

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.С.М.КИРОВА

На правах рукописи

СИМАНОВИЧ Василий Антонович

УДК 630*377.4

ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМОМ ТРЕЛЕВКИ И ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ КЛАССА
ЭО кн С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ

Специальность 05.21.01 – технология и механизация
лесного хозяйства и лесозаготовок

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1985

Работа выполнена на кафедре тяговых машин Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор А.В.ЖУКОВ

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Я.В.ГУСЬКОВ

кандидат технических наук,
доцент А.П.МАТВЕЙКО

Ведущее предприятие - Радомышльский машиностроительный завод им.Октябрьской революции

Защита диссертации состоится 15 января 1985 г. в "14"⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К 056.01.01 Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова по адресу: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 14 декабря 1984 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат сельскохозяйственных
наук, "м" доцент

И. Э. РИХТЕР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решениями XXVI съезда КПСС намечено повысить производительность труда в лесозаготовительной промышленности за годы II-й пятилетки на 16-18%, довести комплексную выработку на одного рабочего в 1985 году до 610 м³. Прирост лесозаготовительного производства должен быть достигнут в целом без увеличения числа работающих в отрасли.

Решение вопросов механизации на трелевке связано с применением колесных тракторов. Рациональный выбор параметров тракторов и технологического оборудования обеспечивает наилучшие технико-эксплуатационные показатели на трелевке деревьев. До настоящего времени еще недостаточно изучены вопросы, касающиеся влияния конструктивных схем подвеса пачки деревьев и упруго-демпфирующих элементов в трелевочном оборудовании на тяговые и динамические свойства колесных тракторов.

В связи с этим исследование технико-эксплуатационных показателей работы колесных трелевочных тракторов с целью улучшения их тягово-сцепных свойств, повышения скоростных показателей и снижения динамической нагруженности узлов и агрегатов за счет обоснования новых предложений по приемам трелевки и параметрам технологического оборудования является задачей актуальной, имеющей практическое значение.

Цель исследований состояла в улучшении тягово-сцепных свойств, повышении скоростных показателей и снижении динамической нагруженности узлов и агрегатов колесного трелевочного трактора, обосновании приемов трелевки и выборе рациональных параметров системы за счет применения новой конструктивной схемы технологического оборудования с разрезным канатом и упругими элементами в узлах.

Объект исследований. Объектом исследований являлся колесный трелевочный трактор ЛТ-57 с серийным и усовершенствованным технологическим оборудованием.

Методика исследований. Изучение технико-эксплуатационных показателей колесного трелевочного трактора проводилось на основании хронометражных наблюдений и данных моделирования процесса взаимодействия исследуемой системы с неровностями водоемов. При экспериментальных исследованиях применялась высоко-точная измерительная аппаратура и датчики. Оценка точности

разработанной расчетной модели осуществлялась сравнением расчетных и экспериментальных данных по дисперсии процессов и эквивалентности опектральной плотности. Исследования выполнялись с использованием детерминистических методов анализа, методов статистической динамики. Моделирование динамических процессов и обработка данных эксперимента производились с использованием ЭВМ "Мир-2" и "ЕС-1022". Для дешифровки экспериментальных записей применялись аналогово-цифровые приборы.

Научная новизна. Диссертационную работу следует рассматривать как частную задачу по изучению эксплуатационных свойств колесных трелевочных тракторов. Для трелевочного трактора ЛТ-157 разработана взаимосвязанная математическая модель процесса движения, позволяющая рассматривать колебания трактора и элементов технологического оборудования с учетом двигателя, как источника заданной ограниченной мощности, колебаний трансмиссии, конструкции подвеса пачки деревьев и наличия упругих элементов в трелевочном оборудовании, оценить влияние динамической нагруженности трансмиссии и технологического оборудования на тяговые и технико-эксплуатационные показатели работы. Выявлены качественные и количественные соотношения параметров системы и динамических показателей трактора. Установлены рациональные значения транспортируемой пачки деревьев, параметров подрессоривания элементов технологического оборудования, определены статистические характеристики наиболее типичных для условий БССР магистральных и пасечных волоксов, диапазоны собственных частот колебаний системы, значения показателей жесткости и коэффициентов затухания колебаний деревьев при различных конструкциях подвеса.

Практическая ценность работы заключается в разработке методики расчета динамической нагруженности колесного трелевочного трактора и технологического оборудования при различных конструктивных схемах подвеса пачки деревьев и введении упругих элементов в трелевочное оборудование. При использовании результатов работы повышается производительность колесных тракторов на трелевке (подвозке) деревьев, снижается себестоимость продукции, сокращаются сроки проектирования и доводочных работ вновь создаваемых колесных трелевочных тракторов.

Личное участие. Работа выполнялась под руководством доктора технических наук, профессора А.В. Житкова. Расчетные исследова-

дования были полнены в лаборатории теории и расчета автомобилей НАМИ, возглавляемой доктором технических наук В.М. Семеновым. Экспериментальные исследования проводились на территории Червенского ЛПХ, ПЛО "Молодечнолес" и Негорельского учебного лесхоза БТИ им.С.М.Кирова. Автор являлся основным исполнителем и принимал непосредственное участие во всех видах работ. Обработка материала, написание текста диссертации выполнены автором.

Реализация результатов работы. Результаты исследований реализованы на лесозаготовительных предприятиях лесной промышленности БССР. В ПЛО "Молодечнолес" и Червенском ЛПХ изготовлены и работают колесные тракторы ЛТ-157 с разрезной конструкцией каната и подрессоренным шитом. Методика расчета нагруженности колесного трелевочного трактора используется при проектировании нового трелевочного оборудования на Радомысльском машиностроительном заводе.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях в БТИ им.С.М.Кирова по итогам работ за 1980-1983 гг., научно-технической конференции в АЛТИ, посвященной 60-летию образования СССР (апрель 1982), научно-технической конференции в Ивано-Франковске (июнь 1982), научно-технической конференции в БИМСХ (декабрь 1983).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 20 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов. Она изложена на 266 страницах машинописного текста, содержит 36 таблиц, 76 рисунков, 142 наименований литературных источников и приложения.

На защиту выносятся: 1) конструкция технологического оборудования с тягово-несущим разрезным канатом, упругим звеном в силовом элементе и трелевочном шите, как устройство, комплексно обеспечивающее повышение тягово-сцепных свойств, скоростных показателей трелевки, а также снижение динамической нагруженности системы; 2) расчетная модель взаимосвязанной динамической системы "двигатель-трансмиссия-двигатель-технологическое оборудование-пачка деревьев-волок"; 3) общее решение задачи по оценке тягово-сцепных свойств и динамичес-

кой нагруженности колесного трелевочного трактора на установившихся и неустановившихся режимах движения с учетом характеристики двигателя как источника заданной ограниченной мощности; колебаний трансмиссии, конструкции подвеса и наличия упругих элементов в трелевочном оборудовании; 4) количественные и качественные соотношения параметров системы и динамических показателей колесного трелевочного трактора при различных условиях движения и конструктивных схемах подвеса пачки деревьев; 5) данные по частотным показателям динамической системы "колесный трелевочный трактор-пачка деревьев" и статистические характеристики типичных для условий БССР магистральных и пасечных волоков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены особенности конструкций колесных трелевочных тракторов и технологического оборудования отечественного производства и зарубежных фирм. Оценка конструктивного совершенства колесных тракторов выражена соотношениями между параметрами трелевочного оборудования и тягача. На основании анализа конструкций трелевочных тракторов и их возможного применения в лесных условиях проведен анализ технологических схем разработки лесосек. С учетом особенностей лесозаготовок и наличия техники обоснованы схемы разработок лесосек для условий БССР.

Проведен обзор работ по исследованию динамической нагруженности транспортных средств общего назначения, нашедших свое отражение в работах В.Я.Аниловича, В.Л.Афанасьева, И.Б.Барского, Н.Ф.Бочарова, В.С.Васильева, В.В.Гузькова, Г.М.Кутыкова, Е.Д.Львова, Н.Л.Островерхова, О.К.Прутчикова, Р.В.Ротенберга, В.М.Семенова, А.А.Силаева, В.А.Скотникова, Г.А.Смирнова, Б.С.Фалькевича, А.К.Фрумкина, А.А.Хачатурова, И.С.Цитовича, Е.А.Чудакова, В.С.Щуплякова, Н.Н.Яценко и др.

Динамическая нагруженность лесотранспортных средств, вопросы их производственной эксплуатации с учетом особенностей конструкции, условий работы и плавности хода нашли отражение в работах Г.М.Янисимова, В.И.Варавы, Б.Г.Гастева, Е.Н.Галицкого, А.М.Гольдберга, В.А.Горбачевского, Ю.А.Добрынина, С.Г.Лендаева, А.В.Лукова, М.И.Зайчика, Л.А.Калякина, С.Г.Костогрыза, И.П.Ковтуна, И.И.Леоновича, В.И.Мельникова, В.П.Немцова, Э.С.Николяка, С.Ф.Орлова, Б.Г.Перетятко, В.Б.Прохорова,

Л. А. Рогалька, Ю. Е. Рыскина, В. М. Семенова, Ю. Д. Силукова, А. А. Фаденкова, Л. М. Эмайкина и др.

Анализ литературных источников показал, что к настоящему времени еще недостаточно изучены вопросы, касающиеся влияния конструктивных схем подвеса пачки деревьев и упругих элементов в трелевочном оборудовании на тягово-сцепные свойства колесных тракторов, технико-эксплуатационные показатели и их динамическую нагруженность.

В связи с этим были поставлены следующие задачи исследований: проанализировать условия работы и технико-эксплуатационные показатели колесных трелевочных тракторов при использовании их на лесосечных работах в условиях БССР. В производственных условиях провести сравнительную оценку технико-эксплуатационных показателей тракторов ЛТ-157 с серийным и разработанным технологическим оборудованием; разработать взаимосвязанную математическую модель движения колесного трелевочного трактора класса 30 кН, позволяющую исследовать нагруженность узлов и агрегатов тягача и трелевочного оборудования; провести измерения микропрофиля типичных для условий БССР магистральных и пасечных волоков и получить их статистические характеристики; разработать новые конструктивные схемы подвеса деревьев и провести анализ влияния конструктивных параметров подвеса на частоты собственных колебаний; исследовать динамическую нагруженность трансмиссии трактора и технологического оборудования на неустановившихся и установившихся режимах движения при различных конструкциях подвеса пачки деревьев; теоретически и экспериментально обосновать и выбрать наиболее рациональные параметры упругих элементов в канате и трелевочном щите; разработать практические рекомендации по повышению тягово-сцепных свойств, скоростных показателей, снижению уровня динамической нагруженности колесных трелевочных тракторов класса тяги 30 кН.

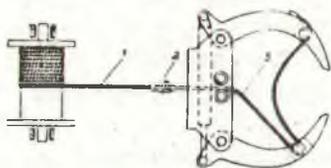
Вторая глава посвящена исследованию приемов работы и оценке влияния упругих элементов в щите и канате на технико-эксплуатационные показатели колесных трелевочных тракторов ЛТ-157. Применяемые технологические схемы разработки лесосек рассчитаны на использование колесных тракторов с тросо-чокерным оборудованием. Опыт использования колесных тракторов в Червенском ЛПХ и ПЛО "Молодечнолес" в БССР показывает, что применение трелевочных тракторов с бесчокерным оборудованием ре-

шает вопросы механизации процесса трелевки, отпадает необходимость в строительстве временных дорог в лесу.

Технико-эксплуатационные показатели и тяговые свойства трелевочных тракторов определялись с учетом проходимости и совершенства применяемого технологического оборудования. Для типичных условий БССР была проведена оценка проходимости по условиям буксования при движении и на основании этого выбран оптимальный объем пачки деревьев, который составил $4,6 \text{ м}^3$.

Исходя из особенностей технологии разработки лесосек и приемов работы, при использовании трелевочного трактора ЛТ-157 на грунтах с низкой несущей способностью была предложена конструкция технологического оборудования, позволяющая уменьшить в 2-3 раза затраты времени на преодоление труднопроходимых участков. Разработанная конструкция исключает работу водителя по распаковке, а затем последующей запуске каната в челюсти. Обвязка пачки при преодолении участков с низкой несущей способностью грунтов производилась канатом лебедки I, который завершался крюковым соединением 3 (рис. I).

Схема трелевочного оборудования
(по а.с. №856410) для трактора
ЛТ-157



I - канат лебедки трактора; 2 - крюк каната лебедки; 3 - отрезок каната, запасованный в челюстях захвата

Рис. I

№694408. Конструкция щита содержала подвижную подрессоренную часть, площадь которой была равна площади зева захвата в закрытом положении. Это позволяло снизить металлоемкость усовершенствованного оборудования и уменьшить продольные ударные динамические нагрузки при взаимодействии с пачкой деревьев.

Экспериментальная проверка разработанного нами оборудования показала, что математическое ожидание времени преодоления участков с низкой несущей способностью для серийного оборудования составляет 25-27 мин, для усовершенствованного -

При проведении экспериментальных работ между канатом лебедки I и отрезком каната 2, запасованным в челюстях, вводился упругий элемент с жесткостью $C_k = 5,2 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$. Упругие элементы вводились также в конструкцию трелевочного щита ($C_{щ} = 6,8 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$), который был видоизменен по а.с.

8-11 мин. При определении скорости движения в груженом состоянии, коэффициента использования трактора и производительности в расчетах учитывались затраты времени на преодоление труднопроходимых участков.

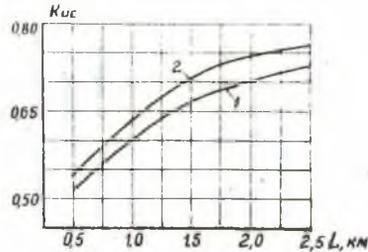
Из рис. 2 видно, что коэффициент использования трактора с увеличением расстояния трелевки (подвозки) деревьев возрастает, причем для усовершенствованного оборудования (кривая 2) значение коэффициента выше.

Применение разработанной нами конструкции технологического оборудования, по данным хронометражных наблюдений, повысило скорость передвижения груженого трактора на 12-18% за счет снижения общей динамической нагрузки и уменьшения времени на преодоление труднопроходимых участков местности.

Из рис. 3 видно, что с увеличением расстояния трелевки оменная производительность ($\Pi_{\text{см}}$) уменьшается, а приведенные затраты (C) возрастают.

При $L = 2,0$ км приведенные затраты для серийного трактора на 16% выше, чем у трактора с новой конструкцией оборудования. По характеру изменения кривых 1, 2 ($\Pi_{\text{см}}$) и кривых 3, 4 (C) можно рекомендовать оптимальное расстояние трелевки деревьев (зона между точками пересечения полученных зависимостей), которое составляет 1,2-1,7 км. Наибольшая экономическая эффективность работы колесных трелевочных тракторов достигается при расстояниях трелевки больших 1,5 км (кривая 5).

Зависимость коэффициента использования трактора от расстояния трелевки



1 — с серийным оборудованием;
2 — с усовершенствованным оборудованием

Рис. 2

Зависимости оменной производительности, приведенных затрат и экономической эффективности трактора ЛТ-157 от расстояния трелевки

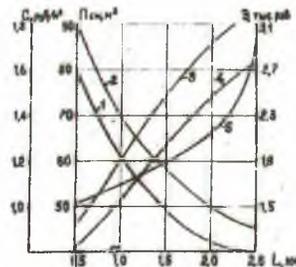


Рис. 3

Третья глава посвящена разработке математической модели процесса движения колесного трелевочного трактора.

На рис. 4 представлена расчетная схема, отражающая движение колесного трелевочного трактора с пачкой деревьев, учитывающая характеристику двигателя, динамику включения сцепления, крутильные колебания трансмиссии, продольно-угловые колебания трактора на шинах, параметры технологического оборудования, пачки деревьев, упругих элементов в канате и щите.

Расчетная схема трелевочного трактора ЛТ-157
с пачкой деревьев

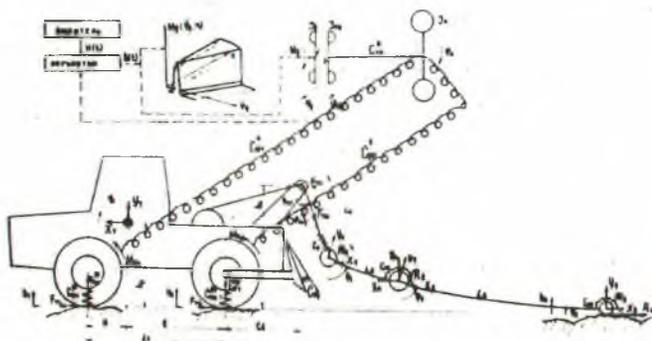


Рис. 4

В отличие от известных, разработанная модель комплексно учитывает характеристику двигателя, трансмиссии, компоновочных параметров трактора и параметры упруго-демпфирующих связей колесного движителя, технологического оборудования и пачки деревьев. При использовании разработанной модели могут решаться задачи эффективной работы колесного трелевочного трактора при комплексном учете таких эксплуатационных свойств, как плавность хода, динамическая нагруженность, проходимость, топливная экономичность.

Уравнения, описывающие движение колесного трелевочного трактора, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} J_g \ddot{\varphi}_g &= Mg[\dot{\varphi}_g, H(t)] - M_{сц}(\dot{\varphi}_g, \dot{\varphi}_{сц}, t); \\ J_{сц} \ddot{\varphi}_{сц} + C_{тп}^n (\varphi_{сц} - \varphi_k) + B_{тп}^n (\dot{\varphi}_{сц} - \dot{\varphi}_k) &= M_{сц}(\dot{\varphi}_g, \dot{\varphi}_{сц}, t); \\ J_k \ddot{\varphi}_k - C_{тп}^n (\varphi_{сц} - \varphi_k) - B_{тп}^n (\dot{\varphi}_{сц} - \dot{\varphi}_k) + C_{ш1}^n (\varphi_k - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP} + \beta_{w1}^K (\dot{\varphi}_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP}) + \\
 & + C_{w2}^K (\varphi_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) + \beta_{w2}^K (\dot{\varphi}_K - \\
 & - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) = -M_{TP}^0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_T \cdot \ddot{\varphi}_T - C_{w1}^{y1} \cdot \alpha (h_1 - y_T - \alpha \cdot \varphi_T) - \beta_{w1}^{y1} \cdot \alpha (h_1 - \dot{y}_T - \alpha \cdot \dot{\varphi}_T) + C_{w2}^{y2} \cdot \beta \cdot \\
 \cdot (h_2 - y_T + \beta \cdot \varphi_T) + \beta_{w2}^{y2} \cdot \beta (h_2 - \dot{y}_T + \beta \cdot \dot{\varphi}_T) - C_{w1}^K (\varphi_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \\
 \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \frac{(h_4 - z_{K1})}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP} - \beta_{w1}^K (\dot{\varphi}_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \\
 \cdot \frac{(h_4 - z_{K1})}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP} - C_{w2}^K (\varphi_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \\
 \cdot \frac{(h_4 - z_{K2})}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP} - \beta_{w2}^K (\dot{\varphi}_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \\
 \cdot \frac{(h_4 - z_{K2})}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP} + F_{TPy} (\beta + C_\beta) + F_{TPx} (h_K - h_4) = 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \cdot \ddot{X}_T - C_{w1}^K (\varphi_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \frac{\dot{L}_{TP}}{z_{K1}} - \\
 - \beta_{w1}^K (\dot{\varphi}_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K1}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K1}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \frac{\dot{L}_{TP}}{z_{K1}} - C_{w2}^K (\varphi_K - \\
 - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \frac{\dot{L}_{TP}}{z_{K2}} - \beta_{w2}^K (\dot{\varphi}_K - \frac{[\dot{X}_T + (h_4 - z_{K2}) \cdot \dot{\varphi}_T]}{z_{K2}} \cdot \dot{L}_{TP}) \cdot \\
 \cdot \frac{\dot{L}_{TP}}{z_{K2}} + F_{TPx} + F_{f_{w1}} + F_{f_{w2}} = 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \cdot \ddot{y}_T - C_{w1}^{y1} (h_1 - y_T - \alpha \cdot \varphi_T) - \beta_{w1}^{y1} (h_1 - \dot{y}_T - \alpha \cdot \dot{\varphi}_T) - \\
 - C_{w2}^{y2} (h_2 - y_T + \beta \cdot \varphi_T) - \beta_{w2}^{y2} (h_2 - \dot{y}_T + \beta \cdot \dot{\varphi}_T) + F_{TPy} = 0;
 \end{aligned}$$

$$m_n \cdot \ddot{y}_n - F_{TP} \cdot \cos \varphi_{TP} + 2mg/3 = 0;$$

$$m_n \cdot \ddot{x}_n - F_{TP} \cdot \sin \varphi_{TP} + P_{cn} = 0;$$

$$\begin{aligned}
 J_n \cdot \ddot{\varphi}_2 + F_{TP} \cdot L_2 \cdot \sin (\varphi_1 - \varphi_{TP}) - P_{cn} \cdot L_3 \cdot \sin \varphi_3 - \\
 - 2m_n \cdot g \cdot L_3 \cdot \cos \varphi_3 / 3 = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TP} = C_y \cdot \sqrt{[\dot{X}_T - (\beta + C_\beta) \cdot \varphi_T - (x_n + L_2 \cdot \cos \varphi_3)]^2 + [(y_T - \\
 - (h_K - h_4) \cdot \varphi_T - (y_n + L_2 \cdot \sin \varphi_3)]^2} + \frac{K \cdot \dot{\varphi}_{TP}}{m_1 \cdot L_1^2}
 \end{aligned}$$

где J_T – момент инерции колесного трелевочного трактора относительно поперечной оси, проходящей через центр масс; J_D – момент инерции вращающихся частей двигателя; $J_{сц}$ – момент инерции муфты сцепления в сборе; J_K – суммарный момент инерции колес, приведенный к двигателю; J_n – суммарный момент инерции пачки деревьев; M – масса трактора; m_1, m_2, m_3 – дискретные массы пачки деревьев; $C_{т}^n$ – суммарная крутильная жесткость трансмиссии, приведенная к двигателю; $C_{н1}^n, C_{н2}^n$ – крутильные жесткости шин соответственно переднего и заднего мостов; $C_{ш1}^v, C_{ш2}^v$ – вертикальная жесткость шин соответственно переднего и заднего мостов трактора; C_{x2} – поперечная жесткость пачки деревьев; $C_{ц}, C_{ч}$ – жесткости соответственно упругих элементов в шите трактора и канате; $i_{тг}$ – общее передаточное число трансмиссии; $r_{к1}, r_{к2}$ – радиусы качения передних и задних колес; L_T – база колесного трелевочного трактора; h_c, a, b – координаты центра тяжести трактора; h_k, C_b – координаты выноса ролика арки относительно задней оси трактора; L_1 – длина подвеса пачки деревьев; φ_i – угловые обобщенные координаты соответствующих моментов инерции расчетной схемы; χ_i – вертикальные обобщенные координаты соответствующих масс; h_i – высота неровностей микропрофиля волокна под передними, задними колесами и вершиной пачки деревьев.

Система дифференциальных уравнений, описывающая движение колесного трелевочного трактора, решалась методом Рунге-Кутты четвертого порядка на ЕС-1022 по алгоритм-программе, написанной на языке Фортран-IV в отделе расчетно-теоретических исследования НАМИ с участием автора.

Закон формирования упругих сил и моментов в системе "двигатель-трансмиссия-колесный движитель-технологическое оборудование-пачка деревьев" при движении трактора со стороны магистрального и пасечного волоков задавался координатами точек с постоянным шагом по пути. Установлено, что среднеквадратичные значения высот неровностей (σ_x) для магистральных волоков находятся в пределах 2,0–6,8 см, для пасечных – 4,0–12,6 см. Корреляционные функции участков магистральных и пасечных волоков аппроксимировались выражением:

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1 |\tau|} \cos \beta_1 \tau + A_2 e^{-\alpha_2 |\tau|} \cos \beta_2 \tau$$

при широком диапазоне изменения коэффициентов $A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ и β_2 . Полученные данные по микропрофилю магистральных и пасечных волоков использовались при проведении расчетных ис-

следований динамической нагруженности трактора и технологического оборудования. При анализе нагруженности трактора и трелевочного оборудования были получены основные характеристики случайного процесса: математическое ожидание M_x , дисперсия D_x , среднее квадратическое отклонение σ_x , спектральная плотность $S_x(\omega)$. Оценка динамической нагруженности проводилась по дисперсии и спектральной плотности процесса.

На первом этапе исследований был проведен анализ частот собственных колебаний трактора и пачки деревьев в зависимости от параметров двигателя, координат расположения центра масс трактора, конструкции подвеса деревьев. Анализ полученных данных позволил оценить влияние основных параметров трансмиссии, колесного двигателя, компоновочных параметров трактора, технологического оборудования и подвеса пачки деревьев на частоты собственных колебаний колесной трелевочной системы.

Из рис. 5 видно, что частота собственных вертикальных колебаний трактора при увеличении жесткости шин на 20% увеличивается на 7%, а частота собственных колебаний трансмиссии — на 11%.

Анализ влияния упругих элементов в подвесе пачки на собственные частоты вертикальных колебаний деревьев показал, что при введении упругого элемента в подвес с коэффициентом жесткости $C_k = 5,2 \cdot 10^2$ кН/м частоты вертикальных колебаний уменьшаются на 20–35% по сравнению с частотами деревьев на жестком подвесе.

Оценка точности разработанной модели проведена по значениям спектральной плотности и дисперсии динамической нагруженности трактора и технологического оборудования.

Четвертая глава посвящена теоретическим исследованиям процесса динамического нагружения колесного трактора и техно-

Зависимость частот собственных колебаний трансмиссии и вертикальных колебаний трактора на У передаче в КПП от вертикальной жесткости шин

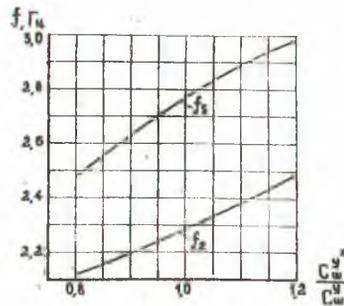


Рис. 5

логического оборудования при различных конструктивных схемах подвеса пачки деревьев при резком трогании и установившемся движении на магистральном и пасечном волокнах.

Расчетными исследованиями было установлено, что динамическая нагруженность трактора и технологического оборудования при резком трогании определяется начальной частотой вращения коленчатого вала, временем включения муфты сцепления, конструкцией подвеса пачки деревьев. При введении упругих элементов в канат ($C_k = 5,2 \cdot 10^2$ кН/м) и трелевочный щит ($C_{щ} = 6,8 \cdot 10^2$ кН/м) максимальные значения крутящих моментов в трансмиссии и на полуосях трактора уменьшаются на 15–25%, динамическая нагруженность технологического оборудования при этом уменьшается на 20–30%. Введение упругих элементов в канат и щит видоизменяет характер переходных процессов. Максимумы крутящих моментов на полуосях и тяговых усилий в канате имеют сдвиг, что указывает на улучшение динамики процесса трогания.

Как видно из табл. I, статистические показатели нагруженности трансмиссии трактора и технологического оборудования на пасечном волокне выше, чем на магистральном.

Таблица I

Статистические показатели нагруженности трансмиссии трактора и технологического оборудования при различных конструктивных схемах подвеса пачки деревьев

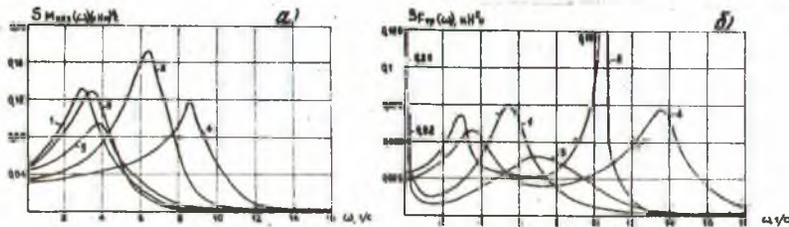
($Q = 5,2 \text{ м}^3$)

Вариант технологического оборудования	Обозначения показателей и размерность	Статистические показатели					
		магистральный волок			пасечный волок		
		$B_k = 4,3 \text{ см}$	$B_k = 9,6 \text{ см}$				
		Мкрп	Мкрз	Фтр	Мкрп	Мкрз	Фтр
Серийное оборудование трактора ЛТ-157	$v = 9,7 \text{ км/ч}$ $M_k, \text{ кНм, кН}$ $Q_k, (\text{кНм})^2, \text{кН}^2$	0,634	0,832	16,31	0,678	0,934	17,21
Оборудование с упругими элементами в канате и щите $C_k = 5,2 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$ $C_{щ} = 6,8 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$	$v = 9,7 \text{ км/ч}$ $M_k, \text{ кНм, кН}$ $Q_k, (\text{кНм})^2, \text{кН}^2$	0,576	0,762	15,06	0,624	0,821	15,19

Значения дисперсии тягового усилия в канате для серийного оборудования на магистральном волокне выше на 20, а на пасечном — на 4%. Статистические показатели динамической нагруженности полуосей у серийного трактора на 15–25% выше, чем

у трактора с усовершенствованным трелевочным оборудованием. Введение упругих элементов в канат и щит с указанной жесткостью способствует уменьшению динамической нагруженности трансмиссии и технологического оборудования. Так, динамическая нагруженность трансмиссии при движении на магистральном волокне снижается на 15-20%, пасечном - на 25-35%, а уровень нагруженности технологического оборудования уменьшается на 20-30%.

Спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях (а) и тяговых усилий в канате (б) на пасечном волокне с серийным (1,2) и усовершенствованным (3-5) оборудованием



$$2, 4 - C_k = 5,2 \cdot 10^2 \text{ кН/м}; \quad 5 - C_k = 8,9 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$$

Рис. 6

Из рис. 6а видно, что более нагружены задние полуоси серийного трактора. Максимумы спектральных плотностей крутящих моментов на задних полуосях проявляются при $\omega = 2,9$ и $6,4$ 1/с соответственно для скоростей 6,8 и 9,7 км/ч. Введение упругого элемента в канат с жесткостью $C_k = 5,2 \cdot 10^2$ кН/м приводит к уменьшению динамической нагруженности полуосей. Максимальные значения спектральной плотности уменьшаются на 30-40% и проявляются для этих скоростей при более высоких частотах $\omega = 3,9$ и $8,5$ 1/с. Как видно из того же рисунка, увеличение жесткости упругого элемента в канате не приводит к уменьшению спектральной плотности. Аналогичные исследования были проведены для технологического оборудования с упругим элементом жесткостью $C_k = 11,2 \cdot 10^2$ кН/м. Как и в предыдущем случае, абсолютные значения спектральной плотности исследуемых параметров не отличались от ее значений для серийного трактора.

Из рис. 6б видно, что для двух вариантов технологического оборудования (серийного и усовершенствованного) максимумы

спектральных плотностей тягового усилия в канате проявляются при $\omega = 0,24$ и $0,35$ 1/с соответственно у трактора с серийным и усовершенствованным оборудованием. Первый максимум для серийного трактора выше на 25%. Второй максимум для указанной скорости у серийного трактора достигает значения $0,075 \text{ кН}^2/\text{с}$ при $\omega = 5,4$ 1/с. При усовершенствованном оборудовании второй максимум проявляется при $\omega = 7,2$ 1/с и равен $0,038 \text{ кН}^2/\text{с}$. Увеличение скорости движения (кривые 2,4) приводит к смещению максимумов в зону более высоких частот, причем частоты их проявления большие при усовершенствованном оборудовании.

В пятой главе изложена методика экспериментальных исследований колесного трелевочного трактора. Приведены результаты лабораторных работ по определению компоновочных параметров трактора и технологического оборудования, определены параметры жесткости и коэффициенты затухания колебаний деревьев на подвесах различной конструкции, дана оценка динамической нагруженности трактора и технологического оборудования на переходных и установившихся режимах движения.

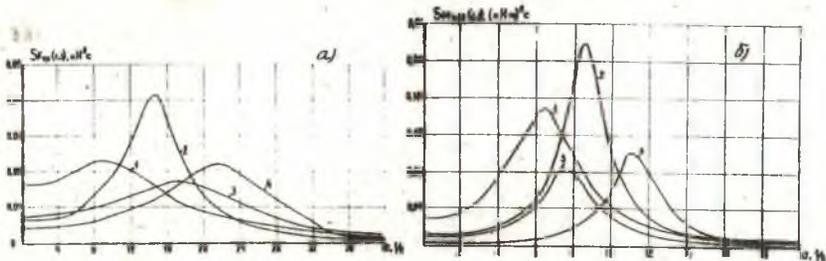
Испытания колесного трактора ЛТ-157 проводились на магистральных и пачечных волоках с полной нагрузкой при резком трогании с места и установившемся движении. В процессе эксперимента производилась запись крутящих моментов на полуосях, тягового усилия в канате, перемещений подрессоренной части щита, угловых отклонений каната, давления в нагнетательной магистрали гидроцилиндра подъема поворотной стрелы, вертикальных ускорений на сиденье тракториста, числа оборотов двигателя, пройденного пути. Исследуемые процессы записывались на осциллограф К-20-2Г.

Приведены результаты определения жесткости деревьев. Установлено, что жесткость отдельных деревьев при увеличении нагружающей силой до $1,60 \text{ кН}$ имеет линейную зависимость. Значения жесткости большие при меньшей высоте подъема комлевой части. При увеличении высоты подвеса от $0,9$ до $1,4 \text{ м}$ и значениях нагружающей силы до $1,2 \text{ кН}$ жесткости деревьев изменяются незначительно. При дальнейшем возрастании нагрузки до $2,0 \text{ кН}$ в указанном диапазоне изменения высоты подвеса, различия в жесткости увеличиваются и составляют 5-11%. Жесткость пачки на 10-14% выше жесткости отдельных деревьев. Коэффициент затухания вертикальных колебаний дерева на упругом подвесе на 13-26% выше, чем жестком. Время затухания колебаний в центре

тяжести дерева составляет 8-II с на жесткой опоре и 6-8 с на упругом подвесе.

Экспериментальные исследования динамической нагруженности трактора и технологического оборудования при резком трогании с места показали, что серийный трактор и его технологическое оборудование более нагружены. Введение упругих элементов в канат и шит с указанными выше коэффициентами жесткости снижает нагруженность трансмиссии и технологического оборудования на 20-35%.

Спектральные плотности тяговых усилий в канате и крутящих моментов на задних полуосях соответственно на магистральном и пасечном волоках при серийном (1, 2) и усовершенствованном (3, 4) оборудовании



1, 3 - $v = 9,7$; 2, 4 - $v = 17,7$ км/ч 1, 3 - $v = 9,7$; 2, 4 - $v = 17,2$ км/ч

Рис. 7

Из рис. 7а видно, что абсолютные величины спектральных плотностей тягового усилия у серийного трактора выше, а максимальные значения при усовершенствованном оборудовании проявляются при более высоких частотах. При скорости движения 17,7 км/ч максимумы $S_{F_{tr}}(\omega)$ лежат в диапазоне частот 12-18 и 19-25 1/с у серийного трактора и трактора с усовершенствованным оборудованием и достигают соответственно значений 0,042 и 0,022 кН²/с. Спектральные плотности крутящих моментов для задних полуосей (рис. 7б) на пасечном волоке у серийного трактора наибольшие при частотах $\omega = 6,4$ и 8,5 1/с. Максимумы спектральных плотностей у оборудования с упругими элементами проявляются при $\omega = 7,6$ и 10,4 1/с. При $v = 9,7$ км/ч макси-

малое значение спектральной плотности крутящих моментов на задних полуосях у серийного трактора составляет 0,149, а у трактора с усовершенствованным оборудованием 0,081 (кНм)²с. Дисперсия процесса для указанных величин при $v = 9,7$ км/ч у серийного трактора выше на 15-20%.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Повышение скоростных показателей и производительности работы, а также снижение динамической нагруженности и улучшение тягово-сцепных свойств и проходимости колесных трелевочных тракторов могут быть достигнуты при использовании разработанных приемов трелевки, базирующихся на применении новой схемы запасовки каната разрезной конструкции и введении в применяемое технологическое оборудование конструктивных изменений, заключающихся в подрессоривании его составных элементов, параметры которого для трактора ЛТ-157 обоснованы в диссертации.

2. Использование трелевочного трактора ЛТ-157 наиболее целесообразно при разработке лесосек по одной из схем: валка и пакетирование деревьев при помощи валочно-пакетирующих машин ЛП-19, трелевка трактором ЛТ-157; валка бензиномоторной пилой, сбор пачек трактором ТДТ-55 (ТБ-1), трелевка (подвозка) трактором ЛТ-157. Оптимальный объем пачки при этом составляет 4,6 м³. При этих условиях трактор ЛТ-157 может использоваться на двухступенчатой вывозке древесины. Рациональное расстояние трелевки от лесосеки до верхнего склада 5-10 км.

3. Применение разрезной конструкции тягового каната с упругим элементом и устройством подрессоривания трелевочного щита снижает динамическую нагруженность трактора и технологического оборудования и приводит к увеличению скорости передвижения груженого трактора на 12-18%. Применение упругих элементов в технологическом оборудовании наиболее эффективно при выполнении операций по набору пачки деревьев, разгрузке с опусканием поворотной стрелы и в режимах неустановившегося движения. При введении упругих элементов в канат ($C_k = 5,2 \cdot 10^2$ кН/м) и в трелевочный щит ($C_{щ} = 6,8 \cdot 10^2$ кН/м) коэффициент динамичности нагрузок на полуосях снижается на 25-35% на магистральном ($B_k = 2,0-6,8$ см) и на пасечном ($B_k = 4,0-12,6$ см) волоках в зависимости от передачи. Нагружен-

ность технологического оборудования при этом снижается на 20-35%.

4. Разработанная конструкция технологического оборудования позволяет упростить приемы работы тракториста, в 2-3 раза уменьшить время, затрачиваемое на преодоление труднопроходимых участков местности. Производительность трелевочного трактора с усовершенствованным технологическим оборудованием повышается на 10-20% в зависимости от расстояния трелевки.

5. Разработанная расчетная схема и математическая модель взаимосвязанной системы "колесный трелевочный трактор-технологическое оборудование-пачка деревьев-волок" предусматривает расчленение трактора и оборудования на подсистемы и с учетом характеристик двигателя, трансмиссии, компоновочных параметров трактора и параметров упруго-демпфирующих связей в колесном двигателе, технологическом оборудовании и пачке деревьев, позволяет с высокой точностью моделировать процесс установившегося и неустановившегося движения тракторного агрегата и на этой основе выбирать параметры базовой машины и технологического оборудования при заданных условиях движения. Одновременно могут решаться задачи эффективной работы колесного трелевочного трактора при комплексном учете таких эксплуатационных свойств, как плавность хода, динамическая нагруженность, проходимость, топливная экономичность.

6. Установлено, что частоты собственных колебаний системы изменяются в широких пределах (1,5-19 Гц) и зависят от основных параметров трактора, технологического оборудования и пачки деревьев. Наибольшее влияние на изменение частот оказывают параметры шин, трансмиссии, координаты центра масс трактора, параметры узлов подвесивания технологического оборудования. Так, при жесткости шин на 20% большей, чем жесткость серийных шин, частоты продольно-угловых колебаний трактора возрастают на 5, вертикальных - на 7, а собственные частоты крутильных колебаний трансмиссии - на 11%. Установлено, что собственные частоты вертикальных колебаний трактора в малой степени зависят от расположения центра масс.

7. Исследования показали, что частотные характеристики деревьев зависят от конструкции и параметров подвеса. Собственная частота вертикальных колебаний отдельных деревьев на упругом подвесе на 20-35% ниже частоты при жестком подвесе.

При увеличении жесткости подвеса пачки собственные частоты колебаний возрастают. Коэффициент затухания колебаний на упругом подвесе на 13-26% выше, чем жестком.

8. При трогании с места максимальные значения крутящих моментов на передних полуосях трактора уменьшаются на 0,20-0,58 а задних - на 0,15-0,45 кНм при введении упругих элементов в шит и канат, что позволяет уменьшить динамическую нагрузку на 15-25%. Максимальные значения тягового усилия в канате уменьшаются при этом на 3,2-4,8 кН, или на 20-35% по сравнению с серийным трактором.

9. При установившихся режимах движения нагруженность трансмиссии и технологического оборудования серийного трактора выше, чем трактора, содержащего упругие элементы в конструкции оборудования. Так, при $v = 9,7$ км/ч максимальное значение спектральной плотности крутящих моментов на задних полуосях у серийного трактора составляет 0,149, а у трактора с усовершенствованным оборудованием 0,081 (кНм)²/с, что на 80% выше. Максимумы спектральных плотностей при усовершенствованном оборудовании смещены в зону более высоких частот ($\omega = 7,6$ и 10,4 1/с). Статистическая оценка динамической нагрузки позволяет рекомендовать следующий рабочий диапазон скоростей: на магистральном - 8-10, на пасечном волокне - 6-7 км/ч.

10. Внедрение колесных трелевочных тракторов с усовершенствованным технологическим оборудованием дает годовой экономический эффект от применения одного трактора от 1,5 до 3 тыс. руб. в зависимости от расстояния трелевки деревьев.

Основное содержание диссертации изложено в следующих опубликованных работах:

1. А.с. 538923 (СССР). Приспособление для полуподвесной трелевки леса/ А.В.Жуков, В.А.Симанович и др. - Оpubл.в Б.И., 1976, № 46.

2. А.с. 694408 (СССР). Приспособление для полуподвесной трелевки леса/ А.В.Жуков, В.А.Симанович и др. - Оpubл.в Б.И., 1979, № 40.

3. Жуков А.В., Рыскин Ю.Е., Симанович В.А. и др. Экспериментальные исследования плавности хода колесного трелевочного трактора. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Мн., 1979, вып. 9. - с. 124-130.

4. Жуков А.В., Рудницкий П.Ф., Симанович В.А. и др. Оценка влияния системы подрессоривания технологического оборудования на динамику колесного трелевочного трактора. - Известия ВУЗов. Лесной журнал, 1980, № 6. - с. 32-36.

5. А.с. 751794 (СССР). Машина для бесчokerной трелевки деревьев в полуподвешенном состоянии / А.В.Жуков, В.А.Симанович и др. - Опубл. в Б.И., 1980, № 28.

6. Жуков А.В., Рудницкий П.Ф., Симанович В.А. Экспериментальная оценка влияния подвески осей и технологического оборудования колесного трелевочного трактора на его плавность хода. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. М., 1981, вып. II. - с. 87-93.

7. Жуков А.В., Симанович В.А. Колесные трелевочные тракторы в условиях БССР. - М.: ВНИИПИЭлеспром, 1981, № 8. - с. 9-10.

8. А.с. 856410 (СССР). Машина для бесчokerной трелевки деревьев в полуподвешенном состоянии / А.В.Жуков, В.А.Симанович и др. - Опубл. в Б.И., 1981, № 31.

9. Тихонов А.Ф., Гермацкий А.В., Симанович В.А. и др. Исследование эксплуатационных показателей колесных трелевочных тракторов ЛТ-157 в условиях БССР. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Мн., 1982, вып. 12. - с. 94-98.

10. А.с. 908734 (СССР). Машина для бесчokerной трелевки деревьев в полуподвешенном состоянии / В.А.Симанович, А.В.Жуков и др. - Опубл. в Б.И., 1982, № 8.

11. А.с. 948713 (СССР). Машина для бесчokerной трелевки деревьев в полуподвешенном состоянии / В.А.Симанович, А.В.Жуков и др. - Опубл. в Б.И., 1982, № 29.

12. А.с. 983028 (СССР). Устройство для трелевки деревьев / В.А.Симанович, А.В.Жуков и др. - Опубл. в Б.И., 1982, № 7.

13. Жуков А.В., Симанович В.А. Исследование динамической нагруженности силовой передачи трактора ЛТ-157 на режимах трогания. - В сб.: Технический прогресс и комплексное использование местных ресурсов древесного сырья на предприятиях Минлеопрома УССР. Тезисы докладов научно-технич. конференции. Ивано-Франковск, 1982. - с. 77-78.

14. Симанович В.А. Исследование динамической нагруженности трансмиссии трактора ЛТ-157. - В сб.: Актуальные проблемы

развития лесопромышленного комплекса и организации строительства. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной XIX съезду ВЛКСМ и 60-летию образования СССР. Архангельск, 1982. - с. 75-76.

15. Жуков А.В., Симанович В.А. Оценка влияния конструкции трелевочного оборудования трактора ЛТ-157 на нагруженность его трансмиссии при неустановившихся режимах движения. - Известия ВУЗов. Лесной журнал, 1983, № 4. - с. 45-50.

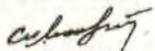
16. Семенов В.М., Симанович В.А. Оценка нагруженности элементов технологического оборудования трактора ЛТ-157 на неустановившихся режимах движения. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Мн., 1983, вып. 13. - с. 112-114.

17. А.с. 1036676 (СССР). Навесное оборудование для бесчочерной трелевки леса / А.В.Жуков, В.А.Симанович и др. - Оpubл. в Б.И., 1983, № 1.

18. А.с. 1039761 (СССР). Устройство для захвата пачки деревьев / В.А.Симанович, А.В.Жуков и др. - Оpubл. в Б.И., 1983, № 33.

19. Жуков А.В., Симанович В.А., Рудницкий П.Ф. Оценка показателей динамического взаимодействия колесного трактора с неровностями волока. - В сб.: Взаимодействие ходовых систем с почво-грунтами. Тезисы докладов научно-методической конференции. Минск, 1983, - с. 84-86.

20. Симанович В.А. Исследование свободных колебаний деревьев при различных конструкциях подвеса. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Мн., 1984, вып. 14. - с. 99-102.


Василий Антонович Симанович

Обоснование приемов трелевки и параметров технологического оборудования колесных тракторов класса 30 кн с целью повышения их тягово-сцепных свойств

Подписано в печать 12.12.84 АП18976 . Формат 60x84^I/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,17. Усл.кр.-отт. 1,17.

Уч.-изд.л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 56. Бесплатно.
Отпечатано на роталпринте Белорусского ордена Трудового
Красного Знамени технологического института им. С.М. Кирова.
220630, Минск, Свердлова, 13.