

630*
К 50

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 630*323

КЛОКОВ Дмитрий Викторович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА
ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНОЙ
КОЛЕСНОЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ
МАШИНЫ**

05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2001

Работа выполнена в Белорусском государственном технологическом университете на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Вырко Н.П.
(БГТУ, кафедра транспорта леса);

кандидат технических наук
Харитончик С.В.
(Институт механики машин
Национальной академии наук
Беларуси)

Оппонирующая организация ПО "Минский тракторный завод"

Защита состоится "27" декабря 2001 г. в 14⁰⁰ 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 "26" ноября 2001 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



С.П. Мохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время применяемые в Республике Беларусь, как и во многих регионах СНГ, на рубках главного и промежуточного пользования машины не в полной мере отвечают природоохранным условиям и требованиям и при принятой технологии лесозаготовок оказывают значительное негативное воздействие на лесную среду. При этом лесозаготовительная промышленность испытывает недостаток в оборудовании. Техническая оснащенность предприятий снижается, что в свою очередь отражается на всех показателях отрасли. Износ основного производственного оборудования достиг более 50% и продолжается интенсивное сокращение парка основных лесозаготовительных машин.

Решением данных проблем является развитие собственного лесного специального машиностроения, которое целесообразно основывать на базе существующих в Республике Беларусь машиностроительных предприятий. Минским тракторным заводом в настоящее время создается семейство лесных специальных машин, что требует проведения экспериментальных и теоретических исследований, направленных на обоснование параметров погрузочно-транспортных машин. В связи с этим тема диссертационной работы является актуальной.

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

1. Государственная научно-техническая программа "Белавотракторостроение" (задание АТ-02.04).

2. "Разработать и внедрить новые ресурсосберегающие технологии и оборудование лесопромышленного производства" (ГБ 12-96) и входила составной частью в республиканскую целевую комплексную научно-техническую программу 33.01 рц "Древесные ресурсы".

Цель и задачи исследований. Повышение эффективности лесозаготовительного процесса и снижение отрицательного воздействия на лесную среду путем обоснования параметров и создания лесной погрузочно-транспортной машины.

В соответствии с целью работы определены следующие задачи исследований:

1. Провести обзорный анализ существующих конструкций лесных погрузочно-транспортных машин и работ по исследованиям в области обоснования динамических параметров машин общего и специального назначения.

2. Разработать математические модели процесса движения погрузочно-транспортной машины с колесной формулой 4К4 и 6К6 в реальных

284 ар.

условиях эксплуатации.

3. Провести теоретические исследования по разработанным математическим моделям, оценить динамические показатели и обосновать параметры лесной колесной погрузочно-транспортной машины.

4. Разработать методику и провести экспериментальную оценку динамической нагруженности машины, а также оценить адекватность разработанных математических моделей.

5. Разработать методику производственных испытаний и оценить эффективности применения машины в условиях Республики Беларусь.

6. Разработать практические рекомендации, направленные на совершенствование конструкции лесной погрузочно-транспортной машины.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являлась лесная колесная погрузочно-транспортная машина. При теоретических исследованиях рассматривалась комплексная динамическая система "двигатель - трансмиссия - движители - поверхность движения - предмет труда" и ее основные подсистемы, адекватно отражающие конструктивные особенности машины и условия эксплуатации.

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

Научная новизна и значимость полученных результатов. Впервые разработаны новые математические модели процесса движения погрузочно-транспортной машины с колесными формулами 4К4 и 6К6, описывающие вертикальные, продольно-угловые колебания машины, с комплексным учетом воздействия неровностей опорной поверхности движения, двигателя, как источника заданной мощности, связей остова машины с пачкой сортиментов и движителем. Получены новые данные по динамической нагруженности, энергоемкости рабочего процесса и другим эксплуатационно-технологическим показателям погрузочно-транспортной машины.

Практическая значимость полученных результатов. Разработанные методики исследований и математические модели, программные средства для ЭВМ, позволяют на стадии проектирования выбирать рациональные конструктивные параметры погрузочно-транспортных машин с различными схемами привода ведущих мостов, при сокращении сроков их создания и улучшением качества проектных работ. Использование предлагаемой колесной погрузочно-транспортной машины в условиях лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий Республики повышает эффективность первичной транспортировки древесины при

использовании сортиментной заготовки.

Применение погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354 в сравнении с получившими распространение в Беларуси лесными тракторами на рубках главного пользования позволяет снизить себестоимость заготовки древесины на 8...12%.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту: методика оценки динамических показателей системы "двигатель – трансмиссия – движитель – пачка сортиментов – неровности поверхности движения", позволяющая комплексно учитывать динамические свойства лесной погрузочно-транспортной машины, количественные показатели и характер возмущающих факторов; результаты по динамической нагруженности машины, энергоёмкости и другим эксплуатационным показателям погрузочно-транспортной машины.

Личный вклад соискателя. Диссертация явилась результатом личной работы автора. Им проведен анализ существующих конструкций колесных погрузочно-транспортных машин и технологии их использования. Разработаны математические модели процесса движения погрузочно-транспортной машины позволяющие, исследовать объекты с колесными формулами 4К4 и 6К6. Разработана методика и проведены с участием автора производственно-технологические и исследовательские испытания. Выполнена сравнительная оценка процесса заготовки древесины при рубках главного пользования, установлены технико-экономические показатели работы погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354. Разработаны практические рекомендации по рациональным параметрам, учитывающие улучшение эксплуатационных свойств и повышение эффективности работы машины.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и одобрены на Всероссийской научно-практической конференции "Проблемы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий на предприятиях лесного комплекса" (ВЛПИ, Воронеж, 1995), научно-технической конференции "Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин" (БАТУ, Минск, 1996), Международной научно-технической конференции "Машиноведение" (ГПИ, Гомель, 1996, 1998 г.), республиканской научно-технической конференции «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе» (БТУ, Минск, 1997), а также научно-технических конференциях БГТУ 1996-2000 гг., Международной научно-технической конференции "Лес-экология и ресурсы" (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).

Опубликованность результатов. Основные положения диссертации

ции опубликованы в 27 печатных работах, в том числе в 13 статьях (70 стр.), 8 материалах (19 стр.) и 6 тезисах докладов (9 стр.) на научных конференциях, а также имеется 1 акт внедрения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации – 166 листов машинописного текста. Работа содержит 51 рисунок, 9 таблиц, 147 литературных источников, 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние лесозаготовок в Республике Беларусь и их перспективы развития. Обобщены данные по состоянию парка лесных машин и уровню механизации технологического процесса по заготовке сортиментов на предприятиях лесного комплекса. Приведен обзор современных конструкций погрузочно-транспортных машин зарубежного и отечественного производства. На основе проведенного обзора отмечено, что для создания колесных лесозаготовительных машин целесообразно использовать шарнирно-сочлененное шасси, на которое могут монтироваться различные типы технологического оборудования. Отражается актуальность оснащения лесозаготовительных предприятий Беларуси новой техникой с целью обеспечения необходимых производственных и лесоводственно - экологических требований.

Опыт, накопленный при исследовании динамической нагруженности сельскохозяйственных, тракторных агрегатов и автопоездов заложен в работах Е.А. Чудакова, Р.В. Ротенберга, А.А. Хачатурова, В.М. Семенова, П.В. Аксенова, И.С. Цитовича, В.В. Гуськова, И.Б. Барского, Н.Н. Яценко, В.Б. Альгина. основополагающими работами в теории проектирования лесных специальных машин являются труды С.Ф. Орлова, В.А. Горбачевского, В.И. Мельникова, М.И. Зайчика, А.М. Гольдберга, Б.Г. Гастева. Дальнейшее развитие вопросы теории получили в работах А.В. Жукова, Г.М. Анисимова, И.И. Леонovichа, В.Н. Андреева, К.Н. Барина, В.А. Александрова, В.М. Котикова, Ю.И. Провоторова, Е.Н. Галицкого, Ю.Г. Артамонова, В.С. Николока, Б.Г. Перетятко, С.Г. Костогрыза, Н.И. Библика, О.А. Стъранивского, А.М. Кочнева, А.И. Смяна, В.А. Симановича, М.К. Асмоловского, А.В. Жорина и др.

Во второй главе произведена оценка эффективности применения погрузочно-транспортной машины с учетом влияния природно-производственных факторов.

Проведенный анализ нормативных материалов по рубкам главного пользования показывает, что колесная погрузочно-транспортная машина хорошо вписывается в технологический процесс и данный вопрос требует

дополнительного агробивирования.

Производственно-технологические испытания погрузочно-транспортной машины МЛПГ-354 проводились на лесосеках, имеющих породный состав 9С1Б при среднем объеме хлыста $0,2...0,39 \text{ м}^3$. Среднее расстояние трелевки составляло $400...600 \text{ м}$, нагрузка на рейс – $5...6,2 \text{ м}^3$, скорость движения с грузом $4,8...5,1 \text{ км/ч}$, в порожнем состоянии – $5,6...5,8 \text{ км/ч}$, часовая производительность – $6,5...7,8 \text{ м}^3$ при среднем объеме сортиментов $0,12 \text{ м}^3$.

Эксплуатационная эффективность погрузочно-транспортной машины оценивалась часовой производительностью, энергозатратами и удельными затратами на подвозку сортиментов.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что при уменьшении расстояния трелевки от 700 до 150 м часовая производительность увеличивается в $2,1$ раза, при изменении объема пачки с 4 м^3 до 6 м^3 производительность увеличивается в $2,5$ раза. При возрастании величины рейсовой нагрузки от 2 до 5 м^3 энергозатраты уменьшаются в $2,3$ раза, при дальнейшем увеличении нагрузки до 6 м^3 – в $1,2$.

Затраты на передвижение являются основной составляющей при расчете энергоемкости. В результате расчетов установлено, что энергоемкость процесса подвозки древесины уменьшается с увеличением объема рейсовой нагрузки, пропорциональна расстоянию подвозки, массе машины и зависит от почвенно-грунтовых условий. При этом зарубежные форвардеры имеют худшие показатели энергоемкости по сравнению с форвардером МЛПГ-354, его использование дает снижение энергоемкости процесса подвозки древесины на $15...40\%$, что в значительной мере определяется отношением массы машины к массе транспортируемой пачки сортиментов (рис. 1).

Для определения оптимальных значений факторов влияющих на рабочий процесс машины решалась задача многопараметрической оптимизации с граничными условиями. За критерий оптимизации была принята величина энергоемкости процесса подвозки сортиментов. За основные варьируемые факторы – расстояние подвозки сортиментов L ; объем рейсовой нагрузки Q ; вылет гидроманипулятора $l_{\text{ман}}$.

Сравнительный анализ распределения удельных затрат на подвозку сортиментов показал, что значительное влияние на стоимость подвозки сортиментов с использованием МЛПГ-354 оказывают отчисления на амортизацию и ТСМ, что в $1,5...2$ раза меньше чем для машин МЛ-74А и FMG-610.

Значения средних и максимальных давлений колесного движителя МЛПГ-354 на почву удовлетворяют предъявляемым экологическим требованиям и в $1,4-1,8$ раза меньше чем у зарубежных аналогов.

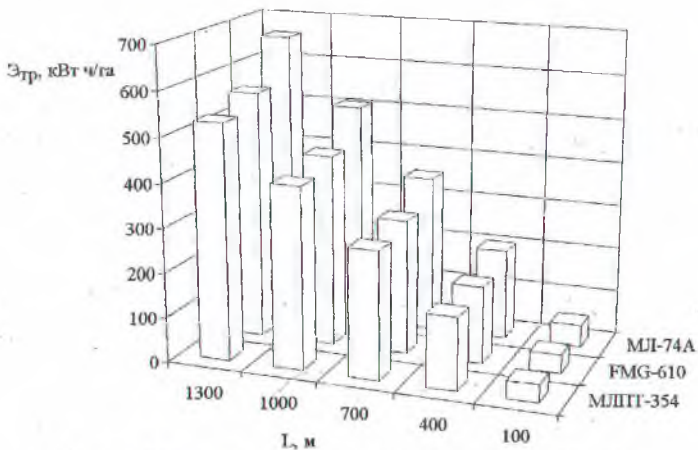


Рис. 1. Энергоемкость процесса подвозки древесины

Для определения оптимальных значений факторов, влияющих на воздействие движителей погрузочно-транспортной машины на лесную почву, решалась задача однокритериальной трехпараметрической оптимизации с ограничениями и граничными условиями. За критерий оптимизации была принята глубина колееобразования; за уравнение ограничения – зависимость удельного давления движителей машины на лесную почву; за основные варьируемые факторы – наружный диаметр шины D , ширина профиля шины B и нагрузка на шину G_k .

Третья глава посвящена рассмотрению вопросов, связанных с разработкой математических моделей процесса движения погрузочно-транспортной машины с колесными формулами 4К4 и 6К6. На рис. 2 приведена расчетная схема динамической системы лесной погрузочно-транспортной машины, разработанной с учетом принятых допущений на основе анализа ее конструкции и кинематики движения звеньев.

Расчетная динамическая система имеет пятнадцать степеней свободы, позволяющих описать колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение лесной машины определяется следующими обобщенными координатами: углом поворота коленчатого вала двигателя φ_d ; углами поворота элементов трансмиссии соответственно сцепления и выходного вала коробки передач $\varphi_{сц}$, $\varphi_{вк}$; угловыми перемещениями переднего и задних колес $\varphi_{к1}$, $\varphi_{к2}$, $\varphi_{к3}$; угловыми перемещениями масс трактора, груза, кабины и балансирующего редуктора φ_r , φ_p , φ_k , φ_b ; вертикальными перемещениями центра тяжести машины, груза, кабины и оператора Y_r , Y_{rp} , Y_k , Y_b ; продольным перемещением машины X_r .

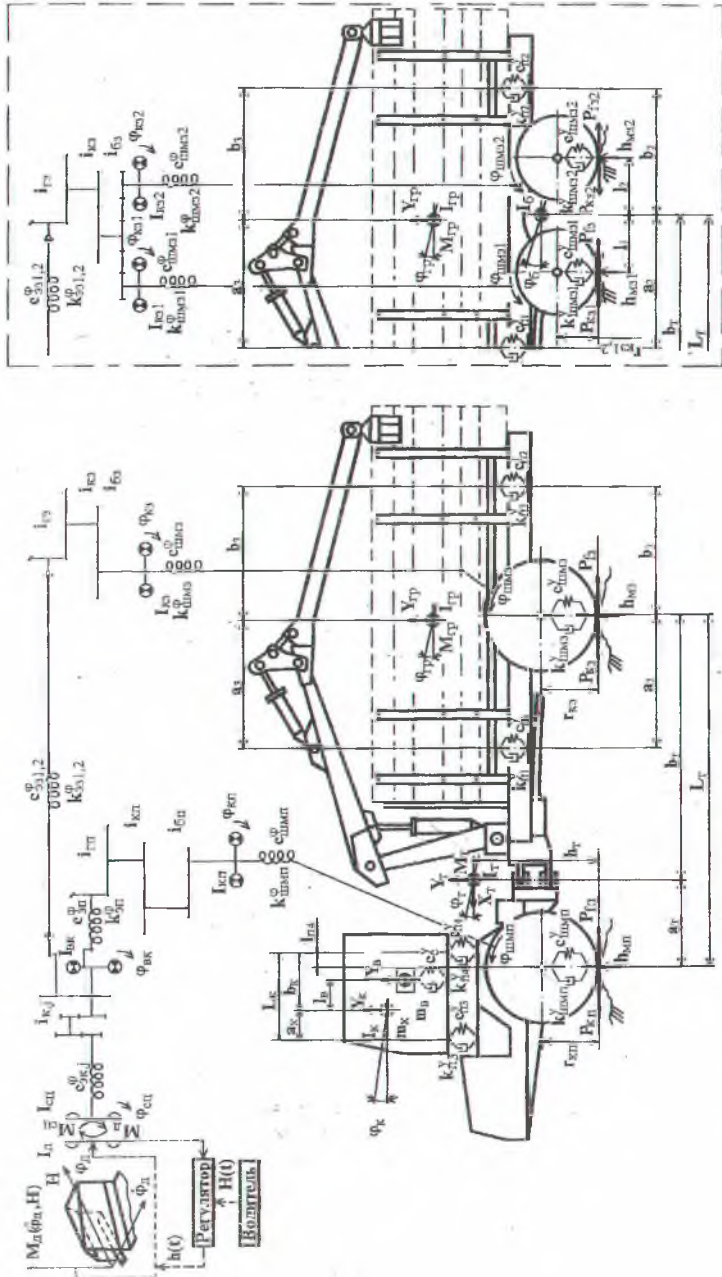


Рис. 2. Расчетная схема динамической системы лесной полугнущо-транспорной машины

На расчетной схеме приняты следующие обозначения: M_T - масса машины; $M_{гр}$, m_k , m_b - поддрессоренные массы груза, кабины, оператора; I_d - момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления; $I_{сц}$ - момент инерции ведомых частей и вала сцепления; $I_{вк}$ - приведенный к первичному валу момент инерции вторичного вала со связанными с ним деталями КП; $I_{кп(з1,з2)}$ - приведенные к первичному валу КП суммарные моменты инерции колес с шинами переднего и заднего ведущих мостов со связанными с ними деталями трансмиссии; I_T , $I_{гр}$, I_k - моменты инерции машины, груза, кабины; $c_{эк,j}^\varphi$, $k_{эк,j}^\varphi$ - эквивалентная крутильная жесткость и сопротивление валов КП и вала сцепления на j -той передаче, приведенная к первичному валу; $c_{эп(з1,з2)}^\varphi$, $k_{эп(з1,з2)}^\varphi$ - эквивалентные крутильные жесткости и сопротивления валов привода переднего и заднего мостов машины; $c_{шмп(з1,з2)}^\varphi$, $k_{шмп(з1,з2)}^\varphi$ - суммарные крутильные жесткости и сопротивления шин переднего и заднего мостов машины; $c_{шмп(з1,з2)}^y$, $k_{шмп(з1,з2)}^y$ - суммарные вертикальные жесткости и сопротивления соответствующих мостов машины; $c_{п1}^y$, $c_{п2}^y$, $c_{п3}^y$, $c_{п4}^y$, c_c^y , $k_{п1}^y$, $k_{п2}^y$, $k_{п3}^y$, $k_{п4}^y$, k_c^y - суммарные вертикальные жесткости и сопротивления подвески груза, кабины и сиденья оператора; i_{kj} - передаточное число КП на j -той передаче; $i_{тп}$, $i_{тз}$ - передаточные числа главной передачи переднего и заднего мостов машины; $i_{кп}$, $i_{бп}$, $i_{кз}$, $i_{бз}$ - передаточные числа бортовых передач соответствующих мостов; L_T , a_T , b_T , h_T , l_1 , l_2 , a_2 , b_2 , a_3 , b_3 , L_k , a_k , b_k , $l_{п4}$, l_b - геометрические параметры машины; $h_{мп}$, $h_{мз1}$, $h_{мз2}$ - текущие значения неровностей под колесами машины.

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамические процессы машины с колесной формулой 6К6 в продольной вертикальной плоскости, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 I_d \cdot \ddot{\varphi}_d - M_d + M_{сц} &= 0; \\
 I_{сц} \cdot \ddot{\varphi}_{сц} - M_{сц} + M_{эк,j} &= 0; \\
 I_{вк} \cdot \ddot{\varphi}_{вк} - M_{эк,j} + M_{вк} &= 0; \\
 I_{кп} \cdot \ddot{\varphi}_{кп} - M_{эп} + M_{шмп} &= -P_{фп} \cdot r_{кп} / (i_{тп} \cdot \eta_{тп}); \\
 I_{кз1} \cdot \ddot{\varphi}_{кз1} - M_{эз1} + M_{шмпз1} &= -P_{фз1} \cdot r_{кз1} / (i_{тпз1} \cdot \eta_{тпз1}); \\
 I_{кз2} \cdot \ddot{\varphi}_{кз2} - M_{эз2} + M_{шмпз2} &= -P_{фз2} \cdot r_{кз2} / (i_{тпз2} \cdot \eta_{тпз2}); \\
 I_T \cdot \ddot{\varphi}_T - (M_{шмп} / r_{кп}) \cdot (h_T - r_{кп}) \cdot i_{тп} / r_{кп} - (M_{шмпз1} / r_{кз1}) \cdot (h_T - r_{кз1}) \times \\
 \times i_{тпз1} / r_{кз1} - (M_{шмпз2} / r_{кз2}) \cdot (h_T - r_{кз2}) \cdot i_{тпз2} / r_{кз2} - P_{шмп}^y \cdot a_T + P_{шмпз1}^y \times
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& \times (b_T - l_1) + P_{\text{шмз2}}^y \cdot (b_T + l_2) - P_{\text{п1}}^y \cdot (b_T - a_2) - P_{\text{п2}}^y \cdot (b_T + b_2) + P_{\text{п3}}^y \cdot (a_T - \\
& - l_{\text{п4}} + L_K) + P_{\text{п4}}^y \cdot (a_T - l_{\text{п4}}) = (P_{\text{кп1}} + P_{\text{кз1}} + P_{\text{кз2}} - P_{\text{фп}} - P_{\text{ф1}} - P_{\text{ф2}}) \cdot h_T; \\
& I_{\text{ГР}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{ГР}} - P_{\text{п1}}^y \cdot a_3 + P_{\text{п2}}^y \cdot b_3 = 0; \\
& I_{\text{К}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{К}} + P_{\text{п4}}^y \cdot b_{\text{К}} - P_{\text{п3}}^y \cdot a_{\text{К}} - P_{\text{с}}^y \cdot l_{\text{В}} = 0; \\
& I_{\text{б}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{б}} - P_{\text{шмз1}}^y \cdot l_1 + P_{\text{шмз2}}^y \cdot l_2 = (P_{\text{кз1}} + P_{\text{кз2}} - P_{\text{ф1}} - P_{\text{ф2}}) \cdot h_T; \\
& M_T \cdot \ddot{Y}_T - P_{\text{шмз1}}^y - P_{\text{шмз2}}^y + P_{\text{п1}}^y + P_{\text{п2}}^y + P_{\text{п3}}^y + P_{\text{п4}}^y = 0; \\
& M_{\text{ГР}} \cdot \ddot{Y}_{\text{ГР}} - P_{\text{п1}}^y - P_{\text{п2}}^y = 0; \\
& m_{\text{К}} \cdot \ddot{Y}_{\text{К}} - P_{\text{п3}}^y - P_{\text{п4}}^y + P_{\text{с}}^y = 0; \\
& m_{\text{В}} \cdot \ddot{Y}_{\text{В}} - P_{\text{с}}^y = 0; \\
& (M_T + M_{\text{ГР}} + m_{\text{К}} + m_{\text{В}}) \cdot \ddot{X}_T - M_{\text{шмп}}/r_{\text{кп1}} - M_{\text{шмз1}}/r_{\text{кз1}} - \\
& - M_{\text{шмз2}}/r_{\text{кз2}} = P_{\text{кп1}} + P_{\text{кз1}} + P_{\text{кз2}} - P_{\text{фп}} - P_{\text{ф1}} - P_{\text{ф2}},
\end{aligned} \tag{1}$$

где $M_{\text{д}}$ и $M_{\text{сш}}$ - соответственно крутящие моменты двигателя и сцепления; $M_{\text{кж}}$ - крутящий момент на j -той передаче, приведенный к первичному валу КП; $M_{\text{вк}} = M_{\text{зп}} + M_{\text{зл}} + M_{\text{з2}}$ - крутящий момент на выходном валу КП; $M_{\text{зп(зл,з2)}}$ - крутящий момент в ветвях привода переднего (заднего) моста; $M_{\text{шмп(шмз1,шмз2)}}$ - реактивный момент в шинах ведущих мостов; $P_{\text{шмп}}^y, P_{\text{шмз1}}^y, P_{\text{шмз2}}^y$ - соответственно приведенные силы передних и задних шин; $P_{\text{п1}}^y, P_{\text{п2}}^y, P_{\text{п3}}^y, P_{\text{п4}}^y, P_{\text{с}}^y$ - приведенные силы подвески грузовой платформы, кабины и сиденья водителя.

За входное воздействие при решении дифференциальных уравнений использовались дискретные массивы микропрофилей опытных участков волоков, полученные с учетом сглаживающей способности шин, а также единичные обособленные неровности. Значения крутящего момента двигателя принимались из внешней скоростной характеристики и задавалось в виде кусочно-линейных функций.

Проведенные исследовательские испытания подтвердили точность разработанных математических моделей. Оценка точности производилась путем сравнения расчетных и экспериментальных энергетических спектров D^2 и находилась в пределах 9,27...15,12 при значении области принятой гипотезы $\chi_{\text{п},\alpha}^2$ равном 22,3.

Четвертая глава содержит методику проведения исследовательских испытаний погрузочно-транспортной машины. В процессе исследования была проведена оценка адекватности реальной динамической системы

разработанным расчетно-математическим моделям процесса движения машины, определены основные параметры и технико-эксплуатационные показатели машины МЛПТ-354.

При испытаниях измерялись и регистрировались следующие параметры: крутящие моменты на передней и задней полуосях машины; число оборотов переднего и заднего колес; вертикальные ускорения на месте оператора и в центре тяжести (ц.т.) машины; продольные ускорения в ц.т.; число оборотов двигателя; пройденный путь; время.

В результате лабораторных исследований определены: момент инерции, координаты центра масс машины; углы продольной и поперечной статической устойчивости; частоты собственных колебаний машины.

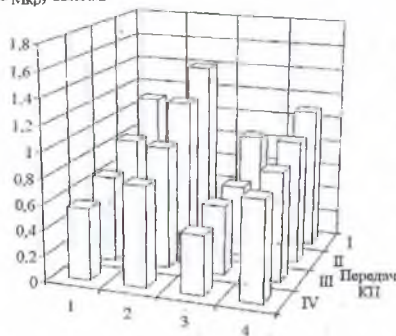
Общая погрешность измерений исследуемых процессов складывалась из погрешностей измерительной аппаратуры, погрешностей полученных при обработке осциллограмм и находилась в пределах 2...5 %.

В пятой главе приводятся результаты проведенных на основе разработанных математических моделей теоретических и экспериментальных исследований, которые позволили оценить значения и установить влияние параметров динамической системы на нагруженность ее элементов при различных режимах работы погрузочно-транспортной машины. Анализ полученных для наиболее типичных условий эксплуатации результатов позволил выделить и оценить нагрузочные режимы, провести оптимизацию ее основных параметров и выработать рекомендации по совершенствованию конструкции колесной погрузочно-транспортной машины.

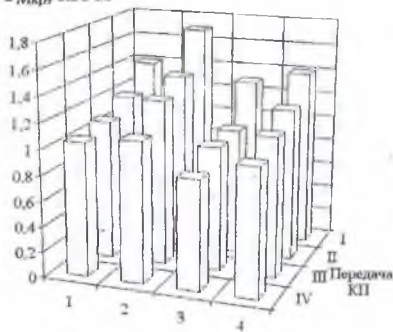
Анализ нагруженности трансмиссии МЛПТ-354 показал, что значения крутящих моментов на передней полуоси превышают развиваемые моменты на задней полуоси на 40...80%, при установившемся движении по волокам. При отключении привода заднего моста нагруженность передней полуоси возрастает в 1,5...2 раза.

При преодолении пороговых неровностей происходит увеличение $M_{кр}$ до 10...20 кН·м, а в момент съезда с неровности как передними, так и задними колесами возникают моменты 15...25 кН·м.

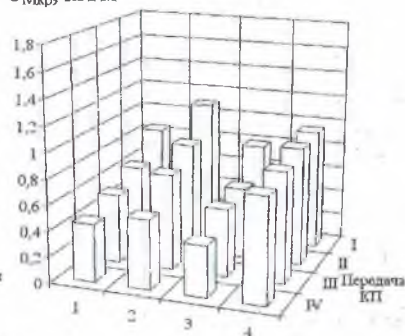
Варьирование рейсовой нагрузки показало, что с ее повышением происходит увеличение средних квадратичных значений крутящего момента. Например, при движении по пасечному волоку увеличение рейсовой нагрузки от 3 до 6 м³ колесной погрузочно-транспортной машины 4К4 энергонасыщенностью 8,6 кВт/т привело к возрастанию среднего квадратичного отклонения крутящего момента на задней полуоси с 1,25 до 1,4 кН·м. Аналогично протекает процесс изменения $\sigma_{мкр}$ при энергонасыщенности 6,7 кВт/т, но более интенсивно для рассмотренных передач КП (рис. 3).

$\sigma_{\text{Мкр}}, \text{кН}\cdot\text{м}$ 

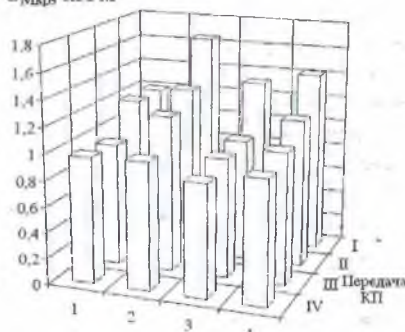
а)

 $\sigma_{\text{Мкр}}, \text{кН}\cdot\text{м}$ 

в)

 $\sigma_{\text{Мкр}}, \text{кН}\cdot\text{м}$ 

б)

 $\sigma_{\text{Мкр}}, \text{кН}\cdot\text{м}$ 

г)

Рис. 3. Зависимость средних квадратичных значений крутящих моментов на передней (а, в) и задней (б, г) полуосях колесной лесной погрузочно-транспортной машины 4К4 при движении по пасечному волоку: а, б – энергонасыщенность машины 6,7 кВт/т; в, г – 8,6 кВт/т; 1, 2 – машина соответственно без груза и с грузом 5т (при $L_6=3,81$ м); 3, 4 – ($L_6=4,35$ м)

Увеличение скорости движения за счет повышения энергонасыщенности также приводит к увеличению крутящего момента. Это подтверждается сравнением среднего квадратичного значения крутящего момента в трансмиссии колесной погрузочно-транспортной машины 4К4 энергонасыщенностью 6,7 и 8,6 кВт/т (рис. 3). Машина энергонасыщенностью 8,6 кВт/т при подвозке пачки сортиментов 6 м^3 будет развивать скорость соответственно на 15...20 % выше, чем машина с энергонасыщенностью

6,7 кВт/т. Такое увеличение скорости движения вызвало возрастание и средних квадратичных значений крутящего момента на 9...15%.

Проведенный спектральный анализ показал, что изменение нагрузок на трансмиссию и ходовую часть МЛПГ-354 протекает в основном в низкочастотном диапазоне с наличием экстремумов нагрузок при частотах 0,5; 1,5; 5,0; 7,0 и 10 Гц.

Для определения оптимальных значений факторов, влияющих на величину нагруженности трансмиссии машины, решалась задача однокритериальной многопараметрической оптимизации с граничными условиями. За основные варьируемые факторы приняты крутильные жесткости шин $c_{ш}^{\phi}$ и коэффициенты неупругого сопротивления $k_{ш}^{\phi}$.

Анализ плавности хода машины показал, что при увеличении скорости движения и высоты неровности, амплитуды виброускорений возрастают в среднем на 60...80%. Отключение привода заднего моста не влияет на вибронгруженность остова машины.

Переезд пороговой неровности характерен увеличением максимальных значений виброускорений в 1,5...2 раза по сравнению с установившемся движением по волоку. Полученные данные показывают, что с увеличением высоты неровности от 0,2 до 0,3 м значения вертикальных реакций мостов увеличиваются на 30...40 %. С увеличением длины неровности от 0,3 до 0,6 м значения динамических реакций мостов уменьшаются, причем с увеличением скорости движения они уменьшаются с разной интенсивностью, так для реакций заднего моста при скорости движения 3,6 км/ч значение реакции уменьшается на 62,3 %, а при 7,2 км/ч на 71,4 %.

Максимальные значения спектральной плотности вертикальных ускорений находятся в основном в низкочастотной области (до 25 Гц), что объясняется небольшими скоростями движения при эксплуатации.

Полученные показатели плавности хода в различных условиях эксплуатации при скоростях движения от 7,2 до 10,8 км/ч находятся в пределах обеспечивающих комфортность работы оператора и соответствуют требованиям СанПиН №11-08-94.

При оптимизации параметров подвески в качестве выходного процесса исследовалась величина вертикальной динамической реакции мостов машины R_Y ($K_{дин}$), а также значения коэффициента динамичности $K_{дин}$. В задачу определения оптимальных параметров представлялась входило следующее: расчет оптимальных жесткостей $c_{п}^y$ и $c_{ш}^y$, коэффициентов неупругого сопротивления $k_{ш}^y$, $k_{п}^y$ и продольной базы L_6 при условии минимизации целевой функции и соблюдении условий ограничения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования в производственных условиях Республики Беларусь погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354 доказали эффективность ее применения при проведении сплошных и несплошных рубок главного пользования. При сплошных рубках, среднем объеме хлыста $0,2 \dots 0,39 \text{ м}^3$ и расстоянии подвозки $400 \dots 600 \text{ м}$, по сравнению с машинами МЛ-74А и FMG-610 ее использование дает снижение энергоемкости процесса транспортировки древесины на $15 \dots 40\%$ [10, 11, 13, 16].

Применение машины МЛПТ-354 в сравнении с наиболее распространенными в Беларуси лесными тракторами на рубках главного пользования позволяет снизить себестоимость заготовки древесины на $8 \dots 12\%$. При этом удельные эксплуатационные затраты составляют $1,1 \dots 1,3 \text{ у.е./м}^3$, что в $1,5 \dots 2$ раза меньше, чем для машин МЛ-74А и FMG-610 [16].

Значения средних и максимальных давлений колесного движителя МЛПТ-354 на почву в $1,4 \dots 1,8$ раза меньше чем у зарубежных аналогов и удовлетворяют предъявляемым экологическим требованиям по воздействию на лесную среду [20, 21, 23].

2. Разработанные математические модели процесса движения погрузочно-транспортной машины с колесными формулами 4К4 и 6К6 позволяют обосновать параметры и произвести оценку динамических показателей исследуемого объекта.

Разработанные математические модели обладают достаточной точностью. Величина статистики D^2 сравниваемых параметров составляла $9,27 \dots 14,12$ при значении области принятия гипотезы χ_{α}^2 равно $22,3$, что указывает на удовлетворительную сходимость результатов расчетных и экспериментальных данных [1, 3, 19].

3. В наиболее типичных для Беларуси условиях эксплуатации значения показателей вертикальной динамики и нагруженности трансмиссии погрузочно-транспортной машины находятся в допустимых пределах [2, 26]. На переходных режимах движения коэффициент динамичности находился в пределах: при трогании с места $K_d = 2,3 \dots 2,9$, при переезде пороговой неровности – $3,2 \dots 3,7$. При установившихся режимах коэффициент динамичности составил $K_d = 1,5 \dots 2,4$.

4. Анализ нагруженности трансмиссии МЛПТ-354 показал, что значения крутящих моментов на передней полуоси превышали развиваемые моменты на задней полуоси на $40 \dots 80\%$, при всех режимах движения. При отключении привода заднего моста нагруженность передней полуоси возрастает в $1,5 \dots 2$ раза. Наибольшие значения крутящих моментов возникают при переезде пороговой неровности и составляют $10 \dots 20 \text{ кН}\cdot\text{м}$ [4].

Показатели плавности хода и виброн нагруженности шасси и элементов технологического оборудования в различных условиях эксплуатации находятся в допустимых пределах и обеспечивают комфортность работы оператора в соответствии с требованиями СанПиН №11-08-94 [1, 14].

Анализ энергоемкости рабочих процессов, а также нагрузочных режимов трансмиссии и загрузки двигателя в различных условиях эксплуатации доказал целесообразность установки двигателя повышенной мощности $N_e=77$ кВт.

5. В результате проведенных исследований сформулированы следующие рекомендации, направленные на повышение эффективности работы и снижения динамической нагруженности машины типа 4К4: машину целесообразно использовать на рубках главного пользования в насаждениях со средним объемом хлыста до $0,5 \text{ м}^3$; длина транспортируемых круглых лесоматериалов – $2...6$ м; грузовой момент гидроманипулятора не менее $40 \text{ кН}\cdot\text{м}$; максимальный вылет стрелы не менее 9 м; объем платформы не менее 6 м^3 ; расстояние подвозки сортиментов до 1000 м; при эксплуатации в условиях со слабой несущей способностью грунтов использование шин с наружным диаметром $1,8$ м и шириной профиля не менее $1,1$ м; радиальная жесткость шин $500...600 \text{ кН}/\text{м}$, коэффициент неупругого сопротивления $45...55 \text{ кН}\cdot\text{с}/\text{м}$; жесткость демпфирующих элементов грузовой платформы $1700...1750 \text{ кН}/\text{м}$, коэффициент неупругого сопротивления $65...70 \text{ кН}\cdot\text{с}/\text{м}$; крутильная жесткость шин $640...700 \text{ кН}/\text{м}$, коэффициент неупругого сопротивления $60...75 \text{ кН}\cdot\text{с}/\text{м}$; продольная база погрузочно-транспортной машины $L_6=4,2...4,5$ м; рекомендуемые эксплуатационные скорости движения на пасечном волокне до $7,2 \text{ км}/\text{ч}$, на магистральном волокне (лесной дороге) оптимально допустимая скорость до $10,8 \text{ км}/\text{ч}$.

6. Реализация приведенных рекомендаций позволяет повысить производительность погрузочно-транспортной машины на $18,2...22,3\%$, а также снизить себестоимость подвозки сортиментов $5...7\%$, величину удельных давлений движителей на почву на $21,2...24,5\%$, динамическую нагруженность мостов машины на $23...25\%$ и крутящих моментов в трансмиссии на $12...15\%$.

Проведенные исследования указывают на перспективность создания на базе исследуемого шарнирно-сочлененного шасси – лесной погрузочно-транспортной машины с колесной формулой 6К6 [27].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Жуков А.В., Гороновский А.Р., Лукерчик Л.М., Клоков Д.В. Оценка плавности хода транспортно-погрузочных колесных лесных машин // Известия ВУЗов. Лесной журнал.-1993.-№5-6.- С. 57-62.
2. Мохов С.П., Клоков Д.В. Оценка динамической нагруженности трансмиссии и работы буксования муфты сцепления лесозаготовительной колесной машины // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - 1994. - Вып. II. - С.27-31.
3. Асмоловский М.К., Клоков Д.В. Моделирование процесса движения лесных машин с различными типами привода ведущих органов // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность.-1995.- Вып. III.-С.25-30.
4. Клоков Д.В. Экспериментальная оценка динамической нагруженности сортиментовоза // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - 1995.-Вып. III.- С.31-34.
5. Бобровский С.Э., Клоков Д.В., Жорин А.В. Обоснование параметров мобильного энергетического средства и семейства лесных машин на базе тракторов МТЗ // Лес-95: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции./БГТУ.-Минск, 1995.- С. 41.
6. Асмоловский М.К., Клоков Д.В. Методика оценки эксплуатационной эффективности колесной транспортно- погрузочной лесозаготовительной машины // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 1996.- Вып. IV.- С.20-27.
7. Жуков А.В., Гороновский А.Р., Клоков Д.В., Бычек А.Н. Моделирование процесса движения лесных машин на базе мобильного энергетического средства // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин: Тез. докл. науч. конф. / БАТУ.-Минск, 1996.-С. 82
8. Жуков А.В., Клоков Д.В. Моделирование процесса взаимодействия лесной колесной транспортно-погрузочной машины с начкой сортиментов и волоком // Машиноведение –96: Материалы Международной научно-технической конференции/ ГПИ. -Гомель, 1996.- С.135-136.
9. Жорин А.В., Клоков Д.В. Энергоемкость процесса вывозки древесины с использованием транспортно- погрузочной машины // Лес-96: Тезисы докладов МНПК / БГТУ.- Минск., 1996.- С. 44.
10. Клоков Д.В. Эксплуатационно–технологические испытания погрузочно–транспортной машины МЛПТ-354 // Труды БГТУ. Лесная и д/о промышленность.-1997.- Вып. V.- С. 37-42.

11. Коробкин В.А., Жуков А.В., Андрушиц М.И., Роголюк Л.А., Гороновский А.Р., Клоков Д.В. Погрузочно-транспортная машина (форвардер) легкого типа // Лесная промышленность.- 1997.- № 3.- С. 17-18.

12. Федоренчик А.С., Жорин А.В., Клоков Д.В. Сравнительная оценка работы лесных машин по показателям энергоёмкости // Труды БГТУ. Лесная и д/о промышленность.-1997.- Вып. V.- С. 20-26.

13. Жуков А.В., Клоков Д.В. Опыт эксплуатации погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354 // Лесная наука на рубеже XXI века: Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси. Вып.46. Гомель, 1997.- С.319-322.

14. Жуков А.В., Гороновский А.Р., Клоков Д.В. Сравнительная оценка плавности хода колесных транспортно- погрузочных машин с различными типами ходовой части // Теория, проектирование и методы расчета лесных и деревообрабатывающих машин: Тез. докл. Всероссийской научно-техн. конф. / - М., 1997. – С. 42.

15. Жуков А.В., Асмоловский М.К., Клоков Д.В. Колесный сортиментовоз МЛПТ-354 // Лес-97: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции/БГТУ.- Минск, 1997.- С. 23.

16. Жуков А.В., Клоков Д.В. Применение погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354 на лесозаготовках // Современные технологии в АПК. Тезисы докладов МНПК / БАТУ.- Минск, 1997.- С.35-36.

17. Жуков А.В., Клоков Д.В. Создание отечественных погрузочно-транспортных машин (форвардеров) на базе тракторов МТЗ // Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе. Тезисы докладов МНПК / БГТУ.- Минск., 1997.- С.245-247.

18. Жуков А.В., Клоков Д.В. Исследование динамики лесной погрузочно-транспортной машины // Технические ВУЗы – Республике. Материалы МНПК / БГПА.- Минск., 1997.- С.99.

19. Высоцкий М.С., Жуков А.В., Коробкин В.А., Клоков Д.В. Имитационная модель движения лесной колесной транспортно-погрузочной машины // Весці НАН Беларусі. Серыя фізыка-тэхнічных навук. Мн., 1998, №1.- С.25-31.

20. Жуков А.В., Федоренчик А.С., Клоков Д.В. Воздействие движителей лесных колесных машин на почву и показатели их проходимости // Труды БГТУ. Лесная и д/о промышленность.-1998.- Вып. VII.- С. 11-17.

21. Асмоловский М.К., Бычск А.Н., Клоков Д.В. Оценка показателей проходимости лесных машин // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 1998. - Вып. VI. – С. 49-54.

22. Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н. Моделирование рабочих процессов лесных машин с учетом реальных эксплуатационных условий //

Материалы Международной 53-ей научно-технической конференции. / БГПА. – Минск, 1999. – ч.1. – С. 70.

23. Жуков А.В., Федоренчик А.С., Клоков Д.В., Кучинский С.А. Воздействие транспортных систем на лесные почвогрунты // Современные направления развития производственных технологий и робототехника. Материалы МНТК / ММИ.- Могилев, 1999. – С. 266.

24. Клоков Д.В., Лой В.Н., Жуков А.В. Обоснование параметров тандемной тележки погрузочно-транспортной машины "Беларус" // Лесна-наука-молодежь: Материалы Международной научной конференции молодых ученых / Институт леса НАН Беларуси. – Гомель, 1999. – т.2. – С. 127-129.

25. Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н., Бычек А.Н. Моделирование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с лесными почвогрунтами // Современные проблемы агротехнической проходимости и экологии сельскохозяйственных ландшафтов: Материалы международной научно-технической конференции / БАТУ. – Минск, 1999. – С. 38-41.

26. Жуков А.В., Асмоловский М.К., Клоков Д.В. Результаты исследовательских испытаний по нагруженности трансмиссии сортиментовоза на базе трактора МТЗ-82В // Известия ВУЗов. Лесной журнал.-2000.- №2.- С. 73-78.

27. 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.- Часть 4.- С. 148.

РЭЗІЮМЭ

Клокаў Дзмітрый Віктаравіч

Абгрунтаванне параметраў і ацэнка дынамічных паказчыкаў лясной колавай пагрузачна-транспартнай машыны

Пагрузачна-транспартная машына, тэхналогія лесанарыхтовак, эканамічная эфектыўнасць, дынаміка, матэматычная мадэль

Аб'ектам даследавання з'яўлялася лясная колавая пагрузачна-транспартная машына. Пры тэарэтычных даследаваннях разглядалася комплексная дынамічная сістэма "рухавік-трансмiсія-рухачы-паверхня руху-прадмет працы" і яе асноўныя падсістэмы, якія адэкватна адлюстроўваюць канструктыўныя асаблівасці машыны.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўлялася павелічэнне эфектыўнасці лесанарыхтоўчага працэсу і памяншэнне адмоўнага ўздзеяння на лясное асяроддзе шляхам абгрунтавання параметраў і стварэння лясной пагрузачна-транспартнай машыны.

Тэарытычныя і эксперыментальныя даследаванні базаваліся на выкарыстанні метадаў сістэмнага аналізу, тэорыі выпадковых працэсаў, статыстычнай дынамікі і аптымальнага канструявання.

Упершыню распрацаваны новыя матэматычныя мадэлі працэсу руху пагрузачна-транспартнай машыны з колавымі формуламі 4К4 і 6К6, якія апісваюць вертыкальныя, падоўжна-вуглавыя хістанні машыны, з комплексным улікам уздзеяння няроўнасці апорнай паверхні руху, рухавіка як крыніцы зададзенай магутнасці, сувязей каркаса машыны з пачкай сартыментаў і рухачом. Атрыманы новыя даныя па данамічнай напружанасці, энэргаёмкасці рабочага працэсу і іншых эксплуатацыйна-тэхналагічных паказчыкам пагрузачна-транспартнай машыны.

Выкарыстанне прапануемай пагрузачна-транспартнай машыны ва ўмовах лесагаспадарчых і лесанарыхтоўчых прадпрыемстваў Рэспублікі Беларусь павялічвае прадукцыйнасць і эфектыўнасць першаснай транспарціроўкі на сучэльных і выбарачных высечках.

РЕЗЮМЕ

Клоков Дмитрий Викторович

Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины

Погрузочно-транспортная машина, технология лесозаготовок, экономическая эффективность, динамика, математическая модель

Объектом исследований являлась лесная колесная погрузочно-транспортная машина. При теоретических исследованиях рассматривалась комплексная динамическая система "двигатель - трансмиссия - движители - поверхность движения - предмет труда" и ее основные подсистемы, адекватно отражающие конструктивные особенности машины.

Целью диссертационной работы являлось повышение эффективности лесозаготовительного процесса и снижения отрицательного воздействия на лесную среду путем обоснования параметров и создания лесной погрузочно-транспортной машины.

Теоретические и экспериментальные исследования базировались на применении методов системного анализа, теории случайных процессов, статистической динамики, теоретической механики и оптимального конструирования.

Впервые разработаны новые математические модели процесса движения погрузочно-транспортной машины с колесными формулами 4К4 и 6К6, описывающие вертикальные, продольно-угловые колебания машины, с комплексным учетом воздействия неровностей опорной поверхности движения, двигателя как источника заданной мощности, связей остова машины с пачкой сортиментов и движителем. Получены новые данные по динамической нагруженности, энергоемкости рабочего процесса и другим эксплуатационно-технологическим показателям погрузочно-транспортной машины.

Использование предлагаемой погрузочно-транспортной машины в условиях лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь повышает производительность и эффективность первичной транспортировки сортиментов на сплошных и выборочных рубках.

SUMMARY

Klokov Dmitry V.

The foundation of parameters and estimation of dynamic characteristics of a wheeled timber forwarder

Timber forwarder, logging technology, economic efficiency, dynamics, mathematical model.

The object of research is wheeled timber forwarder. At the analytical investigations the dynamic system "engine - transmission - propulsors - track surface - transaction subject" and its subsystems concerning design features of the machine were esteemed.

The aim of investigation is an increasing efficiency of logging processes and a decreasing negative effects on wood medium by the foundation of parameters of logging forwarder and its creation.

The theoretical and experimental researches are based on the application of methods of the systematic analysis, theory of casual processes, statistical dynamics, theoretical mechanics and optimum designing.

The new mathematical models of process motion with the wheel formulas 4K4 and 6K6, depicting vertical, longitudinal - angular oscillation of the machine, were developed for the first time. At the same time they took into effect of irregularities the motion area, the power of an engine and the communications within a machine frame, propulsors and transaction subjects. The new data on the forwarder's dynamic and power indexes and its technological parameters are obtained.

The spheres of application the results of the researches are forestry and logging enterprises of the Belarusian Republic. It increases the productivity and the efficiency of timber transportation operations on the selective and the main timber cuttings.



Клоков Дмитрий Викторович

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНОЙ КОЛЕСНОЙ ПОГРУЗОЧНО-
ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Подписано в печать 23.11.2001. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

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

Тираж 75 экз. Заказ № 462.

Учреждение образования

"Белорусский государственный технологический университет".
Лицензия ЛВ №276 от 15.04.98. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского государственного
технологического университета. 220050, Минск, Свердлова, 13.