

630  
1736

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*377.4:629.038 (043.3)

**ПИЦОВ**  
Сергей Николаевич

**ПРИМЕНЕНИЕ ДВИЖИТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ  
ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Минск 2008

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

**Научный руководитель**

**Гороновский Андрей Романович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский го-  
сударственный технологический универ-  
ситет», кафедра лесных машин и техноло-  
гии лесозаготовок

**Официальные оппоненты:**

**Гуськов Валерий Владимирович**,  
доктор технических наук, профессор,  
Белорусский национальный технический  
университет, кафедра «Тракторы»;

**Насковец Михаил Трофимович**,  
кандидат технических наук, доцент  
учреждение образования «Белорусский го-  
сударственный технологический универси-  
тет», заведующий кафедрой транспорта леса

**Оппонирующая организация**

РУП «Минский тракторный завод»

Защита состоится «23» декабря 2008 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский го-сударственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017)-227-83-41, факс: (017)-227-62-17, e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образова-ния «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «21» ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций



Мохов С.П.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с переходом в Республике Беларусь на сортиментную технологию заготовки древесины, значительная часть которой паходится на заболоченной местности, большое внимание машиностроительными предприятиями уделяется созданию погрузочно-транспортных машин (форвардеров) с оригинальными узлами трансмиссии и ходовой части, позволяющими повысить их тягово-сцепные свойства и проходимость. Одним из путей достижения данной цели является применение на колесной лесозаготовительной технике гидромеханических трансмиссий и комбинированного (колесно-гусеничного) движителя. В связи с этим существует необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований, позволяющего на стадии проектирования выполнить обоснование параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части лесных машин 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя и уточнить режимы эксплуатации такой техники на почвогрунтах с различной несущей способностью.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на 2006–2010 гг. и научному направлению кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок УО «БГТУ». Диссертационная работа выполнялась в рамках следующих НИР: БС 23–213 «Разработать технологию освоения заболоченных лесосек с созданием лесной машины повышенной проходимости на базе лесного трактора МТЗ» (ІНТП «Леса Беларусі»), БС 26–087 «Разработать и освоить производство лесозаготовительного комплекса в составе валочно-сучкорезно-раскряжевочной (харвестер) и погрузочно-транспортной машин» (ІНТП «Машиностроение»), ГБ 12-06 «Совершенствование ресурсосберегающих технологий и оборудования, обеспечивающих рациональное использование древесных ресурсов».

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является повышение тягово-сцепных свойств лесных машин с движителями в виде балансирных тележек, предназначенных для транспортировки сортиментов на лесосеках с различной несущей способностью почвогрунтов, за счет обоснования параметров механической и гидромеханической трансмиссий и режимов эксплуатации для обеспечения эффективного применения на колесах тележек легкоъемных металлических гусениц.

В соответствии с целью диссертационной работы поставлены следующие задачи:

1. Выполнить анализ показателей эксплуатационных свойств лесных погрузочно-транспортных машин 6К6 и 8К8.

2. Разработать методику оценки и математическую модель для определения показателей тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств лесной погрузочно-транспортной машины БК6 с различными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части и учетом физико-механических свойств почвогрунтов озорной поверхности.

3. Провести экспериментальные исследования работы погрузочно-транспортной машины БК6 с колесным и комбинированным типами движителя с целью анализа показателей тягово-сцепных свойств, оценок адекватности разработанной математической модели и эффективности применения этих машин при освоении лесосеченого фонда, расположенного на почвогрунтах с различной несущей способностью.

4. По результатам теоретических и экспериментальных исследований оценить показатели тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортных машин БК6 с рассмотренными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части в различных условиях эксплуатации.

5. Разработать практические рекомендации по выбору и обоснованию параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части, режимов эксплуатации лесных машин БК6 при освоении лесосеченого фонда Республики Беларусь по технологии с заготовкой сортиментов.

Объектом исследований является лесная погрузочно-транспортная машина БК6 с колесным и комбинированным типами движителя, оснащенная механической или гидромеханической трансмиссией.

Предметом исследований являются показатели тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств погрузочно-транспортных машин БК6 с различными вариантами конструкций трансмиссии и движителя.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

– Оценка тягово-сцепных свойств лесных машин БК6 при эксплуатации на почвогрунтах с различной несущей способностью, выполненная по разработанной методике, с учетом конструкции и параметров трансмиссии и элементов ходовой части, позволяющая выбрать предпочтительный тип движителя и определить режимы эксплуатации такого рода машин в зависимости от природно-производственных условий работы.

– Математическая модель погрузочно-транспортной машины с колесным и комбинированным типами движителя, отличающаяся учетом параметров механической и гидромеханической трансмиссии блокированного и дифференциального типов и позволяющая обосновывать параметры шасси с целью снижения буксования движителя на переходных и установившихся режимах движения.

– Полученные закономерности в виде номограмм, которые отражают показатели тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств лесных погрузочно-транспортных машин БК6 с различными конструкциями трансмиссии и ходовой части.

вой части и учетом физико-механических свойств почвогрунтов опорной поверхности.

– Обоснованные параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части лесных машин БК6 с колесным и комбинированным типами движителя, необходимые для обеспечения эффективной эксплуатации техники в природно-производственных условиях Республики Беларусь.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационная работа является результатом личной работы Пищова С.Н. Им проведены обзор конструкций шасси, трансмиссии и ходовой части современных лесных погрузочно-транспортных машин. Выполнен анализ литературных источников, посвященных исследованию эксплуатационных свойств машин общего и специального назначения, определены пути проведения исследований, направленные на оценку тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя. Автором разработаны методика оценки тягово-сцепных свойств и математическая модель движения погрузочно-транспортной машины БК6 с различными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части. При непосредственном участии автора разработана методика и проведены эксплуатационно-технологические и исследовательские испытания опытных образцов погрузочно-транспортных машин БК6 с колесным и комбинированным типами движителя. Автор лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами опубликованных работ являются сотрудники кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (результаты эксплуатационно-технологических испытаний лесной погрузочно-транспортной машины БК6 повышенной проходимости).

**Апробация результатов диссертации.** Результаты исследований, включенных в диссертационную работу, были доложены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ (БГТУ, г. Минск, 2006–2008 гг.), Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, 2007 г.), Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, 2007, 2008 гг.), III всероссийской научно-технической конференции «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, 2007 г.), научно-практическом семинаре «Наука и инновации ВУЗов производству: взаимодействие – эффективность – перспектива» (БГТУ, г. Минск 2007 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы представлены в 6 публикациях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 2,7 авторских листа,

5 материалах и 1 тезисе доклада научных конференций. Подана заявка на изобретение, получен патент на изобретение Республики Беларусь.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных библиографических источников и приложений. Объем диссертации составляет 156 страниц печатного текста. Работа включает 43 иллюстрации на 17 страницах, 14 таблиц на 4 страницах, 5 приложений на 18 страницах. Библиографический список включает список используемых источников из 126 наименований и список публикаций соискателя из 14 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлено состояние и намечены перспективы развития предприятий Республики Беларусь, которые занимаются проектированием, выпуском и эксплуатацией лесозаготовительной техники. Обоснованы актуальность проблемы и необходимость проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований для оценки показателей тягово-сцепных свойств лесных машин с различными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части при эксплуатации в характерных для лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь природно-производственных условиях.

**В первой главе**, посвященной анализу лесозаготовительного производства, обзору конструктивных особенностей погрузочно-транспортных машин и литературных источников по теме диссертации, отмечено, что более 30% отечественного лесосечного фонда по почвенно-грунтовым условиям относится к труднодоступному, который находится на заболоченной и низменной местности (3-й и 4-й типы местности согласно СТБ 1342-2002). Эффективное освоение данных лесосек с помощью существующих колесных лесных машин затруднительно даже зимой при значительных отрицательных температурах воздуха или в сухой летний период. Определено, что одним из перспективных способов заготовки древесины, расположенной на труднодоступном лесосечном фонде, является сортиментная технология и применение лесных машин 6К6 и 8К8, снабженных металлическими гусеницами на колесах балансирных тележек (двигатель комбинированного типа).

Проведенный анализ литературных источников, посвященных исследованию динамических процессов и повышению тягово-сцепных свойств транспортных средств общего и специального назначения, указывает на достаточно полное раскрытие данных вопросов такими учеными, как Е.А. Чудаков, Р.В. Ротенберг, С.Ф. Орлов, А.В. Жуков, Г.М. Анисимов, И.И. Леонович, В.В. Гуськов, Ю.Д. Силуков, и рядом других исследователей. Анализ работ по исследованию процессов движения лесных машин указывает на недостаточно полное раскрытие вопросов, связанных с применением колесной лесозаготови-

тельной техники, оснащенной легкосъёмными металлическими гусеницами. Основное внимание исследователей уделено снижению давления на почвогрунт за счет увеличения площади контакта движителя с опорной поверхностью. Исследований по определению показателей тягово-сцепных свойств машин с комбинированным типом движителя и сравнению их с колесной техникой при движении по почвогрунтам с различной несущей способностью до настоящего времени проведено недостаточно, все они носят разобщенный характер, и эти вопросы требуют дополнительной теоретической и экспериментальной проработки. В результате выполнения первой главы диссертации сформулированы цель и задачи исследований.

**Вторая глава** посвящена обоснованию технологии работы погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя и оценке эффективности их применения при освоении труднодоступного лесосечного фонда. Для определения основных показателей, влияющих на производительность погрузочно-транспортных машин, проведены эксплуатационно-технологические испытания с использованием метода фотохронометрирования операций рабочего цикла. Установлены количественные значения затрат времени на выполнение основных операций технологического цикла погрузочно-транспортной машиной, анализ которых указал на ограничение возможностей колесного форвардера при эксплуатации на почвогрунтах с низкой несущей способностью (50–90 кПа). Для снижения на 15–20% затрат времени на погрузочно-разгрузочные работы, составляющих более половины продолжительности технологического цикла, предложены оригинальные конструкции элементов технологического оборудования.

Для оценки эффективности эксплуатации погрузочно-транспортной машины 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя выполнен многофакторный эксперимент, в результате которого получены зависимости сменной производительности от ряда технико-эксплуатационных факторов (объем транспортируемой пачки сортиментов, расстояние транспортировки, скорости рабочего и холостого ходов). Адекватность зависимостей проверена по критерию Фишера, значение которого для сравниваемых машин составило 1,58–1,65.

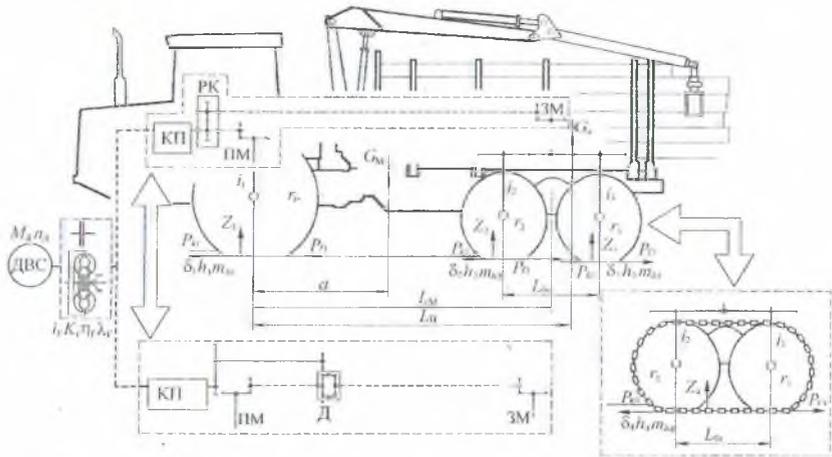
Анализ полученных результатов показал, что с ухудшением почвенно-грунтовых условий эксплуатации снижение производительности колесной машины составило 23–25%, а машины с комбинированным типом движителя – 5–7%. При транспортировке сортиментов по волокам с низкой несущей способностью (50–80 кПа) производительность машины с гусеницами на колесах тележки в сравнении с колесной выше в 1,09–1,23 раза. По результатам расчета экономического эффекта от применения погрузочно-транспортной машины 6К6 с комбинированным типом движителя при освоении труднодоступного лесосечного фонда в условиях ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз» установлен годовой фактиче-

ский эффект, который составил 7 968 100 руб. в ценах 2006 г.

При проведении эксплуатационно-технологических испытаний выявлены нерешенные до настоящего времени вопросы, неизбежно возникающие при эксплуатации техники с гусеницами на колесах балансирных тележек и связанные с отсутствием данных о влиянии на технико-эксплуатационные показатели таких факторов, как параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части, которые в совокупности обеспечивали бы повышение тягово-сцепных свойств машины в зависимости от природно-производственных условий работы. В связи с этим для решения поставленных задач проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых представлены в главах 3–5.

**Третья глава** посвящена разработке методики оценки и математической модели для определения показателей тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств погрузочно-транспортной машины 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя при эксплуатации на почвогрунтах с различной несущей способностью. Математическая модель разработана с учетом конструкции колесного и комбинированного движителя балансирной тележки технологического модуля; физико-механических свойств почвогрунтов опорной поверхности; параметров двигателя как источника заданной мощности; характера распределения касательных сил тяги между ведущими мостами машины 6К6, оснащенной трансмиссией блокированного или дифференциального типов; безразмерной характеристики гидротрансформатора, входящего в состав гидромеханической трансмиссии машины.

На расчетной схеме (рисунок 1) приняты следующие обозначения: ДВС – двигатель внутреннего сгорания; КП – коробка передач; РК – раздаточная коробка блокированного типа; Д – межосевой дифференциал; ПМ, ЗМ – передний и задний мосты соответственно;  $M_d, n_d$  – крутящий момент и частота вращения коленчатого вала двигателя;  $i_r$  – передаточное отношение гидротрансформатора;  $K_r$  – коэффициент трансформации;  $\eta_r$  – коэффициент полезного действия гидротрансформатора;  $\lambda_r$  – коэффициент момента гидротрансформатора;  $i_1, i_2, i_3$  – передаточные числа приводов переднего и заднего мостов;  $r_1, r_2, r_3$  – радиусы качения колес машины;  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – опорные реакции движителей форвардера;  $P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}, P_{k4}$  – касательные силы тяги, развиваемые движителями машины;  $P_{f1}, P_{f2}, P_{f3}, P_{f4}$  – силы сопротивления движению движителей;  $h_1, h_2, h_3, h_4$  – глубина колеи, образуемая под движителями;  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  – буксование движителей;  $m_{h1}, m_{h2}, m_{h3}, m_{h4}$  – коэффициенты кинематического несоответствия;  $L_m$  – продольная база машины;  $L_n$  – расстояние от оси колес переднего модуля до центра масс пачки сортиментов;  $L_{от}$  – расстояние между осями колес балансирной тележки;  $a$  – расстояние от оси колес энергетического модуля до центра масс машины;  $G_m, G_n$  – вес машины и транспортируемой пачки сортиментов соответственно.



**Рисунок 1 – Расчетная схема погрузочно-транспортной машины 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя и различными вариантами конструкции трансмиссии**

Для определения касательных сил тяги ведущих движителей при равномерном движении погрузочно-транспортной машины с дифференциальным типом трансмиссии применялась система уравнений:

для колесной машины

для машины с комбинированным движителем

$$\begin{cases} \frac{P_{k1}}{P_{k2} + P_{k3}} = u_d, \\ P_{k1} + P_{k2} + P_{k3} = P_{f1} + P_{f2} + P_{f3}; \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{P_{k1}}{P_{k4}} = u_d, \\ P_{k1} + P_{k4} = P_{f1} + P_{f4}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $u_d$  – передаточное отношение межосевого дифференциала.

Касательные силы тяги, необходимые для преодоления сил сопротивления движению, определены с помощью зависимостей, предложенных проф. В.В. Гуськовым. Для погрузочно-транспортных машин с трансмиссией блокированного типа выражения для определения касательных сил тяги имеют вид:

для машины с комбинированным типом движителя:

$$\begin{aligned} & \frac{f_{\alpha} k_1 Z_1}{L_1 [m_{n1} + (1 - m_{n1}) \delta_w]} \left[ \ln ch \frac{[m_{n1} + (1 - m_{n1}) \delta_w] L_1}{k_t} - f_{np} \left( \frac{1}{ch \frac{[m_{n1} + (1 - m_{n1}) \delta_w] L_1}{k_t}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_1 L_1}{l_1} + \\ & + \frac{f_{\alpha} k_4 Z_4}{L_4 [m_{n4} + (1 - m_{n4}) \delta_w]} \left[ \ln ch \frac{[m_{n4} + (1 - m_{n4}) \delta_w] L_4}{k_t} - f_{np} \left( \frac{1}{ch \frac{[m_{n4} + (1 - m_{n4}) \delta_w] L_4}{k_t}} - 1 \right) \right] + 4\tau_{cp} \frac{h_4 L_4}{l_4} = \\ & - 0.5 \left( \frac{Z_1^4}{k_1 h_1 D_{n1}} \right)^{1/3} - \frac{2\sigma_0^2 h_1 \eta_0}{k} \ln ch \frac{P_{n1}}{\sigma_0 \eta_0} + \frac{2\sigma_0^2 h_4}{k} \ln ch \frac{\Delta p}{\sigma_0} = 0; \end{aligned} \quad (2)$$

для машины с колесным типом движителя:

$$\sum_{i=1}^3 \left[ \frac{f_{ck} k_r Z_i}{L_i [m_{bu} + (1 - m_{bu}) \delta_m]} \ln \operatorname{ch} \frac{[m_{bu} + (1 - m_{bu}) \delta_m] L_i}{k_r} - f_{np} \left( \frac{1}{\operatorname{ch} \frac{[m_{bu} + (1 - m_{bu}) \delta_m] L_i}{k_r}} - 1 \right) + 2 \tau_{cp} \frac{h_i L_i}{l_i} \right] - (3)$$

$$- 0,5 \sum_{i=1}^3 \left[ \left( \frac{Z_i^4}{k_i b_i D_{пр i}} \right)^{1/3} \right] = 0,$$

где  $f_{ck}$  – коэффициент трения скольжения;  $f_{np}$  – приведенный коэффициент трения;  $k_r$  – коэффициент деформации почвогрунта;  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – длина площади контакта  $i$ -того движителя с опорной поверхностью;  $h_{r1}, h_{r2}, h_{r3}, h_{r4}$  – высота грунтозацепов;  $l_1, l_2, l_3, l_4$  – расстояние между грунтозацепами;  $\tau_{cp}$  – напряжение среза грунта;  $\delta_m$  – коэффициент буксования машины;  $k_k$  – приведенный коэффициент смятия грунта;  $b_1, b_2, b_3, b_4$  – ширина движителей;  $D_{пр1}, D_{пр2}, D_{пр3}$  – приведенные диаметры жестких колес, эквивалентных эластичным;  $\sigma_0$  – напряжение смятия почвогрунта;  $\eta_6$  – коэффициент полезного действия буксования;  $P_{мин}$  – давление на грунт от движителя комбинированного типа;  $\Delta p$  – разность давлений под передним и задним колесами балансирной тележки. Решение представленных уравнений производится методом итераций относительно  $\delta_m$ . Результаты решения представлены в главе 5 диссертации.

Известно, что на величину и характер распределения касательных сил тяги значительное влияние оказывают динамические нагрузки в узлах трансмиссии и ходовой части, возникающие при движении машины. Для их учета разработана математическая модель колебаний форвардера с комбинированным типом движителя в продольной вертикальной плоскости, которая включает расчетную динамическую схему (рисунок 2) и систему дифференциальных уравнений, описывающую процессы, происходящие при движении машины по опорной поверхности пути.

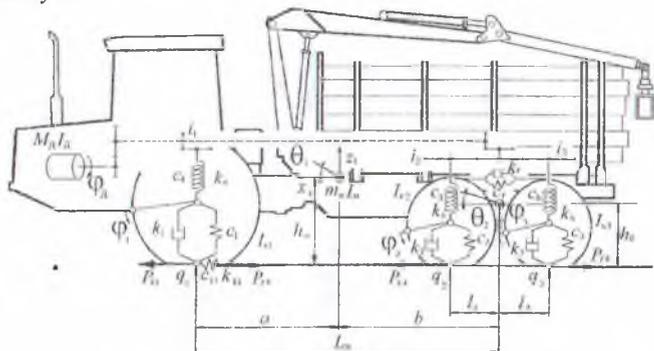


Рисунок 2 – Расчетная динамическая схема погрузочно-транспортной машины БКБ с комбинированным типом движителя

Система дифференциальных уравнений, описывающая колебания погрузочно-транспортной машины, составлена с помощью уравнения Лагранжа второго рода и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_1 &= [-c_1(z_1 + a\theta_1 - q_1) - c_2(z_1 - \theta_1(b-l_1) + l_1\theta_2 - q_2) - c_3(z_1 - \theta_1(b+l_2) - l_2\theta_2 - q_3) - \\ &\quad - k_1(\dot{z}_1 + a\dot{\theta}_1 - \dot{q}_1) - k_2(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b-l_1) + l_1\dot{\theta}_2 - \dot{q}_2) - k_3(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b+l_2) - l_2\dot{\theta}_2 - \dot{q}_3)] / (m_m + m_r); \\ \ddot{x}_1 &= [-c_{11}(x_1 - \theta_1(h_1 - r_1) - r_1\phi_1) - k_{11}(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1(h_1 - r_1) - r_1\dot{\phi}_1) - P_{f1} - P_{f4} + P_{k1} + P_{k4}] / (m_m + m_r); \\ \ddot{\theta}_1 &= [-c_1(z_1 + a\theta_1 - q_1) - a + c_2(z_1 - \theta_1(b-l_1) + l_1\theta_2 - q_2)(b-l_1) + c_3(z_1 - \theta_1(b+l_2) - l_2\theta_2 - q_3)(b+l_2) + \\ &\quad + c_{11}(x_1 - \theta_1(h_1 - r_1) - r_1\phi_1)(h_1 - r_1) - k_1(\dot{z}_1 + a\dot{\theta}_1 - \dot{q}_1) - a + k_2(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b-l_1) + l_1\dot{\theta}_2 - \dot{q}_2)(b-l_1) + \\ &\quad + k_3(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b+l_2) - l_2\dot{\theta}_2 - \dot{q}_3)(b+l_2) + k_{11}(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1(h_1 - r_1) - r_1\dot{\phi}_1)(h_1 - r_1) + I_a]; \\ \ddot{\phi}_1 &= [c_{11}(x_1 - \theta_1(h_1 - r_1) - r_1\phi_1) - r_1 - c_4(\phi_1 - \phi_a(1/i_1)) + k_{11}(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1(h_1 - r_1) - r_1\dot{\phi}_1) - r_1 - k_4(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_a(1/i_1))] / I_a; \quad (4) \\ \ddot{\theta}_2 &= [-c_2(z_1 - \theta_1(b-l_1) + \theta_2 l_1 - q_2) - l_1 + c_3(z_1 - \theta_1(b+l_2) - \theta_2 l_2 - q_3) - l_2 - \\ &\quad - k_2(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b-l_1) + \dot{\theta}_2 l_1 - \dot{q}_2) - l_1 + k_3(\dot{z}_1 - \dot{\theta}_1(b+l_2) - \dot{\theta}_2 l_2 - \dot{q}_3) - l_2 + I_b]; \\ \ddot{\phi}_2 &= [-c_5(\phi_2 - \phi_a(1/i_2)) - c_1(\phi_2 r_2 - \phi_3 r_3) r_2 - k_5(\phi_2 - \dot{\phi}_a(1/i_2)) - k_1(\phi_2 r_2 - \phi_3 r_3) r_2] / I_{k2}; \\ \ddot{\phi}_3 &= [-c_6(\phi_3 - \phi_a(1/i_3)) + c_1(\phi_2 r_2 - \phi_3 r_3) r_3 - k_6(\phi_3 - \dot{\phi}_a(1/i_3)) + k_1(\phi_2 r_2 - \phi_3 r_3) r_3] / I_{k3}; \\ \ddot{\phi}_a &= [c_4(\phi_1 - \phi_a(1/i_1)) - (1/i_1) + c_5(\phi_2 - \phi_a(1/i_2)) - (1/i_2) + c_6(\phi_3 - \phi_a(1/i_3)) - (1/i_3) + \\ &\quad + k_4(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_a(1/i_1)) - (1/i_1) + k_5(\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_a(1/i_2)) - (1/i_2) + k_6(\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_a(1/i_3)) - (1/i_3) + M_a] / I_a, \end{aligned}$$

где  $I_d$  – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления;  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$ ,  $I_{k3}$  – моменты инерции элементов трансмиссии и колес погрузочно-транспортной машины, приведенные к их осям;  $I_m$ ,  $I_b$  – моменты инерции машины и балансирной тележки соответственно;  $m_m$  – масса машины;  $m_r$  – масса гусеницы;  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – вертикальная жесткость и сопротивление шин, установленных на колеса машины, соответственно;  $c_{11}$ ,  $k_{11}$  – горизонтальная жесткость и сопротивление передних шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес машины с опорной поверхностью;  $c_4$ ,  $c_5$ ,  $c_6$ ,  $k_4$ ,  $k_5$ ,  $k_6$  – угловые жесткость и сопротивление валов привода переднего и заднего мостов;  $a$ ,  $b$ ,  $h_m$  – координаты центра тяжести машины;  $l_1$ ,  $l_2$  – расстояния между осями балансирной тележки;  $h_b$  – высота расположения оси балансирной тележки;  $c_r$ ,  $k_r$  – жесткость и сопротивление гусеницы, установленной на колеса балансирной тележки;  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  – текущие значения ординат микропрофиля под колесами машины.

В результате решения системы дифференциальных уравнений определены динамические реакции на опорах корпуса переднего и заднего модулей  $R_{d1}$  и  $R_{d2}$ , которые в дальнейшем учитывались при определении опорных реакций

двигателей. Выражения для их определения имеют следующий вид:

$$R_{a1} = c_1(z_1 + a\theta_1 - q_1) + k_1(\dot{z}_1 + a\dot{\theta}_1 - \dot{q}_1); \quad (5)$$

$$R_{a2} = (c_2 + c_3)(z_1 - b\theta_1) + (k_2 + k_3)(\dot{z}_1 - b\dot{\theta}_1) - c_2q_2 - c_3q_3 - k_2\dot{q}_2 - k_3\dot{q}_3. \quad (6)$$

В результате реализации математической модели построены зависимости касательных сил тяги и сил сопротивления движению от буксования двигателя с учетом физико-механических свойств почвогрунтов опорной поверхности пути, позволившие оценить показатели тягово-сцепных свойств машин с различными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части и выбрать предпочтительный тип двигателя. Оценка адекватности разработанной математической модели выполнена на основании теста сравнения нормированных спектральных плотностей процессов, полученных теоретическим и экспериментальными способами. Величина статистики  $D^2$  сравниваемых параметров составила 21,2–28,4 при значении области принятия гипотезы  $\chi^2_{n,\alpha}$ , равном 40,11.

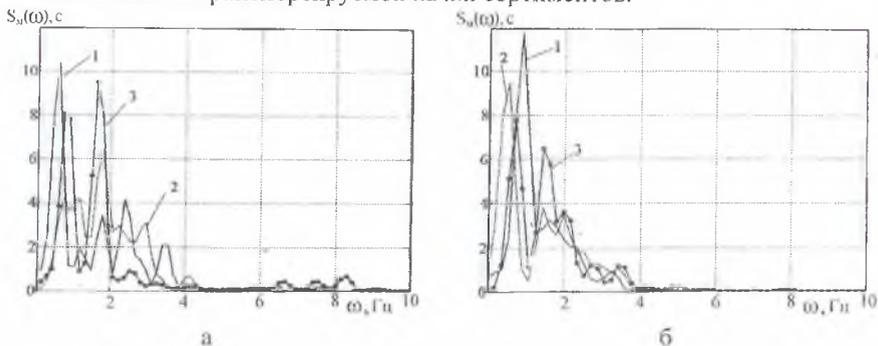
**Четвертая глава** посвящена экспериментальной оценке показателей тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины 6К6 при движении по волокам с различной несущей способностью почвогрунтов и для подтверждения результатов, полученных теоретическим путем.

Для проведения испытаний был создан опытный образец погрузочно-транспортной машины 6К6 с колесным и комбинированным типами двигателя. Регистрируемыми параметрами при проведении испытаний являлись силы сопротивления движению и касательные силы тяги, крутящие моменты и число оборотов колес энергетического и технологического модулей, угол поворота балансирной тележки относительно оси качания, ускорения на полу кабины оператора. Регистрация и запись параметров осуществлялась с помощью многоканального универсального измерительного комплекса *Spider-8* и портативного компьютера.

Испытания проводились на переходных и установившихся режимах движения машины в различных почвенно-грунтовых условиях. При движении по трелевочному волоку с несущей способностью почвогрунтов 100–120 кПа форвардер с колесным типом двигателя развивал тяговые усилия 68–98 кН, а с комбинированным – 80–114 кН. Экспериментом установлено, что на почвогрунтах с несущей способностью 100–120 кПа для колесной машины коэффициент сопротивления движению составил 0,06–0,08, а для форвардера с комбинированным типом двигателя изменялся в пределах 0,19–0,21. При снижении несущей способности почвогрунтов до 50–80 кПа коэффициент сопротивления движению для сравниваемых машин составлял 0,26–0,27, коэффициент запаса проходимости при этом для колесной машины находился в пределах 0,11–0,12, для форвардера с комбинированным типом двигателя – 0,28–0,3.

Анализ нормированных спектральных плотностей крутящих моментов

(рисунок 3) и других регистрируемых параметров позволил определить частоты их колебаний, которые находились в диапазоне  $0,1 \dots 10$  Гц. Значения амплитуд и характер изменения спектральных плотностей зависит от скорости движения машины и объема транспортируемой пачки сортиментов.



а – колесный тип движителя; б – комбинированный тип движителя:

1 – порожняя погрузочно-транспортная машина; 2 – погрузочно-транспортная машина с пачкой сортиментов объемом  $5 \text{ м}^3$ ; 3 – погрузочно-транспортная машина с пачкой сортиментов объемом  $10 \text{ м}^3$

**Рисунок 3 – Нормированные спектральные плотности крутящих моментов колес балансирной тележки погрузочно-транспортной машины 6К6**

Анализ экспериментальных зависимостей позволил оценить показатели тягово-сцепных свойств и динамическую нагруженность элементов трансмиссии и ходовой части погрузочно-транспортной машины 6К6 с различными типами движителя и подтвердить основные результаты, полученные с помощью разработанной математической модели.

**В пятой главе** представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины.

Определены значения коэффициентов сопротивления движению, сцепления и запаса проходимости для машин с колесным и комбинированным типами движителя в различных почвенно-грунтовых условиях. Установлено, что при движении по почвогрунтам с несущей способностью выше  $90 \text{ кПа}$  предпочтение следует отдавать колесным машинам, при значениях несущей способности от  $50$  до  $80 \text{ кПа}$  целесообразно эксплуатировать машины с гусеницами на колесах тележки.

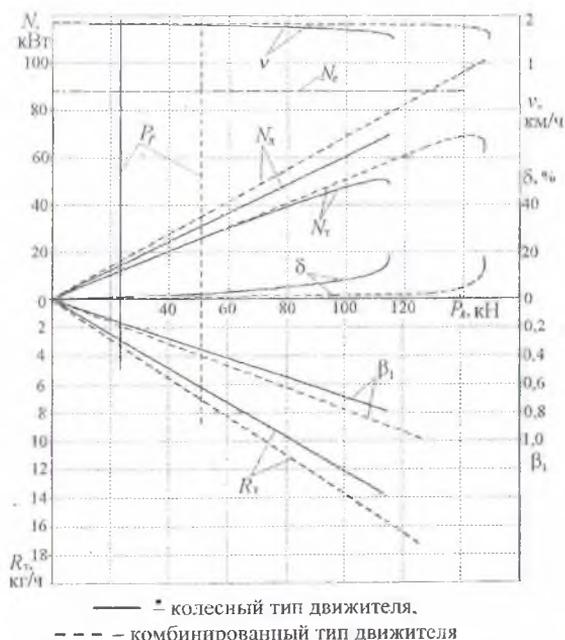
Установлено, что для эффективной эксплуатации машин с комбинированным типом движителя при движении по почвогрунтам с низкой несущей способностью ( $50\text{--}80 \text{ кПа}$ ) значение высоты грунтозацепов гусениц должно находиться в пределах  $40\text{--}60 \text{ мм}$ . Меньшие значения данного параметра приводят к увеличению буксования движителя до  $19\text{--}25\%$ .

С целью снижения буксования движителя полноприводной машины 6К6 с трансмиссией блокированного типа колеса переднего модуля должны иметь

окружную скорость на 2–3% ниже, чем движитель заднего технологического модуля. При оснащении форвардеров БКб дифференциальной трансмиссией значение передаточного числа межосевого дифференциала должно находиться в диапазоне 2,2–2,8.

Для оценки тягово-сцепных свойств и определения режимов эксплуатации погрузочно-транспортных машин с учетом параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части разработана тяговая номограмма (рисунок 4). В верхнем квадранте номограммы представлена тяговые характеристики погрузочно-транспортных машин с различным типом движителя, в нижнем – зависимости коэффициентов использования двигателя по мощности  $\beta_1$  и часового расхода топлива  $R_1$ . Для удобства применения на номограмму нанесены силы сопротивления движению  $P_f$  для машин с колесным и комбинированным типами движителя и значение номинальной мощности устанавливаемого двигателя  $N_e$ .

С помощью тяговых номограмм определяются диапазоны рабочих скоростей движения погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя на волоках с различной несущей способностью. На почвогрунтах I-го типа местности при преодолении сил сопротивления движению и загрузкой



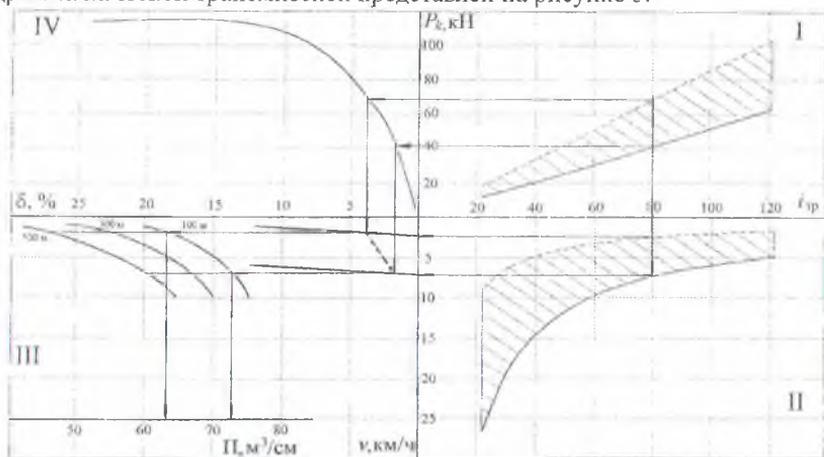
**Рисунок 4 – Тяговая номограмма форвардеров БКб при движении по волоку с несущей способностью 100–120 кПа**

двигателя мощностью 85–95 кВт на 80–90% колесная машина может развивать скорость движения до 10–11 км/ч, машина с комбинированным типом движителя – до 5–7 км/ч. При движении по волоку со скоростью 3–4 км/ч коэффициент загрузки двигателя по мощности составил 0,31–0,34 для колесной машины, 0,62–0,67 – для машины с комбинированным типом движителя. Расход топлива при этом находится в пределах 4–5 и 6–8 кг/ч соответственно.

На волоках 3-го типа местности буксование колесного форвардера составляет 15–18%, а машины с гусеницами на колесах балансирной тележки – 6–10%. Свободная

касательная сила тяги для колесного форвардера составила 6–9 кН, а у машины с комбинированным типом движителя данный показатель находился в пределах 15–17 кН. При эксплуатации колесного форвардера на почвогрунтах 3-го типа местности коэффициент загрузки двигателя по мощности достигает значений 0,8–0,9, что приводит к повышению часового расхода топлива до 8–9 кг/ч. Для повышения рабочих скоростей движения на 10–15% двигатель должен иметь мощность в пределах 100–120 кВт.

По полученным результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны номограммы, отражающие показатели тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя, оснащенных механическими и гидромеханическими трансмиссиями. Пример номограммы для форвардера с гидромеханической трансмиссией представлен на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Номограмма показателей тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств погрузочно-транспортной машины 6К6 с гидромеханической трансмиссией**

Номограммы состоят из 4 квадрантов и отражают зависимости касательной силы тяги  $P_k$  и скорости движения  $v$  от буксования  $\delta$  движителя колесного или комбинированного типа и передаточного числа трансмиссии  $i_{тр}$ . Зависимости касательных сил тяги от передаточного числа трансмиссии построены с учетом параметров устанавливаемого двигателя. Для форвардера с гидромеханической трансмиссией номограмма построена с учетом безразмерной характеристики установленного гидротрансформатора. С целью определения диапазонов передач, на которых возможно движение существующих машин, на графике откладываются передаточные числа трансмиссии, соответствующие определенной передаче.

Для оценки производительности форвардера при транспортировке сортиментов в 3-м квадранте нанесены построенные по результатам эксплуатационно-тех-

пологических испытаний зависимости сменной производительности от среднего расстояния транспортировки при известном объеме перевозимой пачки.

Использование разработанных номограмм, примеры которых представлены на рисунках 4–5, при проектировании лесных машин позволяет сократить сроки проведения компоновочных расчетов, необходимых для выбора и обоснования параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части. Предложенный способ представления полученных результатов позволяет устанавливать закономерности изменения показателей тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств погрузочно-транспортных машин как в общем виде, так и при корректировке одного или нескольких параметров трансмиссии и ходовой части.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложенная методика комплексной оценки тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин БК6 с колесной и комбинированной конструкцией ходовой части при движении по почвогрунтам с различной несущей способностью позволяет с учетом динамической нагруженности шасси, механической и гидромеханической трансмиссий блокированного или дифференциального типов на стадии проектирования обосновывать параметры движителя и выбирать эксплуатационные режимы работы [1-А, 3-А, 5-А].

2. Разработанная математическая модель лесной погрузочно-транспортной машины БК6 позволяет учитывать внешние возмущающие воздействия, оценивать динамическую нагруженность узлов и агрегатов ходовой части и трансмиссии в зависимости от ее типа, показатели тягово-сцепных свойств на переходных и установившихся режимах движения с учетом буксования движителя на почвогрунтах с различной несущей способностью [4-А, 7-А, 8-А]. Оценка адекватности математической модели выполнена путем сравнения нормированных спектральных плотностей процессов, полученных теоретическим и экспериментальным способами. Величина статистики  $D^2$  сравниваемых параметров составила 21,2–28,4 при значении области принятия гипотезы  $\chi^2_{n,\alpha}$ , равном 40,11.

3. Полученные в результате проведения теоретических и экспериментальных исследований закономерности, представленные в виде номограмм, которые отражают тягово-сцепные свойства лесных машин БК6 с различными вариантами конструкции трансмиссии и ходовой части, позволили установить:

– при движении по волокам с несущей способностью почвогрунтов выше 90 кПа (1-й и 2-й типы местности) целесообразно эксплуатировать машины БК6 с колесной конструкцией движителя, а гусеницы на колесах балансирной тележки необходимо применять на почвогрунтах с несущей способностью 50–90 кПа (3-й и 4-й типы местности) [6-А, 9-А, 11-А];

– с целью обеспечения высоких тягово-сцепных свойств машин с движи-

телем комбинированного типа при движении по почвогрунтам 3-го и 4-го типов местности значения высоты грунтозацепов гусеницы должны находиться в пределах 40–60 мм, расстояние между грунтозацепами – 0,15–0,2 м. При этом величина развиваемой касательной силы тяги в сравнении с колесным типом движителя возрастет в 1,17–1,23 раза в зависимости от физико-механических свойств почвогрунтов [3-А, 5-А];

– для уменьшения буксования движителя колесного и комбинированного типов полноприводной машины, значения окружной скорости движения колес переднего модуля должны быть на 2–3% меньше, чем у движителя заднего модуля. Распределение крутящих моментов между ведущими мостами должно находиться в диапазоне  $1/(2,2-2,8)$  [5-А];

– для обеспечения необходимых тягово-сцепных свойств и эффективной эксплуатации погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя в природно-производственных условиях Республики Беларусь двигатель должен иметь мощность 100–120 кВт, передаточные числа механической трансмиссии находиться в пределах 50–280, гидромеханической – 25–160 при коэффициенте трансформации гидротрансформатора 1,5–1,6, что обеспечит повышение рабочих скоростей движения на 10–12% и в 1,1–1,2 раза сменной производительности в зависимости от расстояния транспортировки [5-А, 6-А].

4. Результаты эксплуатационно-технологических испытаний погрузочно-транспортной машины повышенной проходимости при освоении труднодоступного лесосечевого фонда показали, что комбинированный тип движителя обеспечивает повышение сменной производительности на 5,5%, себестоимость заготовки древесины при этом снижается в 1,1 раза в сравнении с колесным форвардером. Удельные эксплуатационные затраты для машины повышенной проходимости при освоении труднодоступного лесосечевого фонда в 1,12 раза ниже, чем у колесного форвардера [2-А, 10-А]. Фактический годовой экономический эффект от применения погрузочно-транспортной машины с комбинированным типом движителя при освоении труднодоступного лесосечевого фонда в условиях ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз» составил 7 968 100 руб. в ценах 2006 г.

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

1. Разработанную методику оценки тягово-сцепных свойств лесных машин с колесным и комбинированным типами движителя целесообразно использовать на машиностроительных предприятиях для обоснования параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части проектируемой и выпускаемой лесозаготовительной техники с учетом физико-механических свойств почвогрунтов [1-А, 5-А].

2. Предложенный способ представления полученных закономерностей в виде разработанных номограмм позволяет обосновывать технико-эксплуатационные показатели лесных машин, диапазоны передаточных отношений механических и гидромеханических трансмиссий для различных режимов движения, теоретические и действительные скорости движения машины в различных почвенно-грунтовых условиях эксплуатации, оценивать сменную производительность ма-

шин в зависимости от расстояния транспортировки и других факторов [2-А, 11-А].

3. Эксплуатация погрузочно-транспортной машины с колесным и комбинированным типами движителя при освоении труднодоступного лесосечного фонда ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз» позволила определить экономический эффект от применения гусениц на колесах балансирной тележки.

4. Разработанные для реализации математической модели алгоритмы и программы прошли практическую апробацию на отечественных машиностроительных предприятиях и внедрены в учебный процесс на кафедре ЛМиТЛЗ БГТУ по дисциплинам «Лесотранспортные машины», «Основы проектирования лесных машин».

5. Разработанная методика оценки и полученные результаты позволяют сократить время и снизить затраты на проведение дорогостоящих экспериментальных исследований по определению тягово-сцепных и других эксплуатационных свойств лесных машин с колесным и комбинированным типами движителя, оснащенных механическими и гидромеханическими трансмиссиями [12-А, 13-А, 14-А].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

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

1-А. Гороновский, А.Р. Анализ взаимного влияния основных параметров на эксплуатационные свойства колесных лесных машин / А.Р. Гороновский, С.Н. Пищов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 41–43.

2-А. Асмоловский, М.К. Результаты опытно-промышленной проверки форвардера повышенной проходимости / М.К. Асмоловский, В.Н. Лой, С.П. Мохов, С.Н. Пищов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 72–76.

3-А. Гороновский, А.Р. Анализ конструктивных особенностей ходовой части форвардера 6К6 повышенной проходимости / А.Р. Гороновский, С.Н. Пищов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 22–24.

4-А. Пищов, С.Н. Математическая модель колебаний форвардера 6К6 повышенной проходимости / С.Н. Пищов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 52–55.

5-А. Пищов, С.Н. Сравнительная оценка тягово-сцепных свойств форвардеров 6К6 с различными вариантами конструкции тандемной тележки технологического модуля / С.Н. Пищов, В.В. Хайновский, А.Р. Гороновский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 52–56.

6-А. Пищов, С.Н. Результаты исследовательских испытаний погрузочно-транспортной машины повышенной проходимости с колесной формулой 6К6 / С.Н. Пищов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 96–99.

## Материалы научных конференций и тезисы докладов

7-А. Пищов, С.Н. Определение динамических реакций на опорах корпуса форвардера 6К6 / С.Н. Пищов, А.Р. Гороновский // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы III всероссийской науч.-техн. конф., Екатеринбург, 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; редкол.: С.В. Залесов [и др.]. – Екатеринбург, 2007. Ч. 1. – С. 214–216.

8-А. Пищов, С.Н. Моделирование процесса движения лесной колесной погрузочно-транспортной машины 6К6 / С.Н. Пищов // Новые материалы оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 янв. 2007 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – С. 74.

9-А. Гороновский, А.Р. Повышение проходимости форвардера 6К6 / А.Р. Гороновский, С.Н. Пищов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. Ч. 2. – С. 12–13

10-А. Мохов, С.П. Лесные машины повышенной проходимости для освоения труднодоступного лесосеченого фонда / С.П. Мохов, А.Р. Гороновский, М.К. Асмоловский, С.Н. Пищов // Наука и инновации ВУЗов производству: взаимодействие – эффективность – перспектива: сборник статей, материалов и тезисов науч.-практ. семинара, Минск, 22–23 мая 2007 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: В.М. Анищик [и др.]. – Минск, 2008. С. 73–76.

11-А. Пищов, С.Н. Экспериментальные исследования влияния типа движителя на тягово-сцепные свойства погрузочно-транспортной машины / С.Н. Пищов, А.Р. Гороновский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апр. 2008 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2008. Ч. 3. – С. 64–65.

12-А. Симанович, В.А. Направления совершенствования колесной лесной техники отечественного производства / В.А. Симанович, С.Н. Пищов, В.А. Бобрович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев 17–18 апр. 2008 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2008. Ч. 3. – С. 82–83.

## Патент на изобретение

13-А. Устройство для захвата грузов: пат. 9373 Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В.А. Симанович, С.П. Мохов, Д.В. Клоков, С.Н. Пищов, С.Э. Бобровский, П.В. Корсук; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20050088; заявл. 28.01.05; опубл.30.08.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 33.

## Заявка на изобретение

14-А Транспортное средство для перевозки длинномерных грузов: заявка на изобретение Респ. Беларусь, МПК В 60Р 3/40 / В.А. Симанович, С.П. Мохов, С.Н. Пищов, С.Е. Арико, А.М. Лось, С.А. Голякевич; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а20080290; заявл. 13.03.08.

## РЭЗІЮМЭ

Пішчоў Сяргей Мікалаевіч

Ужыванне рухача камбінаванага тыпу для павышэння цягава-счэпных уласцівасцяў лясных пагрузачна-транспартных машын

**Ключавыя словы:** лясная пагрузачна-транспартная машына, рухач, трансмісія, мадэляванне, цягава-счэпныя ўласцівасці, цягавая намаграма.

**Мэта работы:** павышэнне цягава-счэпных уласцівасцяў лясных машын з рухачамі ў выглядзе балансірных цялежак, прызначаных для транспарціроўкі сартыментаў на лесасеках з рознай апорнай здольнасцю глебагрунтоў, шляхам абгрунтавання параметраў механічнай і гідрамеханічнай трансмісій і рэжымаў эксплуатацыі для забяспячэння эфектыўнага ўжывання на колах цялежак легкадыменных металічных гусеніц.

**Метады даследавання і апаратура:** у працэсе правядзення даследаванняў прымяняліся навукова-абгрунтаваныя метады статыстычнай дынамікі, тэарэтычнай механікі, матэматычнай статыстыкі з выкарыстаннем сучаснай апаратуры для рэгістрацыі і апрацоўкі тэарэтычных і эксперыментальных даных.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** распрацавана матэматычная мадэль руху пагрузачна-транспартнай машыны БК6 з колавым і камбінаваным тыпамі рухача, якая ўлічвае фізіка-механічныя ўласцівасці глебагрунтоў апорнай паверхні, канструкцыю і параметры рухача і трансмісіі блакіраванага і дыферэнцыяльнага тыпаў. Мадэль дазваляе адэньваць цягава-счэпныя ўласцівасці машын з улікам дынамічнай нагружанасці вузлоў трансмісіі і хадавой часткі. Атрыманы заканамернасці, прадстаўленыя ў выглядзе намаграм, якія адлюстроўваюць паказчыкі цягава-счэпных і тэхніка-эксплуатацыйных уласцівасцяў лясных пагрузачна-транспартных машын БК6 з колавым і камбінаваным тыпамі рухача пры руху па глебагрунтах з рознай апорнай здольнасцю.

**Ступень выкарыстання:** вынікі даследаванняў мэтазгодна выкарыстоўваюцца пры ацэнцы цягава-счэпных і тэхніка-эксплуатацыйных уласцівасцяў лясных пагрузачна-транспартных машын з колавым і камбінаваным тыпамі рухача пры эксплуатацыі ў зададзеных прыродна-вытворчых умовах.

**Вобласць прымянення:** абгрунтаванне параметраў рухавіка, трансмісіі і хадавой часткі пры праектаванні лясных пагрузачна-транспартных машын, выбар рэжымаў эксплуатацыі тэхнікі для павышэння эфектыўнасці яе ўжывання.

## РЕЗЮМЕ

Пищов Сергей Николаевич

Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин

**Ключевые слова:** лесная погрузочно-транспортная машина, движитель, трансмиссия, моделирование, тягово-сцепные свойства, тяговая номограмма.

**Цель работы:** повышение тягово-сцепных свойств лесных машин с движителями в виде балансирных тележек, предназначенных для транспортировки сортиментов на лесосеках с различной несущей способностью почвогрунтов, за счет обоснования параметров механической и гидромеханической трансмиссий и режимов эксплуатации для обеспечения эффективного применения на колесах тележек легкоъемных металлических гусениц.

**Методы исследования и аппаратура:** в процессе проведения исследований применялись научно-обоснованные методы статистической динамики, теоретической механики, математической статистики с использованием современной аппаратуры для регистрации и обработки теоретических и экспериментальных данных.

**Научная новизна полученных результатов:** разработана математическая модель движения погрузочно-транспортной машины 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя, которая учитывает физико-механические свойства почвогрунтов опорной поверхности, конструкцию и параметры движителя и трансмиссии блокированного и дифференциального типов. Модель позволяет оценивать тягово-сцепные свойства машин с учетом динамической нагруженности узлов трансмиссии и ходовой части. Получены закономерности, представленные в виде номограмм, которые отражают показатели тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств лесных погрузочно-транспортных машин 6К6 с колесным и комбинированным типами движителя при движении по почвогрунтам с различной несущей способностью.

**Степень использования:** результаты исследований целесообразно использовать при оценке тягово-сцепных и технико-эксплуатационных свойств лесных погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя при эксплуатации в заданных природно-производственных условиях.

**Область применения:** обоснование параметров двигателя, трансмиссии и ходовой части при проектировании лесных погрузочно-транспортных машин, выбор режимов эксплуатации техники для повышения эффективности ее применения.

## SUMMARY

Pishchou Siargey Mikalaevich

Application of the combined type mover for increase of track-adhesive properties of logging forwarders

**Key words:** logging forwarder, mover, transmission, modelling, track-adhesive properties, traction nomogram.

**The purpose of work:** increase of track-adhesive properties of logging machines with movers as the balancing carriages destined for transportation assortment on wood-cutting area with various bearing resistance soils, due to a substantiation of parameters of the mechanical and hydromechanical and transmissions modes of operation providing effective application on wheels of carriages of easily removable metal tracks.

**Methods of research and the equipment:** during carrying out of researches with use of the modern equipment the scientifically-grounded methods of statistical dynamics, theoretical mechanics, mathematical statistics were applied to registration and processing theoretical and experimental data.

**Scientific novelty of the received results:** the mathematical model of movement of the forwarder 6W6 with wheel and combined types mover which takes into account physicomachanical properties soils a basic surface, a design and parameters mover and transmissions of the blocked and differential types is developed. The model allows to estimate track-adhesive properties of machines in view of dynamic loading units of transmission and a running part. The laws submitted as nomograms which reflect parameters of track-adhesive and technical-operational properties of logging forwarders 6W6 with wheel and combined by types mover at movement on soils with various bearing resistance.

**Degree of use:** results of researches are expedient for using at an estimation of track-adhesive and technical-operational properties of logging forwarders with wheel and combined types mover at operation in the set natural-industrial conditions.

**Scope:** a substantiation of parameters of the engine, transmission and a running part at designing logging forwarders, a choice of modes of operation of technics for increase of efficiency of application.



Научное издание

**Пищов** Сергей Николаевич

**ПРИМЕНЕНИЕ ДВИЖИТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ  
ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

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

Ответственный за выпуск С.Н. Пищов

Подписано в печать 20.11.2008. 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 462 .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.