

630^x
+ А 90

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

На правах рукописи

Асмоловский
АСМОЛОВСКИЙ МИХАИЛ КОРНЕЕВИЧ

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
УЗКОЗАХВАТНОЙ ВАЛОЧНОЙ МАШИНЫ

Специальность 05.21.01. - Технология и машины лесного
хозяйства и лесозаготовок

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск - 1993

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте.

- Научный руководитель - доктор технических наук, профессор ЖУКОВ А.В.
- Научный консультант - кандидат технических наук, доцент МАЙКО И.П.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор БОГДАН Н.В.
- кандидат технических наук
КЕИЗЕР Г.И.
- Ведущая организация - Министерство лесного хозяйства
Республики Беларусь

Защита состоится "23" 11 1993 г. в 14 час.
на заседании специализированного Совета К.056.01.01 в Белорусском технологическом институте.

Адрес: 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13а, корпус 4,
зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского технологического института.

Автореферат разослан "22" октября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

ТРОФИМОВ С.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из направлений научно-технического прогресса в лесозаготовительной отрасли является переход к ресурсосберегающим технологиям и рациональному использованию лесных ресурсов, что предполагает дальнейшее развитие механизации лесозаготовительных работ.

В Европейской части стран СНГ и в Республике Беларусь в результате интенсивного лесопользования запасы древесины сократились при возросшей потребности в ней. В этих регионах преобладают среднеполнотные леса (0,6-0,7). Покрытие недостатка в древесине в густонаселенных районах за счет привозного леса экономически не всегда выгодно.

Резервом улучшения потребления древесины является повышение объемов заготовки и вовлечение в промышленную эксплуатацию тонкомерной и низкокачественной древесины от рубок промежуточного пользования и сокращение потерь древесины при главном пользовании. В Республике Беларусь объем заготовок тонкомерной древесины составляет лишь 18%, а заготавливается ежегодно 10-11 млн.м³. Ежегодный дефицит деловой древесины по данным Госэкономплана составляет около 3 млн.м³.

Существующие техпроцессы, базирующиеся на машинных методах проведения работ, могут проводиться с использованием машин манипуляторного и фронтального типов.

Однако опыт применения узкозахватных валочных машин (УВМ) фронтального типа в отечественном производстве отсутствует. Поэтому, учитывая специфику и условия работы таких машин, связанных с перемещением срезанных деревьев в вертикальном положении под пологом леса, является актуальным проведение исследований по оценке работоспособности УВМ.

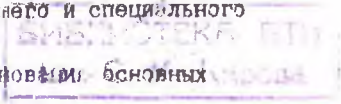
Цель работы. Выбор и обоснование динамических параметров узкозахватной валочной машины на базе трактора МТЗ-82.

Задачи исследований:

- провести анализ мирового лесозаготовительного производства, методов рубок леса и существующих машинных способов проведения работ;

- провести анализ работ по исследованиям в области обоснования динамических параметров машин общего и специального назначения;

- разработать методики оценки и обоснования основных



технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) УВМ с учетом экологических и экономических требований, условий эксплуатации и комплексности возмущающих воздействий;

- провести теоретические исследования по разработанной математической модели, учитывающей взаимосвязь крутильных колебаний в трансмиссии с колебаниями машины: с деревом и возмущающее воздействие от ДВС, дороги, ветровой нагрузки и сил сопротивления цепляни за ветви;

- провести экспериментальные и производственные испытания и оценить эффективность применения машины на рубках ухода;

- разработать практические рекомендации, направленные на совершенствование конструкции захватно-срезающего устройства (ЗСУ) и машины в целом.

Научная новизна работы заключается в разработке математической модели функционирования УВМ в вертикально-перемещаемом деревом с учетом комплексного воздействия от неровностей опорной поверхности, ветровой нагрузки, сил сопротивления со стороны стоящих деревьев и двигателя, как источника заданной ограниченной мощности. Получены новые экспериментальные и расчетные данные по нагруженности, устойчивости и производственной эксплуатации УВМ.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные методики исследований, реализованные в виде программных средств для ЭВМ, позволяют на этапе проектирования и доводки конструкций производить обоснование и выбор основных ТЭП. Практические рекомендации по результатам расчетных, производственных и экспериментальных исследований устанавливают сферу и возможности применения УВМ.

Реализация результатов работы. Разработанные методики и проведенные исследования, а также апробация УВМ на базе трактора МТЗ в условиях Негорельского учебно-опытного лесхоза позволили совершенствовать технологический процесс рубок ухода, исключить ручной труд на валке и трелевке древесины. Фактический годово... экономический эффект от использования УВМ в ценах 1991 г. составил 1,02 тыс.руб.

На защиту выносятся: методика оценки динамических показателей системы "двигатель-трансмиссия-двигатель-предмет труда" узкозахватной валочной машины; методика расчета напряжен-

но-деформированного состояния несущей конструкции ЗСУ с учетом специфики нагружения от вертикально-транспортируемого под пологом леса дерева; результаты влияния взаимосвязанных подсистем на устойчивость, динамическую нагруженность машины.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Всесоюзном научно-техническом совещании в г.Тюмени (июль 1987), Всесоюзной научно-технической конференции в МЛТИ г.Москва (октябрь 1987г.), на международном научном семинаре в республике Польша, г.Варшава-Рогов (июнь 1990г.) и на научно-технических конференциях БТИ им.С.М.Кирова по итогам НИР за 1985-1992 г.г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, списка использованной литературы и приложений, содержит 170 страниц машинописного текста, 51 рис., 10 табл. Библиографический список включает 139 наименований литературных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, дана общая характеристика работы, приведена научная новизна исследований, изложены научные положения, выносимые на защиту, а также кратко изложены основные результаты исследований.

В первом разделе проведен анализ применяемых методов рубок с заготовкой древ сины. Рассмотрено современное состояние лесозаготовок, выявлены перспективные направления развития техпроцессов рубок ухода и заготовки тонкомерной древесины, а также путей исключения потерь древесины. Проанализированные технологические схемы и системы машин рубок главного и промежуточного пользования как в отечественном, так и зарубежном производстве. Приведена классификация машин в зависимости от характера выполняемых операций и выделены группы машин, которые не нашли широкого распространения в отечественном производстве. Отмечены сложившиеся тенденции в создании лесозаготовительной техники и совершенствования техпроцессов рубок ухода, а также обобщены традиционные технологии в наиболее развитых лесозаготовительных странах. На основе проведенного анализа установлено, что ввиду разнообразия при-

родно-климатических и производственных условий, для обеспечения безопасной и производительной работы по заготовке древесины, необходимы сочетания, как манипуляторных, так и узкозахватных валочных машин. С учетом отечественного и зарубежного опыта создания различных типов лесохозяйственных и лесных машин наиболее приемлемым является использование в качестве базы сельскохозяйственных тракторов. Особенно важно это с точки зрения сокращения сроков и стоимости работ по созданию машин для Республики Беларусь, где имеется производство тракторов МТЗ и развернута работа по созданию семейства лесных машин на их базе.

Общая теория проектирования валочных машин основана на выборе способа валки и транспортирования предмета труда, основных компоновочных параметров, обеспечивающих требуемые динамические показатели.

Исследованиями динамики машин общего назначения посвящены работы Е.А.Чудакова, Д.А.Чудакова, Р.В.Ротенберга, А.С.Литвинова, Я.М.Певзнера, Я.Х.Закина, Н.И.Яценко, А.А.Хачатурова, А.А.Силаева, В.М.Семенова. Большое внимание уделено нагруженности трансмиссии в работах А.М.Маклеева, Н.С.Лулева, П.П.Лукина, В.М.Семенова, И.С.Цитовича, С.И.Иванова, В.П.Москалева, А.М.Фрумкина, Н.Ф.Бочарова, И.Г.Пархиловского, В.И.Гусева, Г.А.Смирнова, В.С.Фалькевича, В.А.Симановича, С.М.Кудрявцева, И.Л.Островецкова, Л.И.Бойко. Основополагающими работами в теории проектирования специальных лесных машин являются труды С.Ф.Орлова, М.И.Зайчика, Б.Г.Гастева, В.И.Мельникова, Е.И.Лаха, Г.М.Анисимова. Дальнейшее развитие вопросы теории колебаний лесотранспортных машин получили в работах Ю.Д.Силукова, А.В.Жукова, В.С.Николюка и др. Исследованием динамики, устойчивости и управляемости сельскохозяйственных машино-тракторных агрегатов на их основе посвящены работы В.П.Горячкина, Г.А.Чудакова, В.Ф.Коновалова, Л.В.Гячева, А.Б.Лурье, В.В.Гуськова, А.В.Войтикова.

Методы оценки устойчивости и динамической нагруженности, вопросы взаимодействия лесотранспортных машин и предмета труда нашли свое отражение в работах В.И.Алябьева, В.Н.Андреева, К.Н.Барина, А.М.Артамонова, Г.М.Анисимова, Б.Г.Виноградова, В.М.Котикова, С.А.Жилина, П.С.Бурмака, И.В.Лямина, А.И.Смеяна, В.С.Сюнева, А.М.Кочнева и др.

Задача динамической устойчивости машино-тракторных агрегатов рассматривалась целым рядом исследователей. К числу работ по теории устойчивости следует отнести труды А.М.Ляпунова, Д.А.Чудакова, Е.Д.Львова, В.Ф.Коновалова.

Основополагающими работами по исследованию динамической нагруженности на основе метода конечных элементов (МКЭ) являются работы К.Бате, Е.Вильсона, Р.Клафа, О.Зенкевича, В.А.Постнова и др. Дальнейшее развитие МКЭ для инженерных расчетов получил в работах Л.А.Розина, А.П.Филина, А.Ф.Смирнова.

Исследованию динамической нагруженности несущих конструкций лесных машин посвящены работы В.М.Семенова, Г.М.Анисимова, А.В.Жукова, В.А.Александрова, В.Н.Андреева, А.Р.Горновского, С.П.Мохова, В.В.Янушки.

Проведенный обзор работ, посвященных динамике специальных лесных машин показал, что до настоящего времени проведено много исследований по оценке их параметров. Однако работы по обоснованию и выбору параметров узкозахватных валочных машин, рабочий процесс которых связан с перемещением вертикально-закрепленных деревьев, отсутствуют.

Во втором разделе произведена оценка эффективности применения узкозахватных валочных машин на рубках ухода за лесом на примере УВМ на базе трактора МТЗ.

Описаны конструктивные особенности

УВМ и возможные варианты компоновки с использованием гаммы тракторов кл. 0,6-

3,0. ЗСУ (рис.1) устанавливается на заднюю трехточечную навеску базового трактора без внесения существенных изменений в конструкцию. Вместо верхней тяги навески используется гидроцилиндр, служащий для наклона ЗСУ. Привод подклю-

чен к гидравлической системе трактора и управляется из кабины. ЗСУ состоит из двух захватных механизмов (1), устано-

вленных на двух стойках (2), в нижней части к которым приварены опорные плиты (3), между которыми расположено срезающее устройство

ножевого типа с приводом от гидроцилиндров. Работа УВМ происходит следующим образом. Оператор

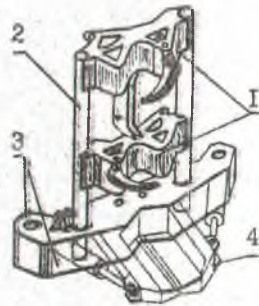


Рис.1. Захватно-сре-
зающее устройство
1- захваты, 2- стой-
ки, 3- опорные
плиты, 4- срезающее устрой-
ство

выбирает отмеченное дерево и производится наводка ЗСУ на него. При контакте с деревом, ЗСУ опускается на поверхность земли, включается привод захватов, ножевого устройства и происходит захват и срезание дерева. После чего ЗСУ с деревом поднимается в транспортное положение и машина выносит дерево из-под полога леса. В результате производственных испытаний в условиях Логойского лесничества и Негорельского учебно-опытного лесхоза, фотохронометражных наблюдений, установлено, что среднее время цикла обработки одного дерева при среднем расстоянии выноса 60 м находилось в пределах 152-159 с. На срезание дерева расходовалось 5,9-13,2 %, на переместительные операции около 85 % и на укладку деревьев в пакет - 1,9-9,9 % всего времени цикла. При этом, часовая производительность машины составила 1,97-2,59 м³/ч.

По результатам испытаний установлено, что производительность машины определяется такими факторами, как расстояние выноса деревьев, скорость движения машины, объем предмета труда, которые в конечном итоге определяют продолжительность рабочего цикла. Кроме того, преимуществом применения ножевых срезающих устройств является снижение затрат на обслуживание и ремонт, что способствует увеличению времени основной работы и производительности.

Проведен сравнительный анализ затрат времени цикла в зависимости от расстояния выноса дерева из-под полога леса с помощью УВМ, по результатам испытаний, а также ВПМ "Маккери" и переносной лебедки ЛТ-400 при прореживании для одинаковых условий и характеристик лесонасаждений (рис.2). Установлено, что затраты времени, начиная с расстояния выноса $l \geq 20$ м машиной "Маккери" меньше, чем УВМ. При расстоянии выноса $l = 60$ м время цикла УВМ на 16 % больше, чем "Маккери". Обусловлено это тем, что контурная площадь ВПМ "Маккери" на 33 % меньше, чем УВМ и маневрирование ее под пологом леса более облегчено, несмотря на то, что диапазон реализуемых скоростей выше у УВМ. Однако, несмотря на несколько меньшую продолжительность рабочего цикла, высокая стоимость ВПМ "Маккери" отрицательно сказывается на эффективности ее применения в условиях Республики Беларусь. Затраты времени при работе переносной лебедкой ЛТ-400 значительно выше сравниваемых машин на всем диапазоне расстояний выноса.

Для комплексной оценки влияния на производительность УВМ скорости движения, расстояния выноса и объема предмета труда, по данным производственных испытаний получена номограмма (рис. 3), позволяющая производить выбор режимов движения и приемов работы, для обеспечения необходимой производительности при проведении рубок ухода в насаждениях различного возрастного состава. Так, например, анализ номограммы показывает, что с увеличением расстояния выноса до 80 м, производительность снижается на 26 %, по сравнению с $\ell = 60$ м. При увеличении же эксплуатационных скоростей движения до 5-6 км/ч при $\ell = 80$ м, по сравнению с $\ell = 60$ м и скоростями 3-4 км/ч, производительность возрастает на 30 %.

Эффективная работа УВМ будет обеспечена при обязательном наличии сети технологических коридоров с расстоянием между ними 40-60 м. Такая организация лесосечных работ обеспечит использование повышенных скоростей (до 10 км/ч) движения по технологическому коридору. На номограмме линиями связи указан обход графиков, отражающих средние значения параметров, полученных при испытаниях УВМ.

Наряду с фотохромотражными наблюдениями, при испытаниях производилось обследование

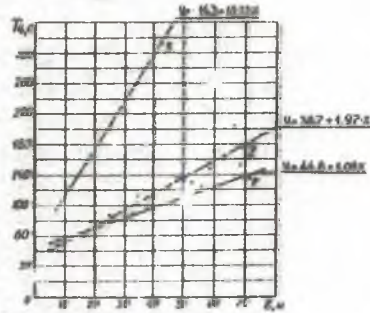


Рис. 2. Зависимость продолжительности рабочего цикла T от расстояния выноса ℓ : 1- УВМ "Маккерри", 2- УВМ, 3- ЛТ-400

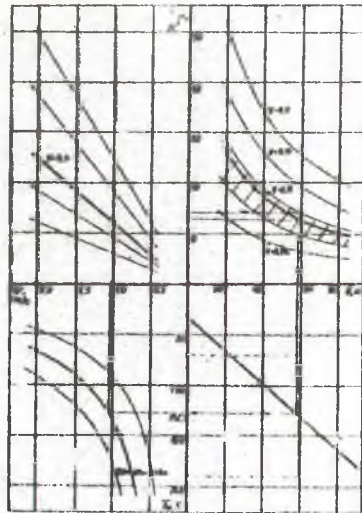


Рис. 3. Номограмма определения технико-эксплуатационных показателей УВМ

местности на предмет оставляемых повреждений. Повреждения оставляемых на корню деревьев не превышали 5 %. Воздействие ходовой части УВМ на поверхность технологического коридора характеризовалось образованием в некоторых местах колеи глубиной 8-10 см. Установлено, что машины такого типа имеют возможность обрабатывать до 85-92 % намеченных к рубке деревьев при густоте древостоя до 2-2,5 тыс./га. Кроме того, УВМ целесообразно использовать при уборке горельников, прокладке трасс под ЛЭП и дороги, при освоении лесосек с многоярусными насаждениями, а также на зараженных радионуклидами лесных массивах.

Третий раздел посвящен разработке математической модели процесса работы УВМ. В ходе решения поставленной задачи моделировался процесс движения узкозахватной валочной машины, как многомассовой динамической системы "двигатель-трансмиссия-двигитель-предмет труда". При создании математической модели учитывались специфические условия ее функционирования, связанные с воздействием на УВМ возмущающих факторов со стороны водителя и внешней среды, носящих случайный характер, а также присущими переходными процессами (разгон-торможение, преодоление единичных препятствий, работа технологического оборудования, воздействия со стороны предмета труда от зацепа за ветви, ветровой нагрузки и др.). Основные узлы УВМ (двигатель, трансмиссия, ведущие мосты, двигатели, ЗСУ и дерево) komponуются в виде подсистем, которые соединяются между собой посредством упругих элементов. Таким образом математическая модель УВМ позволяет описывать свойства динамической системы с учетом взаимодействия ее подсистем, воздействия внешней среды, управляющих воздействий и решить широкий круг задач динамики. Расчетная схема колебаний УВМ приведена на рис. 4 и имеет одиннадцать степеней свободы. В ней приняты следующие обозначения: $J_{дв}$, $J_{сч}$, J_k , $J_{к1}$, $J_{к2}$, $J_{лр}$ - соответственно моменты инерции вращающихся частей двигателя, ведомой части сцепления, выходного вала коробки передач, переднего и заднего колес, массы трактора с деревом; M_1 , $m_{мп}$, m_i - соответственно масса трактора, переднего моста и дискретных масс дерева; $C_{к,j}^y$, $C_{сз}^y$, $C_{шм,i}^y$, $C_{шм,i}^{yx}$, $C_{мп}^{up}$, C_i - соответственно, крутильные жесткости коробки передач на j -той передаче, главной передачи, шин; вертикальные жесткости

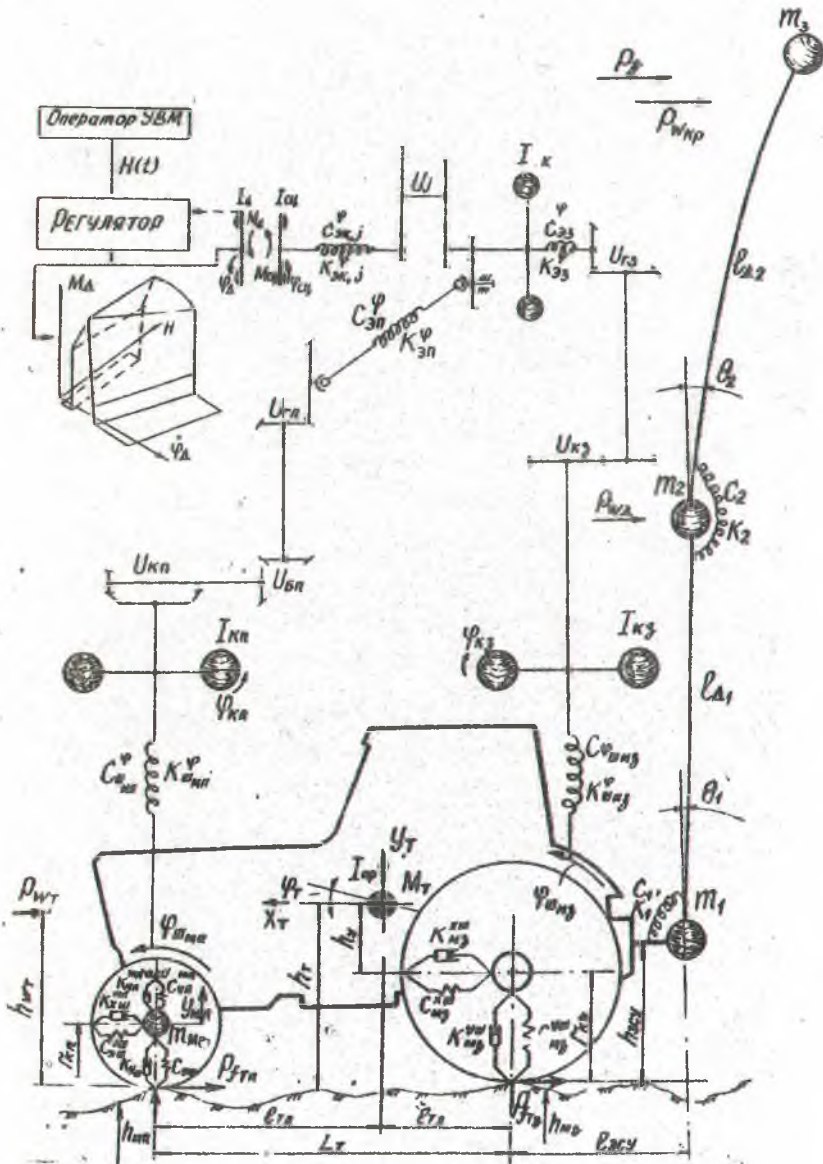


Рис.4. Расчетная схема УЕМ

шин и подвески переднего моста, дерева; U_j - передаточные числа трансмиссии; $L_T, \ell_{\Delta 1}, \ell_{T1}, h_{T1}$ - геометрические параметры УВМ. Положение УВМ определяется следующими обобщенными координатами: углами поворота элементов трансмиссии - $\varphi_{\Delta 1}, \varphi_{\Delta 2}, \varphi_K, \varphi_{K1}, \varphi_{K2}$; угловыми перемещениями массы трактора - φ_T ; вертикальными перемещениями центра тяжести трактора и переднего моста - Y_T, Y_{M1} ; продольным перемещением машины - X_T ; углами поворота дискретных масс дерева - θ_1, θ_2 .

В результате система дифференциальных уравнений, описывающих колебания УВМ в продольной плоскости имеет вид:

$$J_{\Delta 1} \ddot{\varphi}_{\Delta 1} - M_{\Delta 1} \ddot{\varphi}_{\Delta 1} + M_{\Delta 2} \ddot{\varphi}_{\Delta 2} = 0;$$

$$J_{\Delta 2} \ddot{\varphi}_{\Delta 2} - M_{\Delta 2} \ddot{\varphi}_{\Delta 2} + M_{\Delta 3} \ddot{\varphi}_{\Delta 3} = 0;$$

$$J_K \ddot{\varphi}_K - M_{\Delta 3} \ddot{\varphi}_{\Delta 3} + M_{\Delta 4} \ddot{\varphi}_{\Delta 4} = 0;$$

$$J_{K1} \ddot{\varphi}_{K1} - M_{\Delta 4} \ddot{\varphi}_{\Delta 4} + M_{\Delta 5} \ddot{\varphi}_{\Delta 5} = -P_{\Delta 1} \cdot \Gamma_{K1};$$

$$J_{K2} \ddot{\varphi}_{K2} - M_{\Delta 5} \ddot{\varphi}_{\Delta 5} + M_{\Delta 6} \ddot{\varphi}_{\Delta 6} = -P_{\Delta 2} \cdot \Gamma_{K2};$$

$$J_{\Delta T} \ddot{\varphi}_T - (M_{\Delta 6} / \Gamma_{K1}) \cdot (\dot{\varphi}_T - \dot{\varphi}_{K1}) - (M_{\Delta 6} / \Gamma_{K2}) \cdot (\dot{\varphi}_T - \dot{\varphi}_{K2}) + P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{T1} - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{T2} - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{\Delta 1} - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{\Delta 2} = -P_{WT} \cdot h_{WT} - P_{WD} \cdot \ell_{\Delta 1}$$

$$M_T \ddot{X}_T - M_{\Delta 6} / \Gamma_{K1} - M_{\Delta 6} / \Gamma_{K2} + P_{\Delta 6}^y + P_{\Delta 6}^y = -P_3 \cdot \ell_{\Delta 1} - P_{WT} - P_{WD};$$

$$M_T \ddot{Y}_T - P_{M1}^y - P_{M2}^y = 0;$$

$$m_{M1} \ddot{Y}_{M1} - P_{M1}^y + P_{M1}^y = 0;$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{\Delta 1} - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{\Delta 1} = -P_3 \cdot \ell_{\Delta 1} - P_{WD} \cdot \ell_{\Delta 1};$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 - P_{\Delta 6}^y \cdot \ell_{\Delta 2} = -P_3 \cdot \ell_{\Delta 2} - P_{WD} \cdot \ell_{\Delta 2},$$

где $M_{\Delta 1}$ и $M_{\Delta 2}$ - соответственно, крутящие моменты двигателя и сцепления; $M_{\Delta j}$ - крутящий момент на j -той передаче, приведенный к первичному валу КП; $M_{\Delta 4} = M_{\Delta 3} + M_{\Delta 5}$ - крутящий момент на выходном валу КП, $M_{\Delta 3}$ - крутящий момент в ветвях привода переднего (заднего) мостов; $M_{\Delta 6}(\Delta 5)$ - реактивный момент в шинах ведущих мостов; $P_{\Delta 1}(\Delta 2)$ - сила сопротивления качению колес; $P_{WT} - P_{WD}$ - силы сопротивления воздушного потока трактора и дерева; $P_{M1}^y, P_{M2}^y, P_{M3}^y$ - соответственно, приведенные силы подвески переднего моста и задних шин; $P_{\Delta 6}^y, P_{\Delta 6}^y$ - приведенные силы навески ЗСУ и центра масс дерева, P_3 - сила сопротивления цапфа.

Решение системы дифференциальных уравнений производилось

на ЭВМ методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. Возмущающее воздействие от неровностей пути принималось с учетом его запаздывания и сглаживающей способности шин. Сила зацепа определялась на основании экспериментальных исследований.

Оценки нагруженности ЗСУ производилась с использованием метода конечных элементов (МКЭ). При этом учитывалось комплексное возмущающее воздействие от транспортируемого дерева и усилий, развиваемых гидроцилиндрами. Величина нагрузки воздействия предмета труда определялась на основании моделирования процесса движения по разработанной математической модели: $P_T = K_1[\chi_T - (\varphi_T + \theta_1) \cdot \varrho_{\Delta 1}] + C_1[\chi_T - (\varphi_T + \theta_1) \cdot \varrho_{\Delta 1}]$. Нагрузки при срезании дерева определялись по результатам исследовательских испытаний. Конечно-элементная модель ЗСУ представлена на рис. 5.

Расчетная схема ЗСУ представляет собой комбинированную конечно-элементную модель, в которой стойки, места крепления гидроцилиндров и ножей силового резания представлены в виде стержневых элементов, а балки - пластинчатыми. Модель содержит 19 стержневых и 126 листовых элементов, стыкующихся в 176 узлах. Для определения жесткости всей конструкции использовались стандартные матрицы.

Полученная система линейных алгебраических уравнений решалась относительно неизвестных узловых перемещений, по которым определялись силовые факторы для нахождения напряжений.

Оценка точности разработанных математических моделей и методик расчета производилась путем сравнения с данными эксперимента. Среднее расхождение находилось в пределах 5-14%. Производилась также оценка соответствия расчетных и экспериментальных спектральных плотностей процессов с помощью статистики D^2 эквивалентности энергетических спектров. Величина D^2 находилась в пределах 10,3-26,4 при области принятия гипотезы χ^2 равной 27,59, что указывает об удовлетворительной сходимости результатов.

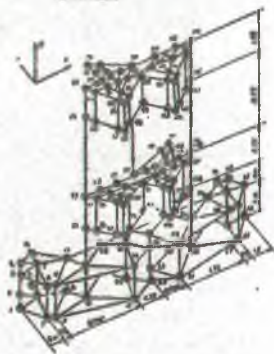


Рис.5. Конечно-элементная модель ЗСУ

В четвертом разделе изложены цель, задачи и методика исследовательских лабораторно-эксплуатационных испытаний нагруженности и динамической устойчивости УВМ. Целью испытаний являлось определение основных динамических параметров УВМ при проведении выборочной рубки по двухстадийной технологии и при проведении рубок ухода, а также оценки адекватности разработанной модели. В задачи входили вопросы по определению инерционных жесткостных параметров машины и предмета труда при лабораторных измерениях; исследование процессов работы гидропривода ЗСУ и определение напряженно-деформированного состояния конструкции ЗСУ при различных режимах работы, а также процессов динамической нагруженности и устойчивости машины.

Исследования проводились при всех операциях рабочего цикла, начиная со срезания дежда и заканчивая укладкой на грунт. При этом моделировались различные режимы движения - трогание с места, движение с различными скоростями под пологом леса и по технологическому коридору, переезд единичных неровностей в виде пней с различной высотой и диаметром. Измеряемыми параметрами являлись: давление в магистралях гидропривода ЗСУ, усилия на штоке гидроцилиндра наклона ЗСУ, деформация конструкции ЗСУ, усилия на переднем мосту УВМ, вертикальные ускорения масс УВМ, углы продольного и поперечного наклона остова машины, перемещения дерева в продольной и поперечной плоскостях относительно остова машины и скорость движения. Запись исследуемых параметров производилась на осциллограмме в различных сочетаниях. Обеспечивалась необходимая повторяемость опытов для выбранных режимов движения и параметров деревьев. При этом использовалась измерительная аппаратура в составе источника постоянного тока, тензоусилителя Топаз-4-01 и светолучевого осциллографа К-12-22 и комплекта преобразователей. В зависимости от типа датчика использовались потенциометрический и тензометрический методы измерений. Параметры преобразователей выбирались исходя из частот и диапазонов амплитуд объекта исследований, а также с учетом возможности их размещения и уточнялись по результатам пробных заездов. Обеспечивалась точности измерений и оценка погрешности производилась путем градуировки измерительной аппаратуры перед началом и после проведения каждой серии опытов с необхо-

димой повторяемостью, в зависимости от вида преобразователя и метода измерений. Тарировочные характеристики применяемой аппаратуры имели линейный характер.

При лабораторных измерениях осуществлялось определение численных значений массы отдельных частей УВМ и предмета труда, жесткостных и демпфирующих свойств, компоновочных параметров и инерционных характеристик. Измерения проводились отдельно для машины с деревом и для консольно-закрепленного на стенде дерева. Массы дерева и машины определялись взвешиванием с использованием динамометров и весов. Жесткостные характеристики шин и дерева определялись при ступенчатом статическом нагружении балластным грузом. Демпфирующие свойства определялись при моделировании свободных колебаний, путем подъема (отклонения) машины (дерева) и мгновенного сброса. Производилась также оценка критических статических углов реза путем наезда машины с деревом на уклон известной величины в продольной и поперечной плоскостях.

Программой эксплуатационно-исследовательских испытаний предусматривалась регистрация отмеченных параметров машины при выполнении всех операций производственного процесса. При исследовании процессов срезания производилось варьирование величинами диаметров обрабатываемых деревьев в диапазоне от 10 до 22 см породным составом (ель, сосна, береза). Транспортирование срезанного дерева происходило при следующих режимах и воздействующих факторах: трогание с места, переезды неровностей в виде пней и поваленных деревьев, движения с различными скоростями в диапазоне 1,5-7 км/ч по неровностям опорной поверхности пачки и волока с наличием возмущающего воздействия от ветровой нагрузки и от зацепа за ветви растущих деревьев.

Исследования процесса укладки дерева на грунт при формировании пачек проводились для различных параметров деревьев и известной крутизной склонов.

Варьируемыми факторами являлись: интенсивность разгона, скорость движения, геометрические и массовые характеристики дерева, условия движения.

Записанные на осциллограмму процессы обрабатывались различными способами в зависимости от задач дальнейшего их анализа. Статистическая обработка случайных процессов производи-

лась с использованием комплекса технических средств на базе ПЭВМ IBM PC/AT и ЕС-1842. Обработка осциллограмм с переходными процессами заключалась в общем анализе характера изменения исследуемых процессов и получения значений параметров с учетом масштабных коэффициентов. Общая суммарная погрешность измерений находилась в пределах 2,3-4,9 %.

Пя.ый раздел содержит общие результаты исследований по обоснованию и выбору динамических параметров узкозахватной валочной машины на базе трактора МТЗ-82.

На основе анализа и показателей сложных динамических процессов, возникающих начиная от подъезда и срезания, последующего отрыва дерева от пня и транспортирования к месту пакетирования, установлено многообразие взаимосвязанных факторов, влияющих на работоспособность таких машин. Исследования процесса срезания дерева показали, что сила резания зависит от величины развиваемого давления в гидросистеме, породы и диаметра деревьев и сопровождается при этом различными затратами времени. При срезании березы, диаметром 21 см в комле, максимальное давление резания составляло 14,8 МПа и время срезания 6 с. Сосна с диаметром 24 см срезалась при давлении 13,2 МПа за время 7 с. Время срезания также зависит от темпа нарастания давления в гидросистеме, т.е. от подачи гидронасоса. В результате исследований процесса срезания обоснованы приемы управления гидроаппаратурой. Оценка нагруженности элементов ЗСУ в процессе срезания показала, что наибольшие нагрузки возникают в опорных плитах срезающего устройства. Характер изменения напряжений (деформаций) подобен изменению величины давления. Максимальные напряжения при срезании различных деревьев достигали 45,5-50 МПа, что указывает на значительный запас прочности конструкции.

При трогании в места машины с деревом возможен отрыв колес от поверхности и потеря устойчивости управления в зависимости от интенсивности процесса. Однако исследования показали, что при ускорении системы ($\dot{X}_t = 0,25 \text{ g}$) динамическая реакция передних колес для различных диаметров деревьев не превышала 5,6 кН. При этом продольное отклонение ствола дерева составляет 0,03-0,06 м, а его последующие колебания происходят с частотой 0,5 Гц. Анализ полученных данных показал, что основной причиной выявления уровня динамической нагруженности УВМ дв-

ляются неровности рельефа и воздействия, возникающие вследствие зацепов транспортируемого дерева за ветви растущих деревьев.

При моделировании движения УВМ с различными скоростями с деревом ($m_d = 220$ кг) по макронеровности с уклоном пути до 15° установлено, что колебания дерева и возникающие нагрузки в навесной системе машины взаимосвязаны. Усилия на штоке гидроцилиндра наклона достигают величин 6,3-7,7 кН при амплитуде колебаний дерева 0,03-0,07 м относительно верха кабины. Причем, при скорости движения 4 км/ч, указанные параметры на 13-19 % выше, чем при $v = 2$ км/ч. Динамическая реакция переднего моста при движении на небольших скоростях на уклоне изменяется почти пропорционально изменению угла наклона пути (рис.5) При этом

колебания дерева и воздействия от микронеровностей не оказывают существенного влияния на характер ее изменения. При увеличении же скорости до 4 км/ч, интенсивность колебаний R_1 значительно возрастает, и, при углах наклона пути от 10° и более градусов (рис.5) возможна потеря устойчивости управления при наличии всех воздействующих факторов. Поэтому при работе на уклонах пути более 10° необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие необходимый запас устойчивости (установка противовесов, эксплуатация на скоростях не более 3-4 км/ч и др.).

Проведенные исследования установленного режима движения машин показали, что с увеличением массы перемещаемого дерева с 200 до 300 кг происходит некоторое смещение максимумов спектров продольно-угловых колебаний остова машин в диапазоне от 1 до 5 Гц и их возрастание на 26-32 %. Увеличение скорости движения по волоку с 4 км/ч до 7,5 приводит к сглаживанию спектра динамической реакции переднего моста и сме-

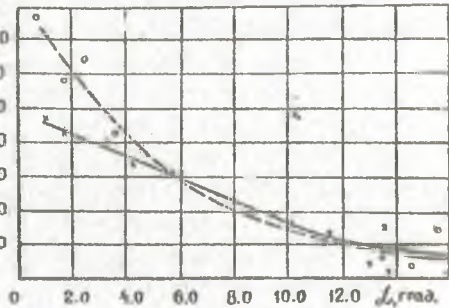


Рис.5. Зависимость изменения динамической реакции переднего моста УВМ от угла наклона пути: 1 - при движении $v = 2$ км/ч, 2 - $v = 4$ км/ч

нию экстремумов в область более высоких частот при неизменных параметрах динамической системы.

Среднеквадратические отклонения σ_{B_1} при этом режиме исследований находились в пределах 2,07-3,96 кН.

Исследования явления зацепа дерева показали, что по величине воздействия можно выделить четыре фазы: цепляние за отдельные ветви ($P_3^{\max} = 0,7$ кН); частичная сомкнутость крон растущих деревьев ($P_3^{\max} = 1,4$ кН); сплошная сомкнутость крон ($P_3^{\max} = 2,1$ кН) и самый неблагоприятный случай - зависшее дерево ($P_3^{\max} = 2,8$ кН). При моделировании явления зацепа перемещаемого дерева массой 200 кг, поведение динамической системы устойчиво. С деревом массой 400 кг возможен проезд машины с частичной сомкнутостью крон. Поэтому при движении машины в условиях пасаки, т.е. под пологом леса, обязательным является установка противовеса массой 420 кг для обеспечения требуемого запаса устойчивости.

Переезд неровностей в форме пней различной высоты показал, что воздействие в этом случае носит кратковременный характер. Существенных колебаний ствола дерева, а также корпуса трактора не наблюдается. Однако при комбинированном воздействии различных по происхождению факторов и как следствие, наложение амплитуд колебаний от каждого из них, возможна потеря устойчивости управления, что затрудняет маневрирование машины при движении по пасеке.

Исследования показали, что при переезде с деревьями массой 300 и 400 кг через неровности высотой 0,15 м возможен кратковременный отрыв управляемых колес и обязательным является установка противовеса. Неровность высотой 0,1 м имеется возможным преодолевать со скоростями до 3,6 км/ч для дерева $M_d = 300$ кг и 1,2 км/ч для $M_d = 400$ кг. Установка противовеса увеличивает диапазон скоростей до 5 км/ч. Изменение динамической реакции переднего моста в зависимости от массы противовеса и скорости движения через неровности различной высоты с деревом, массой 200 кг приведены на рис.6.

Изображенные зависимости позволяют определить критические диапазоны скоростей преодоления неровностей и необходимость установки противовеса. Так, неровности высотой $H_n = 0,1$ м следует преодолевать при скоростях 2,4-4 км/ч; $H_n = 0,1$ м при $V = 4,8-6,3$ км/ч и $H_n = 0,05$ при $V = 10-$

13 км/ч.

Таким образом, оправданным является применение ножевого срезающего устройства, обеспечивающего высоту оставляемого пня не более 0,05 м. При этом снижается уровень динамической нагруженности машины и расширяется диапазон рабочих скоростей движения до 10-13 км/ч.

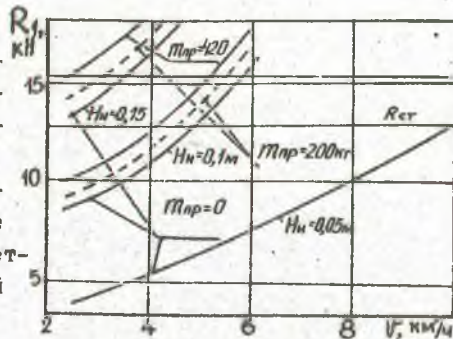


Рис.6. Зависимость изменения динамической реакции от скорости при переезде неровностей УВМ, $m_g = 200 \text{ кг}$

Основные выводы и предложения

1. Анализ современных способов лесозаготовок и состояния вопроса по заготовке тонкомерной древесины показал, что использование УВМ, наряду с машинами манипуляторного типа, в зависимости от конкретных природно-производственных условий позволяет механизировать весь комплекс лесосечных работ, улучшить условия труда, снизить затраты на заготовку древесины. Однако, до настоящего времени в отечественной практике отсутствует опыт создания и применения такого класса машин, рабочий процесс которых связан с вертикальным перемещением предмета труда ходом машины.

2. Исследования в производственных условиях УВМ на базе колесного трактора класса I,4 показали ее эффективность при существующих техпроцессах проведения рубок ухода и заготовки древесины при разработке двухъярусных насаждений, на зараженных радионуклидами лесных массивах, уборке горельника, подготовке трасс под линии электропередач.

При проведении прореживаний со средним расстоянием выноса деревьев 60 м, производительность машины составила 1,97 - 2,59 м³/ч. Резервом повышения производительности УВМ является применение системы накопления нескольких тонкомерных деревьев, сокращение времени рабочего цикла, увеличения времени основной работы, а также использование рациональных специально разработанных для данной машины технологических приемов работы.

3. Агрегатирование базового трактора и навесного захватно-срезающего устройства обеспечивает универсальность машины

за счет расширения сферы ее применения на различных видах лесохозяйственных работ.

Преимуществом применения ЗСУ с ножами силового резания, наряду с простотой конструкции, высокой надежностью в работе, является высокая производительность чистого резания, повышение объема заготовки древесины за счет получения невысоких пней и снижение эксплуатационных затрат по сравнению с другими, традиционными срезающими устройствами.

Наиболее важными показателями, характеризующими работоспособность таких машин, работа которых связана с вертикальным выносом деревьев из под полога леса, являются динамическая нагруженность и устойчивость при выполнении всех операций технологического цикла.

4. Разработанная расчетная схема и математическая модель взаимосвязанной системы "двигатель-трансмиссия-двигитель-предмет труда" позволяет с достаточной точностью моделировать процессы работы, выбирать и обосновывать параметры УВМ с учетом взаимосвязанности крутильных колебаний трансмиссии с вертикальными и продольно-угловыми колебаниями массы трактора на упругих элементах подвески, шин и вертикально закрепленного дерева, а также комплексного возмущающего воздействия от неровностей опорной поверхности, ветровой нагрузки, сил сопротивления при цеплянии за ветви стоящих деревьев и двигателя, как источника заданной ограниченной мощности.

Сопоставление результатов расчетных и экспериментальных исследований показало их удовлетворительную схожимость, что дает основание рекомендовать разработанные методики при проектировании УВМ.

5. В результате проведенных исследований установлено: при срезании дерева и снятии его с пня наиболее нагруженными элементами являются опорные плиты срезающего устройства, где максимальные напряжения достигают значений 45-50 МПа. Напряжения в трубчатой стойке, соединяющие захватные и срезающие устройства незначительны и не превышают 26 МПа. Сила резания зависит от величины развиваемого давления в гидросистеме, породы и диаметра деревьев. Срезание деревьев более твердых пород (береза) происходит при максимальном давлении 14,8 МПа и времени перерезания 6-7 с. В момент контакта ЗСУ с деревом значительные ударные нагрузки испытывают рычаги навесной системы, $P_u = 5-8 \text{ кН}$;

при трогании машины с деревом имеет место отклонение ствола дерева на величину 0,035-0,06 м и соответствующее появление реактивного момента, разгружающего передний мост машины на 3,2-6,1 кН в зависимости от интенсивности трогания и параметров предмета труда;

исследования взаимодействия транспортируемого дерева в результате зацепа за растущие, показали, что при движении УВМ с деревом массой 400 кг под пологом леса обязательным условием сохранения запаса устойчивости является установка противовеса массой 420 кг;

переезд неровностей, как наиболее неблагоприятный случай нагружения, позволил определить граничные условия и критические диапазоны скоростей движения УВМ через препятствия различной высоты с различными массами деревьев;

поведение рассматриваемой динамической системы на уклоне при наличии всего комплекса воздействующих факторов показало, что работа машины на уклонах местности до 10° практически безопасна. На более крутых склонах целесообразно проведение мероприятий по обеспечению запаса устойчивости машины.

6. По результатам исследований сформулированы рекомендации, направленные на совершенствование конструкции УВМ и рабочих приемов:

снизить металлоемкость конструкции, уменьшив толщину листа опорной плиты до 6 мм;

в магистрали захвата-срезания предусмотреть установку гидрозамка;

обеспечить давление рабочей жидкости в магистрали захвата-срезания на протяжении всего процесса срезания;

при осуществлении наводки ЗСУ на дерево использовать кодоуменьшитель;

ввести в конструкцию ЗСУ механизм накопления нескольких деревьев;

при работе на уклонах местности $10-15^{\circ}$ использовать колею трактора по задним колесам не менее 1,8 м при обязательном наличии противовеса массой 420 кг.

7. Годовой фактический экономический эффект от внедрения УВМ составил 1,02 тыс.руб (в ценах 1991 г.)

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Майко И.П., Меркуль Г.В., Асмоловский М.К. "Узкозахват-

ная валочная машина для рубок ухода" // Лесоэксплуатация и лесосплав Н.Т.Реф.сб., вып.5, М.1987 г.

2. Майко И.П., Шпилевский Л.Н., Асмоловский М.К. Захватно-срезающее устройство для рубок ухода // Лесоэксплуатация и лесосплав. Н.Т. реф.сб., вып.6, М.1987.

3. Жуков А.В., Майко И.П., Асмоловский М.К. Применение узкозахватных валочных машин в лесохозяйственном производстве. Лесное хозяйство, М.-1988. №1.

4. Жуков А.В., Майко И.П., Асмоловский М.К. Динамическая нагруженность захватно-срезающего устройства валочных машин. Изв.вузов. Лесной журнал, №5, 1989 г.

5. Жуков А.В., Майко И.П., Асмоловский М.К. Экспериментальная оценка динамически показателей узкозахватной валочной машины на базе трактора МТЗ-82 // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины, Мн., Выпэйш.школа, вып.4.-1969г.

6. Жуков А.В., Майко И.П., Асмоловский М.К. К применению узкозахватных валочных машин.-Лесная промышленность, №4,1990г.

7. Майко И.П., Жуков А.В., Асмоловский М.К. К применению узкозахватных валочных машин в лесохозяйственном производстве // Вопросы механизации лесозаготовок в Польше и Чехословакии. Варшава - Рогов,-1990г. стр. 12-13.

8. Жуков А.В., Асмоловский М.К. и др. Прогнозирование ресурса несущих конструкций транспортных средств. Обз. инф. БелНИИТИ, Мн., 1990г.

9. Жуков А.В., Гороновский А.Р., Асмоловский М.К. Оценка параметров колесных тракторов при агрегатировании с лесозаготовительным технологическим оборудованием.-Изв.вузов, Лесной журнал,- №5,1991г.

10. Жуков А.В., Асмоловский М.К. и др. Конструктивные особенности и применение колесных машин на лесозаготовках. Обз. инф. БелНИИТИ. Мн. 1992г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим присылать по адресу: 220630, Республика Беларусь, Минск, ул.Свердлова, 13 а, БТИ, Ученый совет.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ УЗКОЗАХВАТНОЙ ВАЛОЧНОЙ МАШИНЫ

Асмоловский Михаил Корнеевич

Подписано в печать 22.10.93. Формат 60x84¹/16. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 1,4. Усл.кр.-рпт. 1,4. Уч.-изд.л. 1,1.

Тираж 100 экз. Заказ 461. Бесплатно.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени технологический
институт им.С.М.Кирова. 220630. Минск, Свердлова, 13 а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского ордена Трудового
Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова.

220630. Минск, Свердлова, 13 .