

630*
172

Учреждение образования
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

УДК 630*323

ЛОЙ Владимир Николаевич

**УЛУЧШЕНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ
И ПРОХОДИМОСТИ КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ
НА БАЗЕ ТРАКТОРА "БЕЛАРУС"**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2003

Работа выполнена в УО "Белорусский государственный технологический университет" на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор Жуков А.В.
(УО "БГТУ", кафедра лесных машин и
технологии лесозаготовок)

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Гуськов В.В.
(БНТУ, кафедра "Тракторы");

кандидат технических наук,
доцент Насковец М.Т.
(УО "БГТУ", кафедра транспорта леса)

Оппонирующая организация ПО "Минский тракторный завод"

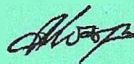
Защита состоится "23" сентября 2003 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

Телефон ученого секретаря совета: 227-83-41

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан "22" августа 2003 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



С.П. Мохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Заготовка древесины в Республике Беларусь производится как по сортиментной, так и по хлыстовой технологии, что требует применения различных комплексов машин. В случае транспортировки хлыстов по лесосеке, основу комплекса машин составляет трелевочный трактор. В настоящее время трелевка древесины в Республике Беларусь осуществляется с использованием уже имеющихся на предприятиях лесной отрасли гусеничных и колесных машин, в основном российского производства, которые в большинстве случаев не полностью соответствуют необходимым требованиям, нуждаются в обновлении и замене.

На ПО "МТЗ", начиная с 1994 года, развивается новое семейство лесных колесных машин различного типа. Уже созданы трелевочные тракторы ТТР-401 и ТТР-401М-01 на базе трактора МТЗ-82Л с жесткой рамой. Однако данные тракторы не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к лесозаготовительной технике, имеют невысокую производительность, а конструкция базового шасси по целому ряду показателей не соответствует тяжелым условиям эксплуатации лесозаготовительного производства. Наиболее перспективным является создание трелевочных машин на базе специальных лесных шарнирно-сочлененных шасси типа 4К4 и 6К6, обеспечивающих высокие скоростные показатели, маневренность и достаточную проходимость в условиях лесосеки, что позволяет повысить эффективность их работы. Применение специальных лесных шин низкого давления позволяет снизить отрицательное воздействие шарнирно-сочлененных машин на лесные почвогрунты, повреждаемость подраста и корневых систем деревьев, обеспечить соблюдение всего комплекса эколого-лесохозяйственных требований.

Однако проходимость таких машин, особенно в условиях грунтов с пониженной несущей способностью не всегда достаточна, и требует улучшения. В связи с этим актуальной является задача по повышению тягово-сцепных показателей шарнирно-сочлененных лесных машин "Беларус" и разработка мероприятий по повышению их проходимости, что требует проведения специальных исследований.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Тема диссертационной работы соответствует научному направлению кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок УО "БГТУ", и выполнялась в рамках следующих НИР:

1. Государственная научно-техническая программа "Леса Беларуси и их рациональное использование" (Задание 21 "Провести комплекс предпроектных исследований по обоснованию параметров трелевочной машины, разработать техническое задание и изготовить опытный образец");

2. Работы по теме ГБ 20-004 "Прогнозирование и разработка методических основ оценки тягово-сцепных свойств и проходимости создаваемо-

516 ар

го семейства полноприводных колесных лесных машин на базе тракторов "Беларус".

Цель и задачи исследований. Целью работы является повышение эффективности работы колесной канатно-чokerной трелевочной машины типа 4К4 с шарнирно-сочлененной рамой, улучшение ее тягово-сцепных свойств и проходимости.

В соответствии с целью работы, основными задачами являются следующие:

1. Провести анализ конструкций существующих лесных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства для обоснования и выбора рациональной компоновочной схемы трелевочной машины и ее технологического оборудования. На основе анализа научных работ обосновать направления дальнейших исследований по улучшению тягово-сцепных свойств и проходимости колесных трелевочных машин;

2. Разработать расчетную схему и математическую модель процесса движения трелевочной машины типа 4К4 по реальному трелевочному волоку, учитывающую связь машины с технологическим оборудованием и пачкой хлыстов, взаимодействие колес с грунтом при движении по колее и силовые факторы при подтаскивании пачки древесины. Оценить адекватность разработанной математической модели;

3. С использованием разработанной методики провести теоретические исследования по оценке и обоснованию основных параметров колесной трелевочной машины, обеспечивающих повышение ее тягово-сцепных свойств и проходимости;

4. Разработать методику и провести экспериментальную оценку основных параметров опытного образца трелевочной машины МЛ-127, ее свойств, исследовать количественные и качественные показатели реализуемых крутящих моментов и их распределение по осям, тяговых усилий в канате лебедки при работе в реальных условиях эксплуатации, а также физико-механических и упругодемпфирующих показателей опорных массивов лесосек. Разработать методику эксплуатационно-технологических испытаний и обосновать затраты мощности и рейсовую нагрузку, оценить эффективность применения машины в условиях лесозаготовительного предприятия Республики Беларусь;

5. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработать рекомендации по повышению тягово-сцепных свойств и проходимости канатно-чokerной трелевочной машины МТЗ типа 4К4.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являлась лесная колесная трелевочная машина с шарнирно-сочлененной рамой типа 4К4 и канатно-чokerным технологическим оборудованием. Предметом исследований являлась динамическая система "двигатель – трансмиссия – движитель – опорная поверхность – предмет труда – технологическое оборудование".

Методология и методы проведенного исследования. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований, применение методов теоретической механики, системного анализа, теории случайных процессов и динамики стохастических систем.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Впервые разработана математическая модель процесса движения колесной трелевочной машины на базе шарнирно-сочлененного шасси типа 4К4 с канатно-чокерным технологическим оборудованием по реальному волоку, учитывающая двигатель как источник заданной мощности, связь шасси машины с технологическим оборудованием и пачкой хлыстов, колебания трансмиссии и корпуса, а также воздействие от неровностей трелевочного волока, отличающаяся учетом сил взаимодействия колес с грунтом при движении по колее, а также силовых факторов при реализации лебедкой потока мощности в процессе подтаскивания пачки древесины. Получены новые данные по тягово-сцепным показателям, проходимости, энергоемкости рабочего процесса и другим эксплуатационно-технологическим показателям трелевочной машины.

Практическая значимость полученных результатов. Разработанные методики исследований и математические модели, программные средства для ЭВМ, позволяют на стадии проектирования выбрать рациональные конструктивные параметры трелевочной машины и технологического оборудования, позволяющие повысить тягово-сцепные показатели и проходимость, а также обосновать число проходов машины по следу, оптимальную мощность двигателя и рейсовую нагрузку, обеспечивающие высокую эффективность работы машины. Использование предлагаемой колесной трелевочной машины в условиях лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь позволяет повысить эффективность трелевки древесины.

Использование на трелевке колесной трелевочной машины "Беларус" МЛ-127 позволит в сравнении с применяемыми в настоящее время в Республике Беларусь трелевочными тракторами снизить себестоимость заготовки древесины в 1,1 раза, что подтверждается актом внедрения на предприятии ОАО "Молодечнолес".

Основные положения диссертации, выносимые на защиту: методика оценки тягово-сцепных свойств и проходимости трелевочной машины на базе шарнирно-сочлененного шасси типа 4К4 и математическая модель процесса ее движения по реальному волоку, учитывающая связь машины с технологическим оборудованием и пачкой хлыстов, двигатель как источник заданной мощности, колебания трансмиссии и корпуса, силы взаимодействия колес с грунтом при движении по колее и силовые факторы при подтаскивании пачки древесины. Новые данные по динамическим показателям и проходимости колесной трелевочной машины при движе-

нии по лесосеке, и в процессе подтаскивания пачки древесины, данные по производственной эксплуатации, обоснованию мощности двигателя и рейсовой нагрузки.

Личный вклад соискателя. Диссертация явилась результатом личной работы автора. Им приведены данные о современном состоянии лесозаготовительного производства Республики Беларусь, проведен анализ существующих конструкций колесных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства. Проанализированы технологические схемы применения колесной трелевочной машины МТЗ с канатно-чокерным технологическим оборудованием. Разработана математическая модель процесса движения колесной трелевочной машины и программные средства для ЭВМ, а также методики оценки ее тягово-сцепных показателей и проходимости. Разработана методика и проведены с участием автора эксплуатационно-технологические и исследовательские испытания трелевочной машины в условиях лесозаготовительного предприятия Республики Беларусь. Определены технико-экономические показатели работы трелевочной машины и разработаны практические рекомендации по повышению эффективности ее работы.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и одобрены на Международной научно-технической конференции "Лес-экология и ресурсы" (БГТУ, Минск, 1998 г.), 53-ей Международной научно-технической конференции БГПА (Минск, 1999 г.), Международной научной конференции молодых ученых "Лес – наука – молодежь" (Институт леса НАН Беларуси, Гомель, 1999 г.), Международной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии в лесной и деревообрабатывающей промышленности", (БГТУ, Минск, 1999 г.), Научно-технической конференции БГПА (Минск, 2000 г.), Международной научно-технической конференции "Леса Беларуси и их рациональное использование" (БГТУ, Минск, 2000 г.), Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса" (БелГУТ, Гомель, 2001 г.), Международной научно-технической конференции "Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие", (БГТУ, Минск, 2002 г.).

Опубликованность результатов. Основные положения диссертации опубликованы в 18 печатных работах, в том числе в 9 статьях научных сборников (39 стр.), 1 статье в журнале (9 стр.), 8 материалах (17 стр.) научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации – 189 листов печатного текста. Работа содержит 86 рисунков, 25 таблиц, 121 литературный источник, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено состояние лесозаготовительного производства Республики Беларусь, проведен обзор конструкций колесных трелевочных машин как отечественного, так и зарубежного производства. Проведенный анализ показал, что в настоящее время создание специальной лесозаготовительной техники производится с учетом принципов агрегатирования, что позволяет расширить функциональные возможности базовой машины и унифицировать системы лесозаготовительных машин на базе одного шасси. Для лесозаготовительного производства Республики Беларусь, в связи с использованием хлыстовых технологий, в настоящее время актуальной задачей является включение в семейство создаваемых лесных машин колесных трелевочных машин с шарнирно-сочлененной рамой и канатно-чокерным технологическим оборудованием. Учитывая специфику и сложность условий эксплуатации лесозаготовительного производства, особенно при работе на лесосеке, одним из важнейших эксплуатационных показателей трелевочной машины является проходимость и тягово-сцепные свойства.

На ПО "МТЗ" проводятся работы по созданию колесных трелевочных машин с шарнирно-сочлененной рамой типов 4К4 и 6К6. Эксплуатация уже созданных образцов трелевочных машин указала на необходимость улучшения их тягово-сцепных свойств и проходимости. Эта задача является комплексной, содержит многие научные составляющие и ее решение требует специальных исследований.

Основополагающими работами по исследованию проходимости, тягово-сцепных показателей и динамической нагруженности специальных транспортных средств и тракторов являются труды С.Ф. Орлова, М.И. Зайчика, Г.М. Анисимова, Г.Д. Александрова, А.В. Жукова, В.В. Гуськова, С.Г. Костогрыза, И.И. Леонovichа, Н.П. Вырко, А.Ф. Полетаева, Б.М. Большакова, В.А. Скотникова, Ю.Д. Силукова. Вопросы проходимости и динамики специальных лесных машин получили дальнейшее развитие в работах Д.И. Шеховцова, Б.Г. Гастева, А.М. Гольдберга, С.Г. Жендаева, Л.А. Роголюка, Э.К. Стрелцова, В.М. Котикова, А.С. Федоренчика, А.М. Кочнева, А.В. Понаморева, И.Н. Кручинина, А.И. Смяяна, В.А. Симановича, М.К. Асмоловского, А.В. Жорина, А.Н. Бычека, Д.В. Клокова и др. Анализ работ по проходимости, тяговой динамике и динамической нагруженности лесных машин позволил определить задачи, требующие дальнейших исследований в направлении повышения тягово-сцепных свойств и проходимости колесной трелевочной машины типа 4К4 Минского тракторного завода.

Во второй главе приведена методика проведения эксплуатационно-технологических испытаний колесной трелевочной машины, их результаты, и дана оценка эффективности применения исследуемой трелевочной машины.

Опытный образец колесной трелевочной машины МЛ-127 проходил эксплуатационно-технологическую проверку в условиях лесосырьевой базы ОАО "Молодечнолес", которая характеризуется равнинным и слабохолмистым рельефом, хвойными и смешанными лесами, и почво-грунтами средней заболоченности.

Анализ результатов хронометражных наблюдений полного цикла трелевки рассматриваемой машины показал, что затраты на холостой и грузовой ход машины оказывают существенное влияние на энергоемкость процесса трелевки. Проведенные исследования показали, что по критерию энергетического баланса применение на трелевке машины МЛ-127 эффективнее чем трелевочного трактора ТДТ-55А, так как удельные затраты энергии при трелевке деревьев (хлыстов) в условиях лесосеки составили для колесной трелевочной машины МЛ-127 – 2,7 кВт·ч/м³·км, а для ТДТ-55А – 3,1 кВт·ч/м³·км.

Оценка эксплуатационных затрат трелевочной машины МЛ-127 производилась путем сопоставления ее показателей с показателями машин аналогов – трелевочных тракторов Словацкого производства LKT-81 и LKT-120А. Проведенный сравнительный анализ распределения удельных эксплуатационных затрат показал, что эксплуатационные затраты сравниваемых тракторов в 1,52...1,33 раза выше, чем для испытываемой машины. Причем, наибольшие эксплуатационные затраты составляет амортизация, которая для трелевочных машин LKT-81 и LKT-120А соответственно в 2,0 и 1,6 раза больше, чем для трелевочной машины МЛ-127.

Для оценки эксплуатационной эффективности опытного образца трелевочной машины МЛ-127 был поставлен многофакторный эксперимент, в процессе которого решалась интерполяционная задача по выведению зависимости сменной производительности от различных технико-эксплуатационных факторов, а также определялась необходимая для эффективной работы машины оптимальная мощность двигателя.

В результате выполнения полного факторного плана эксперимента была получена следующая интерполяционная формула сменной производительности машины МЛ-127:

$$P_{см} = 61,8 - 0,3 \cdot L_{тр} + 33,5 \cdot Q_{п} + 11 \cdot V_{рх} + 18 \cdot V_{хх} - 0,1 \cdot t_{сб.п} - 0,4 \cdot t_{от.п} + 8,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_{сб.п}^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot L_{тр} \cdot t_{сб.п} + 0,03 \cdot Q_{п} \cdot t_{сб.п}$$

где $L_{тр}$ – расстояние трелевки, м; $Q_{п}$ – объем транспортируемой пачки, м³; $V_{рх}$ и $V_{хх}$ – скорости рабочего и холостого хода машины, м/мин; $t_{сб.п}$ – время, включающее чоковую сборку, сбор пачки и маневрирование машины по лесосеке при формировании пачки, мин; $t_{от.п}$ – время, включающее отцеп чокаров и формирование штабеля лесоматериалов на погрузочном пункте, мин.

Обоснование оптимальной мощности двигателя производилось с учетом расстояния трелевки, коэффициента сопротивления волочению

пачки хлыстов, коэффициента сопротивления перемещению трелевочной машины (определялся по разработанной методике проходимости), числа проходов машины по колее и рейсовой нагрузки, обеспечивающей максимально возможную производительность трелевочной машины, которая определялась по полученной интерполяционной формуле.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективно применение трелевочной машины МЛ-127 при проведении рубок в насаждениях со средним объемом хлыста $0,21 \dots 0,4 \text{ м}^3$, при трелевке пачки максимального объема $\sim 6 \text{ м}^3$. В этом случае мощность устанавливаемого на машину двигателя должна составлять $75 \dots 80 \text{ кВт}$ (рис. 1), что позволит эффективно работать машине с максимальной рейсовой нагрузкой без снижения ее тяговых возможностей и проходимости при числе проходов по колее до $40 \dots 45$.

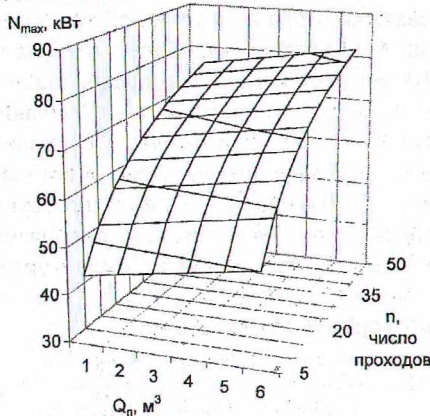


Рис. 1. Зависимость мощности двигателя от объема рейсовой нагрузки и числа проходов машины по колее

При этом производительность машины при расстоянии трелевки 150 м составляет $95 \text{ м}^3/\text{см}$, при расстоянии трелевки 300 м – $79 \text{ м}^3/\text{см}$, что обеспечивает высокую эффективность комплекса машин при существующих хлыстовых технологиях и близко соответствует аналогичным показателям однотипных машин зарубежного производства.

Третья глава посвящена разработке математической модели процесса движения трелевочной машины и методик оценки тягово-сцепных свойств и проходимости.

Расчетная схема (рис. 2) динамической системы лесной трелевочной машины с колесной формулой 4К4, разработана с учетом исследований таких авторов как Семенов В.М., Жуков А.В., Симанович В.А., Галицкий Е.Н. и др. на основе анализа ее конструкции и кинематики движения звеньев.

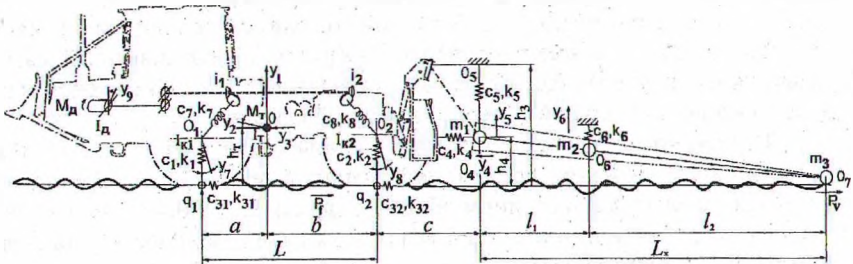


Рис. 2. Общая динамическая расчетная схема трелевочной системы с канатно-чокерным технологическим оборудованием

Данной расчетной схемой и соответствующей ей математической моделью, учтена связь крутильных колебаний трансмиссии, вертикальных, продольных и продольно-угловых колебаний корпуса машины (масса M_T и момент инерции I_T), вертикальных и продольных колебаний пачки (массы m_1, m_2, m_3). Модель позволяет учитывать возмущающие воздействия со стороны двигателя (момент M_d) при изменении условий и режимов движения машины, а также реальных воздействий на колеса от неровностей поверхности движения — ($q_1(t)$ и $q_2(t)$). От уже существующих, разработанная математическая модель отличается тем, что учитывает силу взаимодействия колес с грунтом P_f при движении по колее, которая при установившемся движении по горизонтальному участку трелевочного волока, может быть определена по формуле Полетаева А.Ф.:

$$P_f = \frac{12 \cdot (2 - \mu) \cdot (3 - \mu) \cdot D^{1/2} \cdot h^{1/2}}{8 \cdot (3 - \mu)^2 \cdot D - 9 \cdot (2 - \mu)^2 \cdot h} \cdot G_k,$$

где μ — коэффициент продольного расширения грунта; D — диаметр колеса, м; G_k — вертикальная нагрузка на колесо, Н; h — глубина образующейся колеи, м.

В связи с тем, что упругость большинства лесных почв невелика, их можно рассматривать как пластичные материалы, в которых показатели механических свойств изменяются при приложении нагрузки и остаются постоянными после разгрузки. Вследствие этого накопление деформации уплотнения лесного почвогрунта при многократных проходах машины по трелевочному волоку можно описать следующим выражением:

$$h_n = \frac{\alpha_0 \cdot q_{\max} \cdot n}{1 + \frac{\alpha_0 \cdot q_{\max} \cdot n}{h_{\max}}},$$

где n — число проходов; α_0 — коэффициент линейной деформации почвы в начале первого нагружения (определялся по методике В.М. Котикова, с учетом экспериментальных данных по физико-механическим свойствам

лесных почвогрунтов); q_{\max} – максимальное давление колесного движителя на опорную поверхность.

Общая модель составлена с учетом возможности ее декомпозиции при изучении динамических процессов, происходящих при подтаскивании пачки, что позволяет обосновать оптимальную рейсовую нагрузку, при которой наблюдается минимальная динамическая нагруженность привода технологического оборудования при подтаскивании пачки.

Динамическая система, объединяющая подсистемы: моторно-трансмиссионная установка; подрессоренный корпус; технологическое оборудование; пачка деревьев, имеет 9 степеней свободы, учитывающих вертикальные, продольные и продольно-угловые перемещения корпуса трактора (y_1, u_3, y_2), перемещения пачки деревьев (y_5, y_6, y_4), угловые перемещения двигателя, передних и задних колес трактора (y_9, y_7, y_8). Приняты в расчет: момент двигателя M_d , сила сопротивления волочения пачки P_v .

Система дифференциальных уравнений, описывающих динамические процессы трелевочной машины с колесной формулой 4К4 в продольной вертикальной плоскости, имеет вид:

$$\ddot{y}_1 = (-c_1(y_1 + ay_2) - c_2(y_1 - by_2) - c_5(y_1 - (b+c)y_2 - y_5) - c_6 \left(y_1 - (b+c) \frac{l_2}{L_x} y_2 - y_6 \right) + c_1q_1 + c_2q_2) / M_T;$$

$$\ddot{y}_2 = (-c_1a(y_1 + ay_2) + bc_2(y_1 - by_2) + (b+c)c_5(y_1 - (b+c)y_2 - y_5) + (b+c) \frac{l_2}{L_x} c_6 \left(y_1 - (b+c) \frac{l_2}{L_x} y_2 - y_6 \right) + c_{31}(h_1 - r_1)(y_3 - y_2(h_1 - r_1) - r_1y_7) + c_{32}(h_2 - r_2)(y_3 - y_2(h_2 - r_2) - r_2y_8) + c_1aq_1 - c_2bq_2) / I_T;$$

$$\ddot{y}_3 = (-c_4(y_3 - y_4) - c_{31}(y_3 - y_2(h_1 - r_1) - r_1y_7) - c_{32}(y_3 - y_2(h_2 - r_2) - r_2y_8) - P_f + P_k) / M_T;$$

$$\ddot{y}_4 = (c_4(y_3 - y_4) - P_v) / M_D;$$

$$\ddot{y}_5 = (c_5(y_1 - (b+c)y_2 - y_5)) / m_1;$$

$$\ddot{y}_6 = \left(c_6 \left(y_1 - (b+c) \frac{l_2}{L_x} y_2 - y_6 \right) \right) / m_2;$$

$$\ddot{y}_7 = \left(c_{31}r_1(y_3 - y_2(h_1 - r_1) - r_1y_7) - c_7 \left(y_7 - \frac{1}{i_1} y_9 \right) \right) / I_{K1};$$

$$\ddot{y}_8 = \left(c_{32}r_2(y_3 - y_2(h_2 - r_2) - r_2y_8) - c_8 \left(y_8 - \frac{1}{i_2} y_9 \right) \right) / I_{K2};$$

$$\ddot{y}_9 = \left(\frac{1}{i_1} c_7 \left(y_7 - \frac{1}{i_1} y_9 \right) + \frac{1}{i_2} c_8 \left(y_8 - \frac{1}{i_2} y_9 \right) + M_d \right) / I_d;$$

где I_d – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей

сцепления; I_{k1} и I_{k2} – моменты инерции элементов трансмиссии и соответственно передних и задних колес, приведенные к их осям; c_1, k_1 и c_2, k_2 – вертикальная жесткость и сопротивление шин переднего и заднего мостов; c_3, k_3 – угловая жесткость и сопротивление привода лебедки; c_{31}, k_{31} и c_{32}, k_{32} – продольная жесткость и сопротивление шин и почво-грунта, приведенные к точкам контакта колес соответственно переднего и заднего мостов с опорной поверхностью; c_7, k_7 и c_8, k_8 – угловая жесткость и сопротивление валов привода переднего и заднего мостов машины; c_4, k_4 и c_5, k_5 – продольная и вертикальная жесткость и сопротивление узла связи пачки с трактором; c_6, k_6 – вертикальная жесткость и сопротивление пачки хлыстов; i_1 и i_2 передаточные числа приводов переднего и заднего мостов машины; i – передаточное число привода лебедки; L – база машины; a, b и h_T – координаты центра тяжести машины; c – расстояние от задней оси машины до точки касания комлевой части пачки в щит; l_1, l_2 – координаты центра тяжести пачки древесины; L_x – длина пачки хлыстов; h_4 – расстояние от опорной поверхности до точки касания комлевой части пачки в щит; h_3 – расстояние от опорной поверхности до канатоведущего ролика арки; r_1 и r_2 – радиусы переднего и заднего колес машины.

Разработанная методика объединяет математическую модель процесса движения колесной трелевочной машины по реальному волоку, процесса подтаскивания пачки при ее формировании и подсистему, учитывающую процесс колееобразования, что позволило получить всестороннюю информацию по нагруженности динамической системы, загруженности двигателя и трансмиссии при различных режимах, реализуемых движущих силах с учетом колееобразования, оценить тягово-сцепные свойства машины и ее проходимость.

Адекватность разработанной математической модели реальным процессам движения колесной трелевочной машины типа 4К4 с канатно-чокерным технологическим оборудованием подтверждена сравнением расчетных и экспериментальных данных, при значении области принятия гипотезы $\chi^2_{n, \alpha}$ равном 22,3.

В четвертой главе приведена методика проведения исследовательских испытаний колесной трелевочной машины и их результаты. Испытания проводились в условиях лесозаготовок предприятия ОАО "Молодечнолес". Во время испытаний регистрируемыми параметрами являлись усилия в канате лебедки, крутящие моменты, скорость движения, рейсовая нагрузка. Запись измеряемых параметров производилась при движении трелевочной машины на опытных участках пасечных и магистральных волоков с уклоном до 10° , рельеф местности соответствовал грунтовым условиям II и III типа местности. Режимы испытаний были выбраны исходя из назначения и особенностей работы машины, и включали: сбор пачки деревьев при неподвижной машине; трогание с места; переезд единичных неровностей; установившееся движение с пачкой деревьев и в порожнем

состоянии.

Проведенные исследовательские испытания трелевочной машины показали, что во время подтаскивания пачки при трогании ее с места, коэффициент динамичности тягового усилия в канате лебедки K_d составляет 1,4. При погрузке сформированной пачки древесины на щит $K_d=2,8$, что в 2 раза выше, чем при трогании с места. При трогании машины с места при выполнении транспортных операций коэффициенты динамичности крутящих моментов на полусях машины составляют 1,5...1,8.

Во время испытаний устанавливалось влияние скоростей движения на нагруженность машины при переезде препятствий. В результате испытаний установлено, что при различных скоростях переезда неровностей коэффициент динамичности тягового усилия в канате лебедки колеблется в пределах 1,2...1,8. Коэффициенты динамичности крутящих моментов при переезде единичных неровностей составляют 1,5...2,6. При установившемся движении коэффициент динамичности тягового усилия составляет 1,3...1,5 в зависимости от скорости движения и рейсовой нагрузки.

В результате проведенных исследовательских испытаний колесной трелевочной машины получены количественные и качественные показатели крутящих моментов и их распределения по осям, тяговых усилий в канате лебедки, возникающих при различных режимах работы машины на лесосеке, на основании анализа результатов испытаний разработаны мероприятия по повышению тягово-сцепных свойств и проходимости, а также произведена оценка адекватности разработанной математической модели.

В пятой главе приведены результаты теоретических исследований крутящих моментов на осях и динамических реакций на мостах и оценка проходимости и тягово-сцепных показателей исследуемой колесной трелевочной машины, разработаны мероприятия по их повышению.

Проведенные теоретические исследования показали, что параметры устанавливаемых на машину шин оказывают значительное влияние на изменение крутящих моментов и вертикальных динамических реакций на мостах при движении машины и, следовательно, на ее проходимость. Установлено, что на тягово-сцепные свойства и проходимость машины существенное влияние оказывает изменение площади контакта колеса с опорной поверхностью, которая находится в прямой зависимости от давления в шинах и их вертикальной жесткости (рис. 3).

Для опытного образца машины МЛ-127 значения максимальных давлений на грунт составляют в порожнем состоянии для передних колес 106,6 кПа, для задних колес – 34,8 кПа. В случае груженой машины эти давления соответственно равны 81,3 и 113,7 кПа. Полученные значения максимальных давлений согласуются с данными для аналогичных машин зарубежного производства, у которых они изменяются в пределах 50...120 кПа.

Анализ полученных данных показал, что для обеспечения необходимой опорной проходимости и тягово-сцепных свойств трелевочной машины, устанавливаемые на нее шины должны иметь диаметр 1,79 м, ширину профиля 0,77 м, давление в шинах должно составлять 110...130 кПа, а вертикальная жесткость – 1100...1200 кН/м.

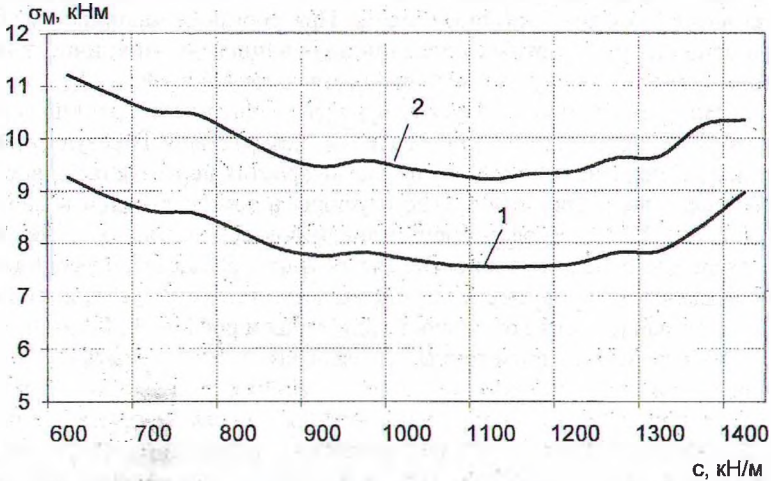


Рис. 3. Зависимость средневзвешенных значений крутящих моментов на передней (1) и задней (2) полуосях от жесткости шин

Проведенные исследования показали, что для повышения эффективности использования трелевочной машины необходимо увеличение рабочих скоростей движения с пачкой максимально возможного объема, что приводит к значительному увеличению вертикальных динамических реакций колес на грунт. Так с увеличением скорости движения от 1,1 до 3,1 км/ч средневзвешенные значения вертикальных динамических реакций увеличиваются в 1,12 раза, а средневзвешенные значения крутящих моментов на полуосях машины в 1,7 раза.

Моделирование процесса переезда единичных неровностей показало, что как геометрические параметры неровности, так и скорость движения трелевочной машины оказывают существенное влияние на динамическую нагруженность машины. Так, с увеличением высоты неровности с 0,15 до 0,5 м, значения вертикальных динамических реакций переднего и заднего мостов увеличиваются на 27...31%, значения крутящих моментов на полуосях машины возрастают на 17...22%.

В результате исследований получены данные по рациональным скоростным режимам движения, величинам рейсовых нагрузок, мощности двигателя и влиянию числа проходов машины по колее на тягово-сцепные свойства, проходимость и динамические показатели. При исследованиях выявлена зависимость интенсивности колееобразования от числа проходов

по колее. Наиболее интенсивное колееобразование происходит при первых 10...15 проходах машины, далее интенсивность образования колеи замедляется в виду уплотнения почвы.

Увеличение числа проходов машины по колее и как следствие рост глубины колеи, приводят к росту силы сопротивления движению, что в свою очередь снижает тяговые возможности машины, и с целью обеспечения эффективной работы машины в условиях лесосеки (увеличение рабочих скоростей движения и объемов трелеваемой пачки) необходимо увеличение мощности устанавливаемого двигателя.

Для обоснования оптимальной мощности двигателя, обеспечивающей необходимые тягово-сцепные показатели трелевочной машины и оптимальную динамическую нагруженность, исследовалось влияние числа проходов машины по колее на мощность двигателя.

Проведенные исследования позволили установить, что увеличение числа проходов машины до 50 приводит к росту касательной силы тяги в 1,5...2 раза, при этом мощность двигателя возрастает с 59,9 до 115,3 кВт (рис. 4).

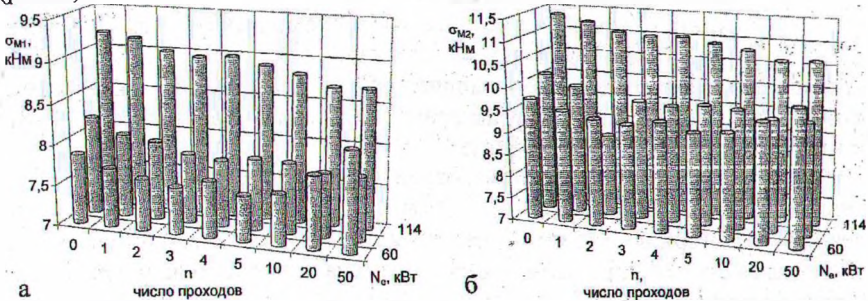


Рис. 4. Изменение среднеквадратических значений крутящих моментов в зависимости от числа проходов по колее: а – на передней полуоси трелевочной машины; б – на задней полуоси трелевочной машины

Проведенные исследования показали, что для обеспечения необходимых тягово-сцепных показателей и проходимости трелевочной машины, мощность устанавливаемого двигателя должна составлять 75...80 кВт, что позволяет обеспечить максимальную рейсовую нагрузку до 6 м^3 без ухудшения тяговых возможностей при числе проходов машины по колее до 40...45. При этом производительность машины при расстоянии трелевки 150 м составляет $95 \text{ м}^3/\text{см}$, при расстоянии трелевки 300 м – $79 \text{ м}^3/\text{см}$. Устанавливаемые на машину шины, обеспечивающие необходимую опорную проходимость должны иметь диаметр 1,79 м, ширину профиля 0,77 м с внутренним давлением 110...130 кПа и вертикальной жесткостью 1100...1200 кН/м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ конструктивных особенностей трелевочных машин отечественного и зарубежного производства и оценка современного состояния и потребностей лесозаготовительного производства Республики Беларусь позволили обосновать общую компоновочную схему и главные параметры, реализованные в опытном образце машины МЛ-127 [1, 5, 9].

2. Эксплуатационно-технологические испытания колесной трелевочной машины МЛ-127 в условиях лесозаготовительного предприятия Республики Беларусь ОАО "Молодечнолес" доказали высокую эффективность ее применения на сплошных рубках [6, 13].

Проведенные наблюдения показали, что затраты времени на холостой и грузовой ход машины составляют 30...35% рабочего цикла и оказывают значительное влияние на энергоемкость процесса трелевки. По критерию энергетического баланса применение на трелевке машины МЛ-127 эффективнее, чем трелевочного трактора ТДТ-55А. Удельные затраты энергии при трелевке деревьев (хлыстов) для трелевочного трактора ТДТ-55А в 1,15 раза выше чем для машины МЛ-127.

В результате проведенной оценки экономической эффективности было установлено, что удельные эксплуатационные затраты для опытного образца колесной трелевочной машины МЛ-127 составляют 1,436 у.е./м³, что в сравнении с колесными тракторами словацкого производства ЛКТ-81 и ЛКТ-120А в 1,52...1,33 раза ниже.

Проведенные исследования позволили также установить, что эффективная работа машины без снижения тяговых возможностей и проходимости возможна при 40...45 проходах машины по колее на почвогрунтах II и III типов местности, при этом мощность устанавливаемого на машину двигателя должна составлять 75...80 кВт, обеспечивающая рейсовую нагрузку 6 м³ и производительность до 80 м³/см. Рабочие скорости движения с грузом на пасечном волоке должны составлять до 3 км/ч, на магистральном – до 6,5 км/ч, а в порожнем состоянии – до 10...11 км/ч.

3. Разработанная математическая модель процесса движения колесной трелевочной машины с канатно-чокерным технологическим оборудованием позволяет исследовать как переходные, так и установившиеся динамические процессы, моделировать затраты мощности и крутящие моменты на осях машины, производить оценку тягово-сцепных свойств и проходимости [4, 17]. При моделировании процесса движения по волоку с учетом сил взаимодействия колес с грунтом при движении по колее [16], упругодемпфирующих свойств лесного почвогрунта [3, 7, 10, 11], модель позволяет также исследовать динамику процесса подтаскивания пачки древесины при ее формировании на трелевочном волоке [2, 15].

Оценка точности разработанной математической модели произведенная путем сопоставления расчетных и экспериментальных энергетических спектров указала на ее адекватность реальным процессам. При этом

величина статистики D^2 сравниваемых параметров составляла 8,41...9,18 при значении области принятия гипотезы $\chi^2_{n, \alpha}$ равном 22,3.

4. Результаты исследовательских испытаний позволили качественно и количественно оценить распределение крутящих моментов по осям машины, тяговых усилий в канате лебедки, проходимость и тяговые возможности трелевочной машины. Установлены показатели динамических усилий в канате лебедки при подтаскивании пачки древесины. Максимальные значения нагрузки имеют место при упоре пачки в щит (коэффициент динамичности тягового усилия в канате лебедки равен 2,8) [12, 18]. В зависимости от условий движения коэффициенты динамичности тягового усилия составляют 1,2...1,8 [14].

5. Исследования показали, что для обеспечения необходимых тягово-цепных свойств и эффективной эксплуатации машины в условиях лесосеки, мощность двигателя должна составлять 75...80 кВт. При этом обеспечивается рейсовая нагрузка до 6 м³, при коэффициенте ее распределения по осям 0,44 [8] и максимальном тяговом КПД. Максимальные давления на грунт под колесами машины не превышают 150 кПа, что удовлетворяет экологическим требованиям, и динамическая нагруженность трансмиссии и ходовой части не превышает допустимых пределов. Для обеспечения необходимой опорной проходимости трелевочной машины, устанавливаемые на нее шины должны иметь диаметр 1,79 м, ширину профиля 0,77 м с внутренним давлением 110...130 кПа и вертикальную жесткостью 1100...1200 кН/м [7].

Моделирование процесса движения трелевочной машины по деформируемому лесному почвогрунту II и III типа местности показало, что с увеличением глубины колеи от 0,02 до 0,3 м (40...45 проходов машины по колее) сила сопротивления качению возрастает в 4,2 раза, что снижает тяговые возможности машины. Также установлено, что наиболее интенсивное колеобразование происходит при первых 10...15 проходах машины, далее замедляется в виду стабилизации физико-механических свойств почвы. Показатели геометрической проходимости для опытного образца трелевочной машины МЛ-127 обеспечиваются в необходимых пределах (дорожный просвет – 570 мм, передний и задний свесы соответственно 2,95 и 1,25 м). Показатель запаса проходимости E_p при движении по лесным почвогрунтам II и III типов местности с максимальной рейсовой нагрузкой превышает единицу.

6. Применение колесной трелевочной машины МЛ-127 при использовании результатов проведенных исследований позволит снизить себестоимость заготовки древесины в 1,1...1,4 раза.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Коробкин В.А., Жуков А.В., Гришкевич С.Н., Лой В.Н. Новая колесная трелевочная машина с шарнирно-сочлененной рамой. // Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность серия. – 1999. - Вып. VII. – С. 22-28.
2. Мохов С.П., Рубцов А.В., Лой В.Н. Оценка нагруженности технологического оборудования лесных машин. // Труды БГТУ Лесная и д/о промышленность. – 1999. - Вып. VII. – С. 59-64.
3. Гороновский А.Р., Лой В.Н., Гришкевич С.Н. Сравнительный анализ показателей проходимости лесных машин МТЗ. Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 1999. - Вып. VII. – С. 45-49.
4. Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н. Моделирование рабочих процессов лесных машин с учетом реальных эксплуатационных условий. // Материалы Международной 53-й научно-технической конференции. / БГПА. – Минск, 1999. – ч. I. – С. 70.
5. Лой В.Н., Клоков Д.В., Асмоловский М.К. Колесная трелевочная машина "Беларус" с шарнирно-сочлененной рамой и канатно-чокерным технологическим оборудованием. // Материалы международной научной конференции молодых ученых. / Институт леса НАНБ. – Гомель, 1999. –т. 2. – С. 132-133.
6. Жуков А.В., Лой В.Н., Гришкевич С.Н. Применение новой колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой. // Материалы международной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии в лесной и деревообрабатывающая промышленности". / БГТУ. – Минск, 1999. – С 192-195.
7. Лой В.Н. Оценка воздействия движителей лесных трелевочных машин "Беларус" на лесной почвогрунт. // Труды БГТУ Лесная и д/о промышленность. – 2000. - Вып. VIII. – С. 63-68.
8. Гороновский А.Р., Лой В.Н., Гришкевич С.Н. Оценка тягово-сцепных свойств колесной трелевочной машины МЛ-126. // Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2000. - Вып. VIII. – С. 59-62.
9. Коробкин В.А., Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н. Теоретические основы выбора параметров семейства лесных машин МТЗ. // Материалы международной научно-технической конференции / БГПА. – Минск, 2000. – ч. 4. – С. 148.
10. Протас П.А., Лой В.Н. Влияние демпфирующих характери-

стик почво-грунтов на проходимость колесной трелевочной машины МЛ – 126. // Материалы МНТК "Леса Беларуси и их рациональное использование". / БГТУ. – Минск, 2000. – С. 370-372.

11. Федоренчик А.С., Жуков А.В., Мохов С.П., Лой В.Н., Протас П.А. Показатели воздействия движителей лесных колесных машин на почву. // Материалы МНТК "Леса Беларуси и их рациональное использование". / БГТУ. – Минск, 2000. – С. 394-397.

12. Жуков А.В., Лой В.Н. Оценка нагрузочных режимов технологического оборудования новой колесной машины МЛ-126. // Труды БГТУ Лесная и д/о промышленность. – 2001. - Вып. IX. – С. 27-32.

13. Жуков А.В., Лой В.Н., Гороновский А.Р. Результаты технологических испытаний колесной трелевочной машины МЛ-126. // Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2001. - Вып. IX. – С. 24-27.

14. Жуков А.В., Лой В.Н. Оценка нагруженности технологического оборудования колесной трелевочной машины при формировании пачки деревьев. // Материалы МНТК "Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса". / БелГУТ. – Гомель, 2001. – С. 70-71.

15. Жуков А.В., Лой В.Н. Оценка нагрузочных режимов трелевочного трактора при подтаскивании пачки деревьев. // Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2002. - Вып. X. – С. 20-27.

16. Лой В.Н. Оценка силы сопротивления качению колесной трелевочной машины с учетом деформации лесных почвогрунтов. // Труды БГТУ Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2002. - Вып. X. – С. 44-47.

17. Жуков А.В., Лой В.Н. Оценка влияния глубины колеи на силу сопротивления качению колесной трелевочной машины. // Материалы МНТК "Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие". / БГТУ. – Минск, 2002. – С. 198-201.

18. Жуков А.В., Лой В.Н., Хайновский В.В., Зенькевич Д.А. Оценка динамической нагруженности новой колесной трелевочной машины МТЗ. // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2003. – №1. – С. 39-46.

РЭЗІЮМЕ

Лой Уладзімір Мікалаевіч

Паляпшэнне цягава-счэпных уласцівасцяў і праходнасці колавай тралёўнай машыны "Беларус"

Тралёўная машына, шарнірна-сучлянёная рама, праходнасць, цягава-счэпныя паказчыкі, матэматычная мадэль

Аб'ектам даследавання з'яўлялася лясная колавая тралёўная машына з шарнірна-сучлянёнай рамай тыпу 4К4 і канатна-чокерным тэхналагічным абсталяваннем.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўлялася павелічэнне эфектыўнасці работы колавай тралёўнай машыны з шарнірна-сучлянёнай рамай тыпу 4К4, паляпшэнне яе цягава-счэпных паказчыкаў і праходнасці.

Агульная метадалогія работы прадугледжвала злучэнне тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў, якія базаваліся на выкарыстанні метадаў тэарэтычнай механікі, сістэмнага аналізу, тэорыі выпадковых працэсаў і дынамікі стахастычных сістэм.

Упершыню распрацавана матэматычная мадэль працэсу руху колавай тралёўнай машыны на базе шарнірна-сучлянёнага шасі тыпу 4К4 з канатна-чокерным тэхналагічным абсталяваннем па волаку, якая ўлічвае рухавік як крыніцу зададзенай магутнасці, сувязь шасі машыны з тэхналагічным абсталяваннем і пачкай хлыстоў, хістанні трансмісіі і корпусу, а таксама уздзеянні ад няроўнасцяў тралёвачнага волака, якая адрозніваецца ўлікам сілы ўзаемадзеяння колаў з глебай пры руху па каляіне, а таксама сілавых фактараў пры падцягванні пакета драўніны. Атрыманы новыя даныя па цягава-счэпных паказчыках, праходнасці, энэргаёмкасці рабочага працэсу і іншых эксплуатацыйна-тэхналагічных паказчыках тралёўнай машыны.

Выкарыстанне на тралёўцы колавай тралёўнай машыны "Беларус" з канатна-чокерным тэхналагічным абсталяваннем і шарнірна-сучлянёнай рамай ва ўмовах лесанарыхтоўчых прадпрыемстваў Рэспублікі Беларусь дазволіць павялічыць прадукцыйнасць і эфектыўнасць тралёўкі пры правядзенні суцэльных высечак.

РЕЗЮМЕ

Лой Владимир Николаевич

Улучшение тягово-сцепных свойств и проходимости колесной трелевочной машины на базе трактора "Беларус"

Трелевочная машина, шарнирно-сочлененная рама, проходимость, тягово-сцепные показатели, математическая модель

Объектом исследований являлась лесная колесная трелевочная машина с шарнирно-сочлененной рамой типа 4К4 и канатно-чokerным технологическим оборудованием.

Целью диссертационной работы являлось повышение эффективности работы колесной канатно-чokerной трелевочной машины типа 4К4 с шарнирно-сочлененной рамой, улучшение ее тягово-сцепных показателей и проходимости.

Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований, которые базировались на применении методов теоретической механики, системного анализа, теории случайных процессов и динамики стохастических систем.

Впервые разработана математическая модель процесса движения колесной трелевочной машины на базе шарнирно-сочлененного шасси типа 4К4 с канатно-чokerным технологическим оборудованием по волоку, учитывающая двигатель как источник заданной мощности, связь шасси машины с технологическим оборудованием и пачкой хлыстов, колебания трансмиссии и корпуса, а также воздействие от неровностей трелевочного волока, отличающаяся учетом сил взаимодействия колес с грунтом при движении по колею, а также силовых факторов при подтаскивании пачки древесины. Получены новые данные по тягово-сцепным показателям, проходимости, энергоёмкости рабочего процесса и другим эксплуатационно-технологическим показателям трелевочной машины.

Использование на трелевке колесной трелевочной машины "Беларус" с канатно-чokerным технологическим оборудованием и шарнирно-сочлененной рамой в условиях лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь позволит повысить производительность и эффективность трелевки при проведении сплошных рубок.

SUMMARY

Loj Vladimir Nikolaevich

Improvement of traction and engagement properties and passability of the wheel skidder based on the tractor "Belarus"

skidder, articulated frame, passability traction and engagement parameters, mathematical model

The object of the research was a forest wheel skidder with the articulated frame 4K4 type and cable technological equipment.

The purpose of the dissertation work was to increase the effectiveness of the cable skidder with articulated frame, to improve its traction and engagement parameters and passability.

General methodology envisaged a combination of the theoretical and experimental research based on the application of system analysis method, random processes theory, stochastic system dynamics and theoretical mechanics.

For the first time a mathematical model of the movement process of the wheel skidder on the basis of articulated chassis 4K4 type with the cable technological equipment on the track has been developed. It takes into account the connection of the machine with the cable equipment and a logdump and the engine as a source of a given capacity, transmission and the machine body vibration as well as the effect of roughness of a skidding track. In contrast to developed before it takes into consideration the forces of interaction of a wheel with the ground while moving along a track, besides it allows to investigate the process of dragging up a timber dump. New data on traction and engagement parameters, passability, power capacity of the working process and other operational characteristics of the skidder have been obtained.

The application of the cable skidder "Belarus" with the articulated frame is to increase skidding productivity and effectiveness of massive felling conducted by timber enterprises in the Republic of Belarus.

Лой Владимир Николаевич

УЛУЧШЕНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ И ПРОХОДИМОСТИ
КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ НА БАЗЕ ТРАКТОРА
"БЕЛАРУС"

Подписано в печать 6 августа 2003 г. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная

Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр - отт. 1,4. Уч. - изд. л. 1,2

Тираж 75 экз. Заказ № 302.

Учреждение образования

"Белорусский государственный технологический университет".

Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.2003. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринтере Белорусского государственного технологи-
ческого университета. 220050, Минск, Свердлова, 13.

Техналаг-издательского университета

516ар