

634.0.3
К-96

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БССР

Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

УДК 634.0.377.4-115

На правах рукописи

В. Ф. Кушляев

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ
ПРОЦЕССА РАБОТЫ
ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН
С ГИДРОМАНИПУЛЯТОРОМ**

05. 420 — Машины, механизмы и технология лесоразработок,
лесозаготовок и лесного хозяйства

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1972

634.0.3

К-93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БССР

Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

УДК 634.0.377.4-115

На правах рукописи

В. Ф. Кушляев

2775 ap.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ
ВОПРОСОВ ПРОЦЕССА РАБОТЫ
ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ
МАШИН С ГИДРОМАНИПУЛЯТОРОМ

05. 420 — Машины, механизмы и технология лесоразработок,
лесозаготовок и лесного хозяйства

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ
имени С. М. КИРОВА

Минск, 1972

Работа выполнена в лаборатории машинной валки и пакетирования древесины Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) и в отделе лесозаготовки Латвийского научно-исследовательского института лесохозяйственных проблем (ЛатНИИЛХП).

Научный руководитель — кандидат технических наук В. Л. Божак.

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор И. М. Зима.

кандидат технических наук, доцент А. П. Матвейко.

Ведущее предприятие — Солнечногорский опытно-показательный лесокombинат.

Автореферат разослан « 18 » мая . . . 1972 г.

Защита диссертации состоится « » . . . 1972 г. на заседании совета Белорусского технологического института им. С. М. Кирова, г. Минск, Свердлова, 13-а, 4-й корпус, аудитория 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять в двух экземплярах в адрес Совета.

Ученый секретарь Совета кандидат технических наук, доцент И. М. Плехов.

ВВЕДЕНИЕ

В Директивах XXIV съезда КПСС отмечено, что производительность труда в лесной промышленности за 1971—1975 гг. должна увеличиться на 35%. Указанный рост производительности может быть осуществлен за счет применения систем машин, обеспечивающих полную механизацию труда.

Валка деревьев и формирование срезанных деревьев в пачку являются одними из наиболее трудоемких операций лесосечных работ.

Образцы отечественных и зарубежных валочно-пакетирующих машин (ВПМ) с гидроманипулятором, оснащенные захватно-срезающим устройством, позволяют полностью механизировать валку и сбор деревьев в пачку. При этом производительность на этих операциях возрастает в 2—3 раза. ВПМ с гидроманипулятором исключают ручной труд на сплошных рубках и открывают возможности для механизации рубок ухода, выборочных и постепенных рубок.

На сплошных рубках применение ВПМ с гидроманипулятором позволяет сохранять подрост и исключает необходимость очистки лесосек. При проведении выборочных рубок сводятся к минимуму повреждения оставляемых деревьев, а сеть технологических коридоров, создаваемая при рубках ухода, может быть использована при внесении удобрений, борьбе с вредителями, проведении противопожарных мероприятий и т. п.

Для разработки ВПМ с гидроманипулятором, при определении ее принципиальной компоновки, расчете рабочих органов и автоматической системы управления необходимы исходные данные о процессе работы машины, дереве как механической системе и взаимодействии ВПМ с деревом.

В диссертационной работе освещено состояние вопроса и поставлены задачи исследования; проведены теоретические исследования дерева как механической системы, кинематики и динамики движения дерева; выполнены экспериментальные исследования цикла работы машин «Дятел-1» и ЛП-2, дерева

как механической системы и кинематики и динамики движения дерева; определена эффективность применения ВПМ с гидроманипулятором «Дятел-1» и ЛП-2.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашей стране разработкой ВПМ с манипулятором впервые начали заниматься в Центральном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) в 1954 году. В 1966 году в Латвийском научно-исследовательском лесохозяйственных проблем (ЛатНИИЛХП) была создана ВПМ для рубок ухода «Дятел-1». В 1968 году по технической документации ЦНИИМЭ был изготовлен опытный образец валочно-пакетирующей машины ЛП-2 для сплошных рубок, а с 1970 г. на заводе «Торфмаш» Минстройдормаша СССР началось ее серийное производство.

За рубежом в последние годы появилось большое количество ВПМ с гидроманипулятором, позволяющих механизировать валку и пакетирование деревьев, а в отдельных случаях и трелевку (Дротт, Клиппер, Оса, Лог-Олл и др.).

Изучению эксплуатационных показателей дерева, как предмета труда, вопросам повала дерева и взаимодействия лесозаготовительной машины с деревом, посвятили работы докт. техн. наук С. Ф. Орлов, Б. А. Таубер, М. И. Зайчик, докт. с.-х. наук И. М. Зима, канд. техн. наук А. А. Дебердеев, А. П. Полищук, В. Л. Божак, Г. И. Старков, Ю. Г. Артамонов, С. А. Помогаев, В. С. Кочегаров, В. П. Коломинов, Г. П. Дроздовский, Л. Г. Федяев, Ю. Г. Савицкий, Л. В. Коротяев, Н. И. Баранов, инженеры Б. А. Вахнеев, В. С. Курило, В. П. Ермольев, В. В. Федин, П. Б. Закревский, Б. С. Лоцицкий и др.

За рубежом исследование эксплуатационных показателей дерева проводили К. Рогалински, З. Миллер (Польская Народная Республика), исследованием цикла работы ВПМ с гидроманипулятором занимались А. Алмквист, С. Сьонессен (Швеция), Р. М. Ньюнем (Канада).

Изучение применения ВПМ с гидроманипулятором по материалам отечественной и зарубежной литературы позволяет сделать следующие выводы:

1) исследования цикла работы отечественных ВПМ с гидроманипулятором проводились в основном с целью расчета производительности образцов машин;

2) исследования эксплуатационных показателей деревьев проводились преимущественно для деревьев в возрасте спелости;

3) уравнения повала дерева в основном описывают процесс свободного падения дерева, при этом дерево принимается

как неупругое тело и не всегда учитываются сопротивления воздушной среды и крон растущих деревьев;

4) существующие методики и измерительная аппаратура не позволяют комплексно с достаточной точностью исследовать процесс взаимодействия ВПМ с деревом.

Для проектирования ВПМ с гидроманипулятором, в первую очередь, необходимы данные о цикле работы машины, эксплуатационных показателях дерева и процессе взаимодействия машины с деревом.

Решение поставленных вопросов позволит наряду с улучшением эксплуатационных показателей машин сократить сроки их создания, а также создаст предпосылки для проектирования ВПМ на основе комплексного исследования процесса рубки деревьев с применением методов физического и математического моделирования.

Для дальнейшего совершенствования ВПМ с гидроманипулятором в настоящей работе ставятся следующие задачи.

1. Теоретически исследовать процесс взаимодействия ВПМ с деревом.

2. Разработать методику, стенды и измерительную аппаратуру для исследования динамики движения дерева.

3. Экспериментально исследовать эксплуатационные показатели деревьев в возрасте 15—30 лет, и установить зависимости между ними.

4. Провести экспериментальные исследования кинематики и динамики движения дерева в плоскости.

5. Экспериментально исследовать циклы работы машин «Дятел-1» и ЛП-2.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика дерева как механической системы

В процессе работы ВПМ с гидроманипулятором дерево находится в полностью управляемом движении и при этом может двигаться с большими ускорениями. Это предъявляет определенные требования к изучению параметров дерева как механической системы.

Для описания дерева как механической системы делаем допущение, что дерево состоит из пяти материальных точек. В качестве материальных точек принимаем центры инерции системы, в которых сосредоточена масса всей системы или отдельных ее частей. Такими точками в дереве являются центры масс кроны, ствола, корневой части, надземной части и всего растущего дерева. На рис. 1 представлена расчетная схема дерева.

При этом также учитываем геометрические параметры, распределение масс, приведенную жесткость и функцию по-

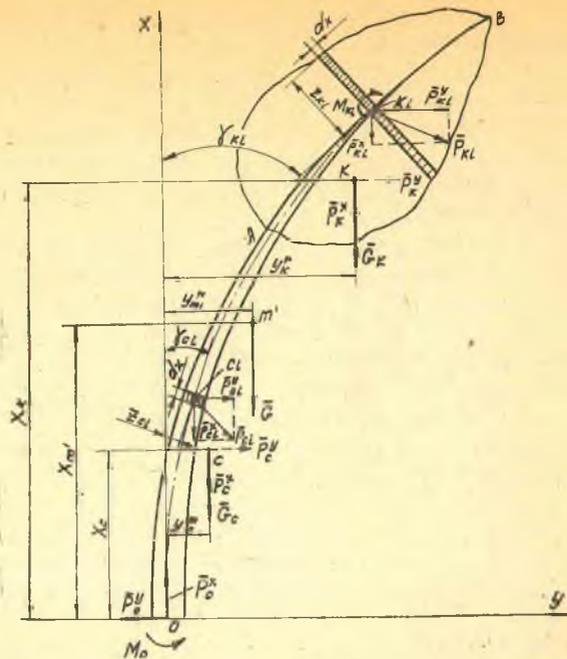


Рис. 1. Расчетная схема дерева как механической системы.

перечных колебаний реального дерева. Дерево как материальное тело принимаем идеально упругим.

Для вывода уравнений, описывающих процесс взаимодействия машины с деревом, принимаем следующие условия: дерево имеет симметричную форму; действие всех сил и изгиб дерева происходит в одной плоскости; распределение масс и значения координат по оси x остается неизменным при движении дерева; значения координат по оси y зависят от формы изгиба ствола, выражаемого функцией $f = f(x)$ и функции колебаний дерева $T = T(t)$, следовательно, $y = f(x) \cdot T(t)$, где t — время.

Модель кроны дерева состоит из дисков, ромбовидного поперечного сечения, модель ствола — конус.

Исходя из принятых допущений, получаем выражения для определения объема и массы кроны и ствола дерева, коэффициентов распределения масс и координат центров масс с учетом изгиба ствола и колебаний дерева.

Приводим ряд полученных выражений:

$$q_k = m_k \cdot \frac{z_k^2}{\int_{\lambda}^B z_k^2 dx}; \quad q_c = m_c \cdot \frac{z_c^2}{\int_0^B z_c^2 \cdot dx}; \quad (1)$$

$$x_k = \frac{\int_{\lambda}^B q_k x \cdot dx}{m_k}; \quad y_k = \frac{\int_{\lambda}^B q_k y \cdot dx}{m_k}; \quad (2)$$

$$x_c = \frac{\int_0^L q_c \cdot x \cdot dx}{m_c}; \quad y_c = \frac{\int_0^L q_c \cdot y \cdot dx}{m_c}; \quad (3)$$

$$y_k' = T \cdot \frac{\int_{\lambda}^B q_k \cdot f \cdot dx}{m_k}; \quad y_c' = T \cdot \frac{\int_0^L q_c \cdot f \cdot dx}{m_c}; \quad (4)$$

$$y_m' = T \cdot \frac{\int_{\lambda}^B q_k \cdot f \cdot dx + \int_0^L q_c \cdot f \cdot dx}{m}$$

где $q_k; q_c$ — коэффициенты распределения масс кроны и ствола вдоль продольной оси дерева;
 $m_k; m_c; m$ — массы кроны, ствола и срезанного дерева;
 $z_k; z_c$ — радиусы поперечных сечений кроны и ствола

$$z_k = z_k(x); \quad z_c = z_c(x);$$

$x_k; y_k; x_c; y_c$ — координаты центров масс кроны и ствола при статическом положении дерева;

$y_k'; y_c'; y_m'$ — координаты центров масс кроны, ствола и срезанного дерева при колебании.

Для определения формы изгиба ствола дерева от комля до центра масс кроны в статическом положении было решено дифференциальное уравнение упругой линии ствола.

Кинематика движения дерева

Для вывода уравнений кинематики движения дерева принимаем три системы координат (рис. 2):

$\xi O' \eta$ — оси отсчета неподвижны;

$x O y$ — оси отсчета поворачиваются вокруг точки O (условная точка захвата дерева) вместе с деревом;

$x' O y'$ — оси отсчета двигаются поступательно и параллельно осям системы $\xi O' \eta$.

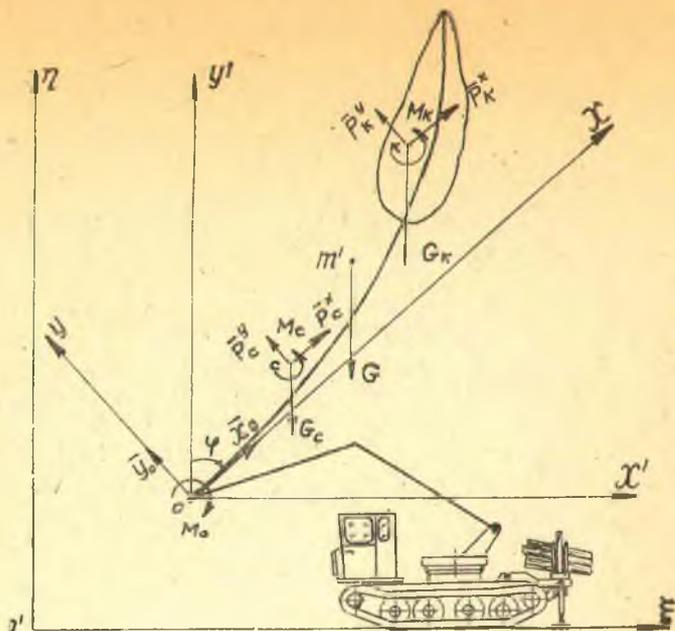


Рис. 2. Расчетная схема взаимодействия ВПМ с деревом.

В каждой системе координат для одной точки, в качестве которой может быть любая точка дерева, получены уравнения координат, скоростей и ускорений для случая, когда дерево перемещается точкой захвата по некоторой траектории в плоскости и вращается вокруг точки захвата в той же плоскости.

Уравнения скоростей в системе координат $\xi O' \eta$ имеют вид

$$\dot{\xi} = \dot{\xi}_0 + (\dot{x} + y \dot{\varphi}) \sin \varphi - (\dot{y} - x \dot{\varphi}) \cos \varphi; \quad (5)$$

$$\dot{\eta} = \dot{\eta}_0 + (\dot{y} - x \dot{\varphi}) \sin \varphi + (\dot{x} + y \dot{\varphi}) \cos \varphi,$$

где φ — угол поворота дерева.

Уравнения ускорений в этой же системе координат будут

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} = & \ddot{\xi}_0 + (y \ddot{\varphi} + 2\dot{y} \dot{\varphi} - x \dot{\varphi}^2 + \ddot{x}) \sin \varphi + \\ & + (x \ddot{\varphi} - 2\dot{x} \dot{\varphi} + y \dot{\varphi}^2 - \ddot{y}) \cos \varphi; \\ \ddot{\eta} = & \ddot{\eta}_0 - (x \ddot{\varphi} + 2\dot{x} \dot{\varphi} + y \dot{\varphi}^2 - \ddot{y}) \sin \varphi + \\ & + (y \ddot{\varphi} + 2\dot{y} \dot{\varphi} - x \dot{\varphi}^2 + \ddot{x}) \cos \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Преобразовывая уравнения (5) и (6), можно получить проекции скоростей и ускорений в любой принятой системе координат.

Уравнения взаимодействия валочно-пакетирующей машины с деревом в плоскости

При выводе уравнений принята кусочно-линейная зависимость изменения сил сопротивления воздушной среды движению кроны и ствола, а также сделано допущение, что сопротивление воздушной среды пропорционально объему кроны и площади поверхности ствола, масса воздуха пронизывает крону и обтекает поверхность ствола, элементарные объемы кроны испытывают одинаковое воздействие воздушной среды. Силы сопротивления воздушной среды движению кроны и ствола приводим в центрах масс кроны и ствола к главным векторам P_k, P_c и к главным моментам M_k, M_c . На рис. 2 приводится расчетная схема взаимодействия ВПМ с деревом в плоскости.

Учитывая сделанные допущения, взаимодействие ВПМ с деревом в плоскости может быть описано системой дифференциальных уравнений движения по принципу Даламбера.

Окончательные уравнения взаимодействия ВПМ с деревом, учитывающие общий случай движения дерева в плоскости, колебания дерева и сопротивление воздушной среды, приводятся к следующему виду:

$$X_0 = G \cdot \cos \varphi + \lambda_k v_0^x V_k + a_0^x \cdot m + \lambda_k \cdot T \cdot \ddot{\varphi} \cdot V_k \cdot f_k^* - \\ - T \cdot \ddot{\varphi} \cdot m \cdot f_m^* + 2T \cdot \dot{\varphi} \cdot m \cdot f_m^* - \varphi^2 \cdot x_m \cdot m; \quad (7)$$

$$Y_0 = G \sin \varphi + V_0^y \left(\lambda_k V_k + \lambda_k \int_0^L z_c \cdot dx \right) + a_0^y \cdot m - T \cdot \varphi^2 \cdot m \cdot f_m^* + \\ + \dot{T} \left(\lambda_k V_k \cdot f_k^* + \lambda_y \int_0^L z_c \cdot f \cdot dx \right) + \ddot{T} \cdot m \cdot f_m^* - \dot{\varphi} \left(\lambda_k \cdot V_k \cdot x_k + \right. \\ \left. + \lambda_y \int_0^L z_c x \cdot dx \right) - \ddot{\varphi} \cdot m \cdot x_m; \quad (8)$$

$$M_0 = T [G \cdot f_m^* \cdot \cos \varphi + \lambda_k v_0^x V_k \cdot f_k^* + a_0^x \cdot m \cdot f_m^*] - \\ - \dot{T} \left[\lambda_k \cdot \pi \left(\int_{\lambda}^B \frac{z_k}{4} \cdot f \cdot dx + \int_{\lambda}^B z_k^2 \cdot x \cdot f \cdot dx \right) + \lambda_y \int_0^L z_c x \cdot f \cdot dx \right] + \\ + \ddot{\varphi} \left(\int_0^L \alpha_c \cdot z_c^2 \cdot q_c \cdot dx + \int_0^L q_c \cdot x^2 \cdot dx + \int_{\lambda}^B \alpha_k z_k^2 \cdot q_k \cdot dx + \right. \\ \left. + \int_{\lambda}^B q_k \cdot x^2 \cdot dx \right) + \dot{\varphi} \left[\lambda_k \cdot \pi \left(\int_{\lambda}^B \frac{z_k^4}{4} \cdot dx + \int_{\lambda}^B z_k^2 x^2 \cdot dx \right) + \right. \\ \left. + \lambda_k \cdot \int_0^L z_c \cdot x^2 \cdot dx \right] - G \cdot x_m \cdot \sin \varphi - v_0^y \left(\lambda_k V_k \cdot f_k^* + \lambda_y \int_0^L z_c \cdot x \cdot dx \right) -$$

$$\begin{aligned}
 & - a_0^y \cdot m \cdot x_m - \ddot{T} \left(\int_0^L \alpha_c \cdot z_c^2 \cdot f' \cdot q_c \cdot dx + \int_0^L q_c \cdot x \cdot f \cdot dx + \right. \\
 & \left. + \int_A^B \alpha_k \cdot z_k^2 \cdot f' \cdot q_k \cdot dx + \int_A^B q_k \cdot x \cdot f \cdot dx \right), \quad (9)
 \end{aligned}$$

где v_0^x ; v_0^y — проекции скорости точки захвата дерева на оси x и y ;

a_0^x ; a_0^y — проекции ускорения точки захвата дерева на оси x и y ;

λ_x ; λ_y — коэффициенты сопротивления воздушной среды движению ствола по оси x и y (учитывают величину 2π , $\pi = 3,14$);

λ_k — коэффициент сопротивления воздушной среды движению кроны (учитывает величину π);

f_c^* ; f_k^* — координаты центра масс ствола и кроны с учетом изгиба ствола;

α_c ; α_k — коэффициенты распределения масс ствола и кроны относительно центральной оси.

Полученные уравнения решаются на ЭВМ с использованием стандартных программ.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование параметров дерева как механической системы необходимо для расчета ВПМ, так как эти параметры входят в уравнения взаимодействия ВПМ с деревом. Проведение исследований на примере молодых деревьев небольшого веса позволит в дальнейшем использовать физическое и математическое моделирование для изучения работы ВПМ, что значительно повысит эффективность исследований. Параметры, характеризующие молодые деревья как механические системы, необходимы также для расчета ВПМ для рубок ухода в молодняках.

Для исследования параметров дерева как механической системы было взято 650 деревьев в возрасте 15—30 лет, порода — сосна, береза и осина. У каждого дерева замерялись геометрические параметры и с помощью динамометров ДПУ-01 и ДПУ-02 определялись вес и центр тяжести.

Экспериментальное исследование взаимодействия ВПМ с деревом необходимо для того, чтобы определить, какие усилия передаются на машину от дерева при его движении, что позволит также проверить теоретические положения.

Исследование взаимодействия ВПМ с деревом осуществлялось двумя способами.

Первый способ заключается в том, что при заданном движении дерева в точке захвата измеряются составляющие силы и момента. В качестве стенда для исследования по этому способу была использована машина «Дятел-1» с приводом от автономной гидростанции. Для замера составляющих силы и момента был разработан и изготовлен 6-компонентный динамометр (авторское свидетельство № 279243). Общий вид динамометра показан на рис. 3.

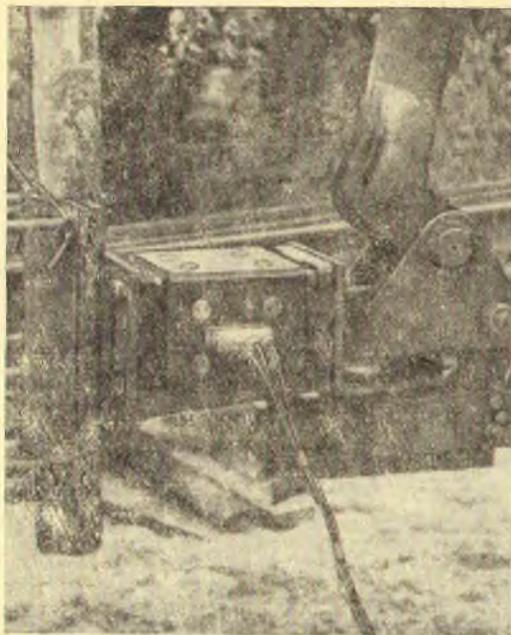


Рис. 3. Динамометр, установленный между деревом и стрелой ВПМ, для замера составляющих сил и момента.

Второй способ основывается на замере давлений в гидроцилиндре поворота захватно-срезающего устройства при движении дерева с соответствующей заданной скоростью. Исследования по второму способу проводились на машине ЛП-2. Для замеров траектории и скорости движения дерева шарнирные сочленения стрел стендовых машин «Дятел-1» и ЛП-2 оборудовались реохордовыми датчиками углов поворота. При первом способе исследований, если задать дереву прямолинейную траекторию движения и фиксированное положение, появляется возможность исследования сопротивления воздушной среды и крон растущих деревьев движению срезанного дерева. Для осуществления указанных исследований посред-

ством отмеченного способа была разработана методика и изготовлена динамометрическая тележка.

Измерительная аппаратура состояла из осциллографа Н-700, усилителей ТА-5, балансировочного моста, пульта управления и блока питания. Эксперименты проводились в лабораторных условиях и на лесосеке.

Исследование циклов работы машин «Дятел-1», ЛП-2 и кинематики движения дерева осуществлялось посредством хронометража и киносъемки аппаратом «Конвас».

Полученные в результате экспериментов результаты обрабатывались методами математической статистики. При этом определялись коэффициент корреляции, среднеквадратическое отклонение, вариационный коэффициент и показатель точности.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование параметров дерева как механической системы

В результате экспериментальных исследований параметров дерева как механической системы получены уравнения регрессии для следующих зависимостей: расстояния от плоскости среза до центра тяжести дерева h_m' , длины H_k и максимального диаметра кроны D_k от высоты дерева H , а также от двух параметров—высоты H и диаметра дерева на высоте груди $d_{1,3}$; диаметра среза $d_{ср}$ от диаметра дерева на высоте груди для пород: осина, береза и сосна. Для определения веса дерева была использована формула Коббо-Дугласа с двумя аргументами $G = Ad_{1,3}^a \cdot H^b$.

Ряд перечисленных выше зависимостей в работе дается в графическом выражении. В табл. 1 приводятся уравнения регрессии, коэффициенты корреляции r и среднеквадратичные отклонения s для расстояния от плоскости среза до центра тяжести дерева.

Таблица 1

Зависимость между расстоянием от плоскости среза до центра тяжести дерева h_m' , высотой дерева H и диаметром на высоте груди $d_{1,3}$.

Порода	Уравнения регрессии	r	s
Осина	$h_m' = 57,44 + 0,29 H$	0,90	34,91
Осина	$h_m' = 61,80 + 14,78 d_{1,3} + 0,25 H$	0,91	34,47
Береза	$h_m' = 168,29 + 24,41 d_{1,3}$	0,74	46,69
Береза	$h_m' = 85,15 + 0,26 H$	0,79	42,72
Береза	$h_m' = 89,23 + 0,16 d_{1,3} + 11,97 H$	0,83	38,84
Сосна	$h_m' = - 39,82 + 0,43 H$	0,95	29,48
Сосна	$h_m' = - 24,92 + 4,65 d_{1,3} + 0,38 H$	0,95	28,79

Как показали исследования деревьев в возрасте 15—30 лет, между параметрами, характеризующими форму дерева и распределение массы, существует зависимость с коэффициентом корреляции 0,7—0,95. Характер зависимостей между рассмотренными параметрами близок к аналогичным зависимостям для деревьев в возрасте спелости.

Между всеми параметрами были также получены средние зависимости, которые могут быть использованы в расчетах. При сравнительном анализе параметров деревьев в возрасте 15—30 лет и спелости особенно следует отметить отношение h_m' к H , одинаковое для одних и тех же пород независимо от возраста. Отношение h_m' к H является обобщенным геометрическим параметром дерева, обладает инвариантностью и может быть использовано как критерий подобия. Исходя из теории подобия и уравнений, характеризующих дерево как механическую систему, были получены равенства, обуславливающие подобие деревьев, вида

$$\frac{h_c \cdot m_c}{h_m' \cdot m} + \frac{h_k \cdot m_k}{h_m' \cdot m} = 1. \quad (10)$$

На основании анализа размерностей дерева и из динамических уравнений движения дерева были получены критерии подобия дерева как механической системы. При проведении исследований с помощью моделей могут быть использованы методы приближенного подобия. Установлено, что при исследовании статических и динамических характеристик дерева удобнее и эффективней применять комбинированную физико-математическую модель дерева как механической системы.

Исследование кинематики движения дерева

В результате исследования кинематики движения дерева машинами «Дятел-1» и ЛП-2 были изучены траектории перемещения точки захвата и центра тяжести дерева, а также установлены основные элементы движения дерева машинами типа ЛП-2 (рис. 4).

На траекторию движения дерева большое влияние оказывает необходимость сохранения подроста. Это требование определяет выбор траектории.

Исследования показали также, что траектории перемещения точки захвата и центра тяжести дерева зависят от совершенства конструкции системы управления машиной и навыков оператора. В процессе движения центр тяжести дерева может совершать колебание относительно траектории подобной траектории движения дерева.

Перемещение дерева с наклоном на стрелу является одним из технологических приемов, который позволяет брать де-

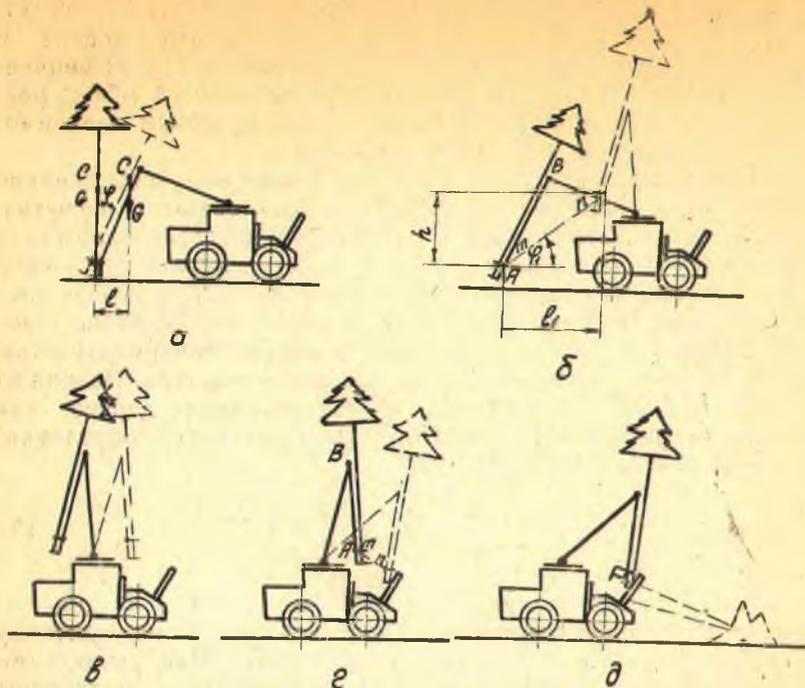


Рис. 4. Движение дерева при работе валочно-пакетирующей машины с гидроманипулятором:

а) поворот дерева на стрелу после срезания (поворот на стреле), c — центр тяжести дерева; G — вес дерева, φ — угол поворота дерева на стрелу, l_1 — расстояние перемещения центра тяжести; б) перемещение дерева от пня к машине (вывод); A — точка поворота захватного устройства, B — шарнирное соединение двух частей стрелы, $m-n$ — траектория перемещения точки поворота захватного устройства, φ_1 — угол подъема траектории, h — высота подъема дерева, l_2 — расстояние перемещения дерева в горизонтальной плоскости; в) поворот дерева в вертикальном положении вокруг вертикальной оси (вертикальное вращение); г) подвод дерева к устройству для сбора пачки (вывод); д) укладка дерева в устройство для сбора пачки (поворот на стреле).

ревья, вес которых превышает грузоподъемность стрелы, а также создает возможность увеличения скорости движения дерева и устойчивости машины. Приоритет на способ работы машины с наклоном срезанного дерева на стрелу отмечен в авторском свидетельстве № 228366.

Применение разрабатываемых в настоящее время систем управления с элементами автоматики позволит перемещать дерево в заданном режиме и положении.

Исследование динамики движения дерева в плоскости

При исследовании динамики движения дерева с помощью 6-компонентного динамометра было определено, как изменяются составляющие силы $P_{x,y,z}$ и момент M_0 в точке за-

хвата в зависимости от угла и скорости поворота дерева. Динамометр позволил получить осциллограммы перемещения точки захвата дерева по заданной траектории и вращения дерева на стреле вокруг точки захвата. На рис. 5 приводится типичная осциллограмма, полученная при повороте дерева на стреле.

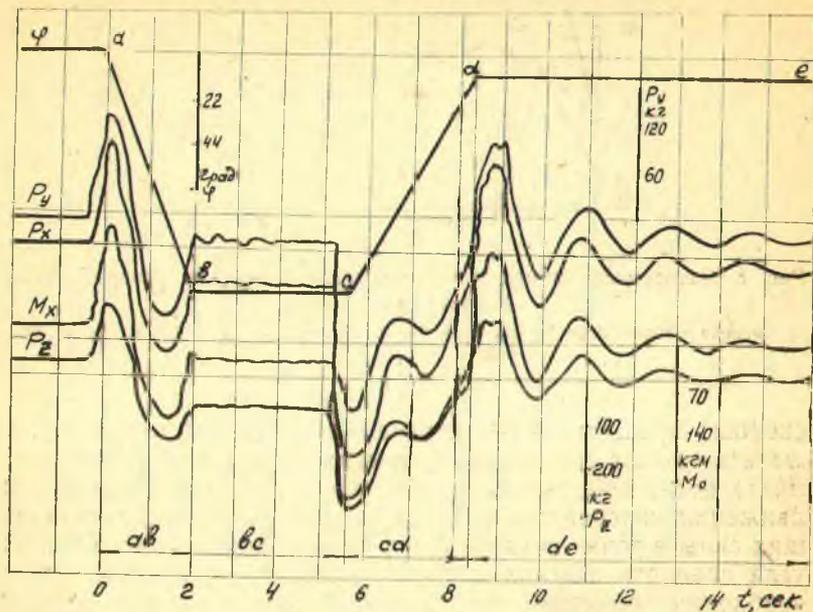


Рис. 5. Типичная осциллограмма поворота дерева на стреле:

аβ — поворот дерева из вертикального положения в горизонтальное; *вγ* — дерево в горизонтальном положении; *δэ* — поворот дерева из горизонтального положения в вертикальное; *де* — свободное колебание дерева в вертикальном положении. Характеристика дерева: порода — сосна, $d_{1,3} = 8,0$ см; $h_m' = 2,8$ м; $H = 4,4$ м; $D_k = 1,9$ м; $G = 30$ кг.

Исследования показали, что наибольшее усилие и момент в точке захвата возникают при повороте дерева вокруг точки захвата. При движении же дерева точкой захвата по некоторой прямолинейной траектории машинами «Дятел-1» и ЛП-2 указанные составляющие силы и моменты превышают не более чем на 40% вес и максимальный статический момент дерева.

Изменение момента в точке захвата от угла поворота дерева показано на рис. 6. Из графиков видно, что при свободном падении дерева момент изменяется от нуля до максимальной величины. При вращении же дерева с постоянной скоростью момент в точке захвата тем больше, чем больше

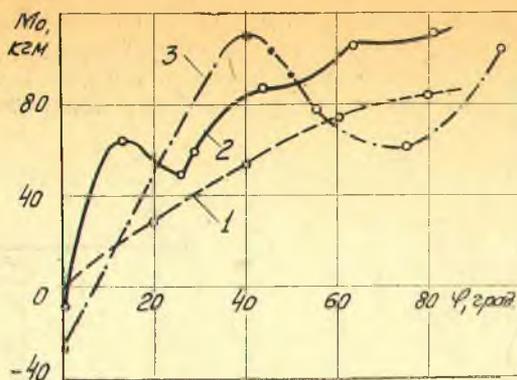


Рис. 6. Зависимость момента в точке захвата от угла поворота дерева.

Характеристика дерева:

порода — сосна, $d_{1,3} = 8,0$ см, $h_m' = 2,8$ м, $H_K = 4,4$ м, $L_K = 1,9$ м, $G = 30$ кг.

скорость вращения и вес дерева. Когда дерево начинает вращаться за счет сил инерции, момент меняет знак. График момента носит колебательный характер, так как дерево при движении колеблется. Аналогичным образом для составляющих силы в точке захвата были даны графики зависимости от угла поворота и угловой скорости дерева. В данном случае необходимо отметить, что с увеличением угловой скорости с $0,14$ 1/сек до $0,76$ 1/сек составляющие силы и момент в точке захвата превышают вес дерева и максимальный статический момент в $2,5$ — $3,0$ раза. Для построения приведенных графиков расчетным путем в поворочных расчетах на основании теоремы о движении центра масс были получены уравнения для составляющих силы и момента в точке захвата дерева. Полученные уравнения могут быть использованы для определения скорости поворота дерева и составляющих сил и момента в точке захвата с учетом вращения захватно-срезающего устройства.

При исследовании динамики вращения дерева на стреле машины ЛП-2 было выявлено изменение давления в гидроцилиндре поворота захватно-срезающего устройства. При этом была установлена угловая скорость вращения дерева в зависимости от времени поворота, а также от угла поворота (рис. 7).

Проверка сходимости теоретических и экспериментальных исследований показала, что расхождение полученных результатов составляет не более 9% .

2775ар.

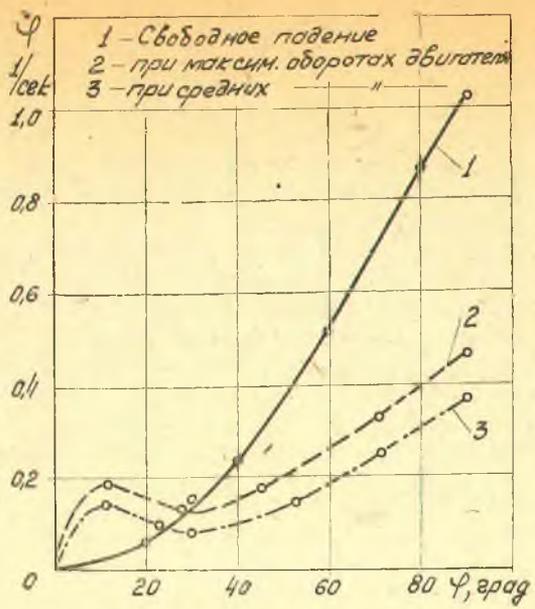


Рис. 7. Зависимость угловой скорости от угла поворота дерева в машине ЛП-2.

Характеристика дерева:
порода — ель, $d_{1,3} = 29,0$ см, $h_m' = 7,7$ м, $H_K = 14,0$ м, $D_K = 2,6$ м, $H = 23,4$ м, $G = 800$ кг.

Исследование циклов работы машин «Дятел-1» и ЛП-2

Для проведения исследований цикл работы машин в зависимости от изменения движения рабочих органов машины и дерева, а также от вида операций, совершаемых с деревом, разбивался на отдельные составляющие элементы. Затем после набора достаточного количества хронометражных наблюдений цикла была сделана попытка определить коэффициенты корреляции для зависимостей общего времени и времени элементов цикла от эксплуатационных параметров дерева и координат его местонахождения. Но в данном случае зависимости для циклов машин «Дятел-1» и ЛП-2 не были установлены. Это объясняется тем, что время цикла зависит от большого количества аргументов, которые в каждом цикле меняются, а также от встречающихся случайных помех.

Время цикла может быть принято в качестве критерия оптимальности рабочего процесса ВПМ с гидроманипулятором. Выяснение всех причин, способствующих снижению времени цикла, ведет к увеличению производительности работы машины.

Так, снижение времени цикла машины ЛП-2 со 120 сек до 80 сек при среднем объеме хлыста $0,25 \text{ м}^3$ ведет к увеличению сменной производительности на 35% (рис. 8).

В результате исследования циклов машин «Дятел-1», ЛП-2 и основных элементов движения дерева были разработаны проектные варианты циклов с меньшим количеством элементов для указанных машин, а также ВПМ для проведения рубок ухода в естественных насаждениях «Дятел-1А» и лесокультурах «Дятел-1Д».

Машина «Дятел-1Д» была изготовлена и проверена в производственных условиях. Проверка показала, что предлагаемая компоновка и конструкция машины «Дятел-1Д» является одним из перспективных вариантов ВПМ для механизации рубок ухода в лесокультурах, позволяющих снизить время цикла в 1,5—2,0 раза.

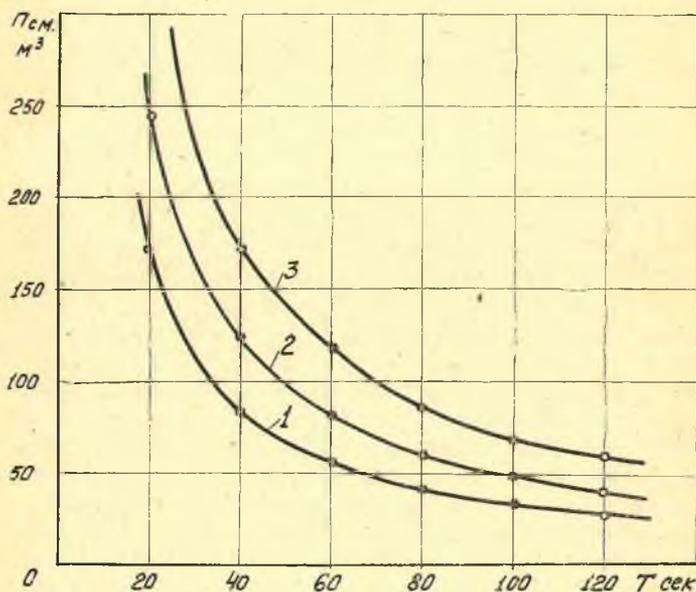


Рис. 8. Зависимость сменной производительности машины ЛП-2 от времени цикла при среднем объеме хлыста:

1 — $0,17 \text{ м}^3$, 2 — $0,25 \text{ м}^3$, 3 — $0,35 \text{ м}^3$.

На основании результатов исследований для уменьшения времени цикла были разработаны и изготовлены захватно-срезающие устройства. Разработка велась в двух направлениях: первое — создание легкого захватно-срезающего устройства, позволяющего производить накопление деревьев на стреле; второе — создание захватно-срезающего устройства

имеющего в своей конструкции накопитель с автоматической подачей срезанных деревьев. Устройства прошли испытания и защищены авторскими свидетельствами №№ 261810, 275585, 266433. Для перемещения дерева по определенной заданной траектории была разработана гидросистема с элементами автоматики (авторское свидетельство № 259710).

Исследование на машине ЛП-2 динамики вращения дерева позволило выявить причину выхода из строя аксиально-поршневого насоса и обрыва штока гидроцилиндра поворота захватно-срезающего устройства. Замер давлений в рабочей и штоковой полости гидроцилиндра показал, что при повороте дерева на угол более 30° в рабочей полости возникает разряжение за счет не согласования скорости падения дерева и производительности гидронасоса. Это было учтено при совершенствовании элементов конструкции и гидросистемы машины ЛП-2.

Испытания опытных и серийных образцов машин «Дятел-1» и ЛП-2 показали, что для увеличения эффективности и надежности их работы большое значение представляет профессиональный отбор и обучение операторов. Поэтому при разработке ВПМ и ее эксплуатации необходимо учитывать функциональные зависимости между машиной и оператором.

Результаты выполненной работы позволили сделать следующие основные выводы.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Применение ВПМ со стреловым гидроманипулятором является одним из перспективных направлений механизации операций срезания и пакетирования деревьев.

2. При теоретическом исследовании процесса работы ВПМ выведены уравнения, характеризующие дерево как механическую систему и позволяющие получить физическую и математическую модели дерева. Общие уравнения взаимодействия ВПМ и дерева, выведенные с учетом упругих свойств дерева и сопротивления воздушной среды, могут быть использованы при моделировании системы ВПМ — дерево.

3. При исследовании деревьев в возрасте 15—30 лет как механических систем получены следующие закономерности и параметры:

а) высокая линейная корреляция между расстоянием от плоскости среза до центра тяжести дерева, высотой дерева, длиной кроны, диаметром кроны, диаметром дерева на высоте груди, весом дерева и диаметром в месте среза;

б) уравнения регрессии между указанными выше параметрами по своему характеру аналогичны соответствующим уравнениям для деревьев в возрасте спелости;

в) средние числовые коэффициенты для определения центра тяжести дерева, длины кроны, максимального диаметра кроны, веса дерева, диаметра среза в зависимости от таксационных показателей;

г) между параметрами, характеризующими дерево как механическую систему, для молодых и спелых деревьев существуют критерии подобия, обладающие инвариантностью.

4. Из кинематических и динамических исследований установлено:

а) способ работы ВПМ с гидроманипулятором с наклоном срезанного дерева на стрелу позволяет увеличить грузоподъемность стрелы и устойчивость машины (защищен авторским свидетельством, применяется на серийных машинах);

б) наибольшие динамические усилия и моменты передаются на машину при повороте дерева вокруг точки захвата в вертикальной плоскости, при этом с увеличением угловой скорости с 0,14 1/сек до 0,76 1/сек составляющие силы и момент в точке захвата в 2,5—3,0 раза превышают соответственно вес дерева и максимальный статический момент;

в) для практических расчетов можно сделать допущения, что свободные колебания срезанного дерева происходят по закону затухающих гармонических колебаний.

5. Предложен ряд новых методик, а также разработаны и изготовлены следующие стенды и измерительная аппаратура:

а) методика и стенд для исследования динамики движения дерева;

б) методика и динамометрическая тележка для исследования сопротивления воздушной среды и крон растущих деревьев движению срезанного дерева;

в) шестикомпонентный динамометр (защищен авторским свидетельством);

6. Обоснованы три схемы захватно-срезающих устройств (защищены авторскими свидетельствами и по ним изготовлены экспериментальные образцы).

7. Предложена схема улучшенной конструкции стрелы (защищена авторским свидетельством и используется на серийных машинах).

8. Годовой экономический эффект по машинам соответственно составляет: «Дятел-1»—915 руб., «Дятел-1Д»—1520 руб., ЛП-2 на сплошных рубках—2450 руб.

По теме диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ и получено 14 авторских свидетельств.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:

1. Цикл работы машины «Дятел-1».—«Лесное хозяйство», 1969, № 11 (в соавторстве).

2. Машина для механизации рубок ухода в лесных культурах «Дятел-1Д». Информатор. «Техника и технология работ на рубках ухода за лесом». Рига, 1969.

3. Передвижная лаборатория по исследованию кинематики и динамики бесповального способа рубки деревьев. Информатор. «Техника и технология работ на рубках ухода за лесом». Рига, 1969 (в соавторстве).

4. Об испытаниях машины «Дятел-1». — «Лесной журнал», 1969, № 6 (в соавторстве).

5. Исследование кинематики и динамики дерева при бесповальном способе рубки в молодняке. — В кн.: Труды ЦНИИМЭ, сб. 101, Химки, 1969.

6. Электродинамометр для исследования взаимодействия валочно-пакетирующей машины с деревом. — «Лесоэксплуатация и лесосплав», рефер. инф., 1970, № 26 (в соавторстве).

7. Исследование механизированного процесса заготовки деревьев посредством моделирования. — «Лесное хозяйство», 1970, № 6.

8. Моделирование дерева как механической системы. — «Лесная промышленность», 1970, № 11.

9. Динамометрическая тележка с шестикомпонентным динамометром. — «Лесохозяйственная информация», рефер. вып. 1970, № 24.

10. Система «человек—лесная машина». — «Лесное хозяйство», 1971, № 6.

11. О моделировании процесса взаимодействия валочно-пакетирующей машины ЛП-2 с деревом. В кн.: Труды ЦНИИМЭ, сб. 120, Химки, 1971.

12. К вопросу исследования колебаний срезанного дерева. В кн.: Труды ЦНИИМЭ, сб. 120, Химки, 1971 (в соавторстве)

13. Способ рубки деревьев. Авторское свидетельство, №228366, Бюллетень изобретений № 31, 1968 (в соавторстве).

14. Устройство для рубки деревьев. Авторское свидетельство № 229083. Бюллетень изобретений № 32, 1968 (в соавторстве).

15. Лесозаготовительная машина. Авторское свидетельство № 258758, Бюллетень изобретений № 1, 1969 (в соавторстве).

16. Устройство для перемещения рабочего органа. Авторское свидетельство № 259710, Бюллетень изобретений, № 2, 1969 (в соавторстве).

17. Устройство для срезания и накопления деревьев. Авторское свидетельство № 261810. Бюллетень изобретений № 5, 1970, (в соавторстве).

18. Устройство для захвата, срезания и накопления деревьев. Авторское свидетельство № 266433, Бюллетень изобретений № 11, 1970 (в соавторстве).

19. Устройство для захватывания и срезания деревьев с корня. Авторское свидетельство № 275585, Бюллетень изобретений № 22, 1970 (в соавторстве).

20. Стрела лесозаготовительной машины. Авторское свидетельство № 279243, Бюллетень изобретений № 29, 1970 (в соавторстве).

21. Методы подobia и физического моделирования, применяемые при изучении дерева как механической системы. Сборник научных трудов ЦНИИМЭ (принята к печати).

22. Оптимизация процесса работы лесной машины. Сборник научных трудов ЦНИИМЭ (принята к печати).

Материалы диссертации представлены и обсуждены:

1. На совещании «Разработка средств комплексной механизации рубок ухода в связи с перспективами их развития в лесах СССР». ЛОС «Калснава», Латвийская ССР, 1969.

2. На сессии ИЮФРО по вопросам механизации рубки деревьев, Стокгольм, 1969.

3. На II научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности, Химки, 1969.

4. На конкурсе работ аспирантов и молодых специалистов ЦНИИМЭ, Химки, 1971, работа «Электродинамометр для исследования взаимодействия валочно-пакетирующей машины с деревом» отмечена премией.

Подписано к печати 19/IV-72 г.

Бумага 60×90^{1/16}

Печ. л. 1,5

Л-54764

Тираж 150

Заказ 200

Типография ЦНИИМЭ