машины на мобильном шасси / А. О. Германович // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. Лесной вестник – 2014. – Вып. 2-с. – С. 83–88.

### Статьи в научных сборниках

12–А. Германович, А. О. Влияние вынужденных колебаний на работу рубильной машины / А. О. Германович, С. П. Мохов // Деревообработка: техноло-

гии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Евраз. симп. / под науч. ред. М. В. Газаева. – Екатеринбург, 2011. – С. 260–266.

13–А. Loy, V. N. Effect of various characteristics of raw wood on energy saturation of the chipper / V. N. Loy, A. O. Germanovich // Proceedings of BSTU. 2012. Issue 2: Wood and Woodworking Industry. – P. 20–23.

14–А. Германович, А. О. Динамическая модель работы мобильной рубильной машины / А. О. Германович // Автомобиль и электроника. Современные технологии. – Харьков: ХНАДУ, 2013. Вып. 5 – С. 75–78.

15–А. Германович, А. О. Тарирование тензорезистивных датчиков для определения крутящего момента привода рубильной установки / А. О. Германович // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2014. – № 3. Ч.2 (8–2). – С. 298–303.

#### **Материалы научных конференций и тезисы докладов**

16–А. Мохов, С. П. Негативное влияние вибраций на рубильную машину / С. П. Мохов, В. А. Симанович, А. О. Германович // материалы: 61-й науч.-техн. конф. студентов и магистрантов, Минск, 19-24 апр. 2010 г.: в 4ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 193–195.

17–А. Мохов, С. П. Расчетная схема колебаний рубильной машины с автономным двигателем / С. П. Мохов, А. О. Германович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2011 г.: в 2 ч. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – Ч. 2. – С. 45–46.

18–А. Германович, А. О. Методика расчета параметров рубильной машины с учетом колебаний / А. О. Германович, С. П. Мохов // НИРС-2011: сб. тез. докл. Респ. науч. конф. студентов и аспирантов Респуб. Беларусь, Минск, 18 окт. 2011 г., / Белорус. гос. технол. ун-т., редкол.: С. В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 374.

19–А. Германович, А. О. Обоснование положения рубильного модуля с учетом влияния вибрации на оператора рубильной машины / А. О. Германович, В. Н. Лой // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17-18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – С. 144.

20–А. Германович, А. О. Выбор мощности автономного двигателя рубильной машины / А. О. Германович, В. Н. Лой // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн.

конф. молодых ученых, Могилев, 17-18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2011. – С. 145.

21–А. Германович, А. О. Влияние транспортной составляющей технологического цикла на производительность мобильной рубильной машины / А. О. Германович, В. Н. Лой // тез. докл. 65-й всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высш. учеб. заведений с междунар. участием, Ярославль, 18 апр. 2012 г., / Яросл. гос. техн. ун-р. – Ярославль, 2012. – Ч.1. С. 413.

22–А. Германович, А. О. Влияние характеристик древесного сырья на энергозатраты рубильной машины с верхним выбросом щепы / А. О. Германович, В. Н. Лой, С. Е. Арико, С. А. Голякевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–22 апр. 2012 г. в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2012. – Ч. 2. – С. 13–14.

23–А. Германович, А. О. Основные направления совершенствования мобильных рубильных машин / А. О. Германович; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2012. – 93 с. – Деп. в ГУ «БелИСА» 25.04.2012, № Д201224. // Технология и техника лесной промышленности: тез. 76-й науч.-техн. конф. профессор.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февр. 2012 г. – С. 4.

24–А. Лой, В. Н. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины / В. Н. Лой, А. О. Германович; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2012. – 93 с. – Деп. в ГУ «БелИСА» 25.04.2012, № Д201224. // Технология и техника лесной промышленности: тез. 76-й науч.-техн. конф. профессор.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февр. 2012 г. – С. 5.

25–А. Германович, А. О. Определение рациональных параметров рубильной машины с приводом от автономного двигателя / А. О. Германович, С. П. Мохов // НИРС-2011: сб. науч. работ студентов Респ. Беларусь / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. И. Жук [и др.]. – Минск, 2012. – С. 107–108.

26–А. Лой, В. Н. Моделирование внешних возмущающих воздействий, возникающих в процессе работы мобильной рубильной машины / В. Н. Лой, А. О. Германович, С. Е. Арико // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–19 апр. 2013 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2013. – Ч. 2. – С. 107–108.

27–А. Германович, А. О. Расчетная схема математической модели работы рубильной машины на мобильном шасси / А. О. Германович, В. Н. Лой // Научному прогрессу – творчество молодых: Междунар. молодежная науч. конф. по естественнонауч. и техн. дисциплинам, Йошкар-Ола, 19–20 апр. 2013 г.: в 3 ч. / Поволж. гос. технол. ун-т; редкол.: В. А. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола, 2013. – С. 78–79.

28–А. Лой, В. Н. Анализ работы мобильных рубильных машин / В. Н. Лой, А. О. Германович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. вед. ученым БГАТУ, создателям науч. шк. по автотракторостроению Д. А. Чудакову, В. А. Скотникову, Минск, 28–30 нояб. 2013 г. / Беларус. гос. агротехн. ун-т; под общ. ред. И. Н. Шило. – Минск, 2013. – С. 130–133.

29–А. Германович, А. О. Методика выбора колесной формулы самоходной рубильной машины / А. О. Германович, В. Н. Лой // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 3–4 дек. 2014 г. / Вологод. гос. ун-т. – Вологда, 2014. – С. 123–126.

30–А. Германович, А. О. Анализ сменной производительности мобильных рубильных машин / А. О. Германович, В. Н. Лой // Механика технологических процессов в лесном комплексе: Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 мар. 2014 г. / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2014. – С. 50–54.

### **Заявки на изобретения**

31–А. Рубильная машина / В. А. Симанович, А. О. Германович, С. П. Мохов, В. Н. Лой, Ю. С. Ашук // Уведомление о положительном результате предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение от 13.06.2013. Заявка № а 20130474 В 27L 11/00; дата подачи 12.04.2013.

32–А. Рубильный агрегат / В. А. Симанович, А. О. Германович, С. П. Мохов, В. Н. Лой, Н. М. Борис, С. Е. Арико // Уведомление о положительном результате предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение от 13.12.2013. Заявка № а 20131280 В 27L 11/00; дата подачи 31.10.2013.

### **Патент на полезную модель**

33–А. Универсальный контейнер для щепы: пат. 10556 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) А 01G 23/00, В 65D 88/00 / А. О. Германович, В. А. Симанович, С. Е. Арико, Г. И. Завойских, С. П. Мохов, В. Н. Лой, А. В. Позлевич; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № и 20140282; заявл. 30.07.2014.



## РЭЗІЮМЭ

Германовіч Аляксандр Алегавіч

### Абгрунтаванне параметраў мабільнай рубільнай машыны на базе шасі шматфункцыянальнага для вытворчасці паліўнай шчапы

**Ключавыя словы:** мабільная рубільная машына, матэматычнае мадэляванне, эфектыўнасць, тэхналагічны цыкл, методыка, шчапа.

**Мэта работы:** распрацоўка метадаў абгрунтавання рацыянальных параметраў мабільнай рубільнай машыны і рэжымаў яе працы, якія забяспечваюць эфектыўную вытворчасць шчапы ва ўмовах дэканцэтрацыі сыравіны.

**Метады даследавання і апаратура.** Рэгістрацыя і апрацоўка эксперыментальных даных праводзілася з выкарыстаннем шматфункцыянальнага вымяральнага ўзмацняльніка Spider 8, тэнзарэзістараў, аналізатара PULSE 3560-C, акселерометраў, тэнзаметрычных датчыкаў вертыкальных нагрузак УД-1. Пры тэрэтычных даследаваннях прымяняліся метады тэрэтычнай механікі, тэорыі ваганняў механічных сістэм, матэматычнай статыстыкі і камп'ютэрнага мадэлявання.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў** заключаецца ў распрацоўцы методыкі выбару рацыянальных параметраў базавага шасі і тэхналагічнага абсталявання мабільных рубільных машын і рэжымаў іх працы, заснаванай на метадах тэорыі ваганняў дынамічных сістэм, імітацыйнага мадэлявання з улікам комплекснага аналізу энергаспажывання прывадаў асноўных механізмаў рубільнай ўстаноўкі і характарыстык сыравіны, якая здрабняецца. Мадэляванне ўздзеяння дынамічнай сістэмы выканана з выкарыстаннем заканамернасцяў змены намаганняў рэзанання на разцах барабана, якія затрачваюцца на драбненне драўнянай сыравіны ў залежнасці ад яе фізіка-механічных уласцівасцяў і размерных характарыстык.

**Ступень выкарыстання:** вынікі тэрэтычных і эксперыментальных даследаванняў па абгрунтаванні параметраў базавага шасі і тэхналагічнага абсталявання рубільных машын выкарыстаны пры стварэнні даследнага ўзору мабільнай рубільнай машыны «Амкадор 2904» і яго эксплуатацыі ў ДЛГУ «Бярэзінскі лясгас».

**Галіна выкарыстання:** вынікі працы могуць быць выкарыстаны на машынабудаўнічых і лесанарыхтоўчых прадпрыемствах пры стварэнні і эксплуатацыі машын для вытворчасці шчапы, што дасць магчымасць павысіць канкурэнтаздольнасць айчынай лесанарыхтоўчай тэхнікі і павялічыць эфектыўнасць комплекснай перапрацоўкі драўніны ва ўмовах дэканцэтрацыі сыравіны.

## РЕЗЮМЕ

Германович Александр Олегович

### **Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы**

**Ключевые слова:** мобильная рубильная машина, математическое моделирование, эффективность, технологический цикл, методика, щепы.

**Цель работы:** разработка методов обоснования рациональных параметров мобильной рубильной машины и режимов ее работы, обеспечивающих эффективное производство щепы в условиях деконцентрации сырья.

**Методы исследования и аппаратура.** Регистрация и обработка экспериментальных данных проводилась с использованием многофункционального измерительного усилителя Spider 8, тензорезисторов, анализатора PULSE 3560-C, акселерометров, тензометрических датчиков вертикальных нагрузок УД-1. При теоретических исследованиях применялись методы: теоретической механики, теории колебаний механических систем, математической статистики и компьютерного моделирования.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в разработке методики выбора рациональных параметров базового шасси и технологического оборудования мобильных рубильных машин и режимов их работы, основанной на методах теории колебаний динамических систем, имитационного моделирования с учетом комплексного анализа энергопотребления приводов основных механизмов рубильной установки и характеристик измельчаемого сырья. Моделирование возмущающего воздействия динамической системы выполнено с использованием закономерностей изменения усилия резания на резах барабана, затрачиваемого на измельчение древесного сырья в зависимости от его физико-механических свойств и размерных характеристик.

**Степень использования.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров базового шасси и технологического оборудования рубильных машин использованы при создании опытного образца мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» и его эксплуатации в ГЛХУ «Березинский лесхоз».

**Область применения:** результаты работы могут быть использованы на машиностроительных и лесозаготовительных предприятиях при создании и эксплуатации машин для производства щепы, что позволит повысить конкурентоспособность отечественной лесозаготовительной техники и увеличить эффективность комплексной переработки древесины в условиях деконцентрации сырья.



## SUMMARY

**Hermanovich Aliaksandr Olegovich**

### **Parametres substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production**

**Key words:** mobile chipper, mathematical modeling, efficiency, technological cycle, methodology, chips.

**Purpose of work:** development of study methods for substantiation rational parameters of a mobile chipper and modes of operation ensuring efficient production of chips in conditions of raw materials deconcentration.

**Analysis and equipment.** Registration and processing of experimental data were carried out using a multifunctional measuring amplifier "Spider 8" tenzorezisterov, analyzer "PULSE 3560-C", accelerometers, strain gauges for vertical loads measurement "CA-1". In theoretical research the following methods were used: theoretical mechanics, theory of vibrations of mechanical systems, mathematical statistics and computer modeling.

**Scientific novelty of the obtained results** is to develop the technique for the selection of rational parameters for base chassis and engineering equipment for mobile chippers and their operation modes based on the methods of the theory of oscillations of dynamic systems, simulation based on a comprehensive analysis of energy consumption of the main mechanisms of chopper and characteristics of material being ground. Modeling of dynamic system disturbance is carried out considering regularities of changes in cutting forces of drum cutters used for wood raw material chopping, depending on its physical and mechanical properties and dimensional characteristics.

**Efficiency.** The results of theoretical and experimental studies in the field of parametres substantiation for the base chassis and technological equipment of chippers have been used to create a prototype mobile chipper "Amkodor 2904" with its further performance in FME "Berezinski Forestry".

**Field of application:** the results can be used in machine-building and logging enterprises in creation and operation of machines for production of wood chips, allowing to increase the competitiveness of domestic logging equipment and rise the efficiency of complex processing of wood raw material in terms of deconcentration.

Научное издание

Германович Александр Олегович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ  
МАШИНЫ НА БАЗЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ШАССИ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Ответственный за выпуск А. О. Германович

Подписано в печать 11.05.2015. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
ЛП № 02330/12 от 30.12.2013.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.