

634.98
к-72

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

На правах рукописи

С. Г. КОСТОГРЫЗ

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОЛЕБАНИЙ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТДТ-56**

(Специальность 05.420, машины, механизмы
и технологии лесоразработок, лесозаготовок
и лесного хозяйства)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК, 1969 год

634-98
К-72

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Б С С Р

ЮНН

Белорусский технологический институт имени С.м.Кирова

на правах рукописи

КОСТОГРЫЗ С.Г.

17 апр. 1969 г.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТРЕХВЕЩНОГО
ТРАКТОРА ТДТ-55

Специальность 05.420

Машины, механизмы и технологии лесоразработок,
лесозаготовок и лесного хозяйства

2217ар

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

БИБЛИОТЕКА ВТИ
имени С. М. КИРОВА

Минск, 1969 г.

Работа выполнена во Львовском лесотехническом институте

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор **Б.Г. ГАСТЕВ**

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор **Ф.Л. ОПЕЙКО**

кандидат технических наук **А.В. ЖУКОВ**

Ведущее предприятие - Онежский тракторный завод

Автореферат разослан "... " _____ 1969 г.

Защита диссертации состоится "... " _____ 1969 г.
на заседании Ученого Совета Белорусского технологического института им. С.М. Кирова (гор. Минск, ул. Свердлова, 13-а, корпус 4, аудитория 220).

С диссертацией можно ознакомиться в
библиотеке института

Ученый секретарь совета
кандидат технических наук,
доцент

(И.М. ПЛЕХОВ)

В В Е Д Е Н И Е

Успешное выполнение задач, поставленных партией и Советским Правительством перед лесной промышленностью, требует ускоренных темпов технического прогресса на основе совершенствования и создания новой, более прогрессивной техники и технологии.

В последнее время заметна тенденция создания целого семейства лесозаготовительных и лесохозяйственных машин на базе новой модели гусеничного трелевочного трактора ТДТ-55.

Этим объясняются возросшие требования к повышению производительности, надежности и долговечности при одновременном снижении металлоемкости этого трактора, а также к улучшению условий труда трактористов. Удовлетворение этих требований, кроме всего остального, предполагает решение ряда задач, к которым относятся: снижение динамических нагрузок в механизмах и агрегатах трактора и колебаний, которые не только определяют нагрузочные режимы механизмов трактора, но и резко ухудшают условия труда трактористов.

Такие задачи могут быть решены только на основе теоретических и экспериментальных исследований закономерностей взаимодействия трелевочного трактора с элементами лесных волоков и динамических процессов колебательного характера, происходящих при движении трелевочного трактора по волоку, а также посредством создания на этой основе и внедрения в практику конструирования новых, более совершенных методов расчета, наиболее полно отражающих существо и характер протекания физических процессов в механизмах трактора.

В связи с этой проблемой колебаний и поддрессирования трелевочных тракторов начинает занимать существенное место в общем комплексе их исследований. Однако такого рода исследования еще не получили развития и представлены весьма немногочисленными работами.

Поэтому возникает необходимость широких теоретических и экспериментальных исследований колебаний трелевочных тракторов.

Настоящая работа посвящается некоторым вопросам теоретического и экспериментального исследования колебаний гусеничного трелевочного трактора ТДТ-55.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность и признательность коллективу Головной конструкторской и исследовательской организации Онежского тракторного завода, оказавшему неоценимую помощь при выполнении этой работы.

Глава I. Краткий обзор литературы и постановка задачи.

Обзор литературы по данному вопросу показал, что несмотря на быстрые темпы развития лесной тяговой техники и наличие обширных работ по теории и конструированию трелевочных машин известных отечественных ученых С.Ф.Орлова, А.М.Гольдберга, Л.И.Зайчика, Б.М.Прохорова, исследованиям колебаний гусеничных трелевочных тракторов должного внимания не уделяется. В этом направлении исследований известны только работы Г.М.Анисимова и Ю.Л.Ковалева.

Существующие методы исследований и расчета колебаний сельскохозяйственных тракторов и тракторов общего назначения, изложенные в работах Е.Д.Львова, Е.Д.Чудакова, Д.А.Попова, В.Я.Аниловича, А.С.Тригорьевой, В.Н.Кошмана и др. не могут быть целиком и полностью применены для гусеничных трелевочных

тракторов в силу целого ряда специфических особенностей их конструкции и эксплуатации.

В настоящее время неизучены вопросы влияния тяговой динамики на плавность хода трелевочного трактора, а также вопросы влияния плавности хода на тяговую динамику. Недостаточно исследован вопрос о влиянии параметров гусеничных движителей на колебания момента сопротивления движению трелевочного трактора, обусловленные неравномерностью работы гусеничных движителей.

Отсутствие экспериментальных и обоснованных расчетных данных по колебаниям остова гусеничного трелевочного трактора, водителя на сидении, а также по колебаниям движущих сил и внешних сопротивлений, преодолеваемых трактором при движении по неровностям волока, препятствует совершенствованию его ходовой системы и трансмиссии.

В связи с этим возникает необходимость в исследованиях колебаний трелевочного трактора, которые позволили бы на основе полученных результатов дать рекомендации по улучшению его плавности хода, тяговой динамики и гусеничных движителей.

Предпосылки для такого рода исследований изложены в названных выше работах, в многочисленных трудах фундаментального характера по вопросам плавности хода автомобилей Е.А.Чудакова, Е.Д.Чудакова, А.К.Бирули, Д.Б.Гельфгата, О.К.Прутчикове, Я.И.Певзнера, И.Г.Паркиловского, Р.В.Ротенберга, А.А.Силаева, Н.Н.Яценко, а также в работах Б.Г.Гастева, В.И.Мельникова, Б.В.Билька, Е.И.Лаха, С.В.Войта, А.В.Жукова по исследованиям динамики лесовозных автопоездов.

В предлагаемой диссертации решались следующие задачи:

I. На основании выбранных и обоснованных расчетных схем, возможно наиболее полно отражающих реальную картину колебаний гусеничного трелевочного трактора при движении по неровностям волока,

соответствующих дифференциальных уравнений получить операторы для оценки динамических качеств трелевочного трактора как колебательной системы в виде передаточных функций главных параметров исследуемых колебаний и соответствующих им амплитудно-фазовых частотных характеристик.

2. Используя полученные амплитудно-частотные характеристики исследовать:

- а/ влияние тяговой динамики на плавность хода трактора;
- б/ влияние плавности хода и качества системы поддрессоривания на тяговую динамику трелевочного трактора.

3. Исследовать вопрос о колебаниях момента сопротивления движению трелевочного трактора, возбуждаемых гусеничными двигателями и установить влияние его параметров на эти колебания.

4. Провести экспериментальные исследования колебаний остова трактора, водителя на сидении, а также колебаний движущих сил и внешних сопротивлений, преодолеваемых трактором при движении по неровностям волока с целью получения опытных данных для проверки результатов теоретических исследований.

5. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований дать оценку плавности хода и качества системы поддрессоривания трактора ТДТ-55, а также разработать рекомендации по улучшению динамических качеств системы поддрессоривания и гусеничного двигателя трелевочного трактора.

6. Для получения возможности экспериментальной проверки вновь создаваемых конструкций систем поддрессоривания трелевочных тракторов до их изготовления в металле дать методику электрического моделирования колебаний трелевочного трактора.

Настоящие исследования выполнены с помощью методов операционного исчисления, теории автоматического регулирования, ЭЦВМ

и методов электрического моделирования механических процессов.

Глава II. Теоретические исследования.

На основании анализа методов исследования общей динамики грейдерных тракторов, разработанных С.Ф.Орловым и А.М.Гольдбергом, а также методов составления расчетных колебательных схем транспортных систем, изложенных в работах В.Я.Аниловича, Б.Г.Гастева, Д.А.Попова, Е.Д.Чудакова и др., составлены схемы для расчета колебаний остова трактора ТДТ-55 и тракториста на сидении при движении по неровностям волока как с жестким так и с гибким пакетом хлыстов.

Основной особенностью принятых расчетных схем является то, что они учитывают воздействие на поддрессоренный остов трактора не только неровностей волока, но также движущих сил и внешних сопротивлений, преодолеваемых трактором. Уравнения движения поддрессоренного остова трактора для случая, когда пакет хлыстов принят абсолютно жестким, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z} + a_{11}\dot{z} + a_{10}z + \theta_{11}\dot{\theta} + \theta_{10}\theta &= \\ = \frac{1}{m_{np}} \left[\sum_{i=1}^{2n} (k_i y_{ki} + c_i y_{ki}) + K_1 M_p + K_2 P_f + K_3 F_j \right]; & \\ \ddot{\theta} + \theta_{21}\dot{\theta} + \theta_{20}\theta + a_{21}\dot{z} + a_{20}z &= \\ = \frac{1}{J_{np}} \left[\sum_{i=1}^{2n} (k_i y_{ki} + c_i y_{ki}) l_{ki} + K_{11} M_p + K_{21} P_f + K_{31} F_j \right] & \end{aligned} \right\} //1/$$

Уравнение движения водителя на сидении

$$\ddot{\xi} + d_{31}\dot{\xi} + d_{30}\xi + a'_{31}\dot{z} + a'_{30}z + \theta'_{31}\dot{\theta} + \theta'_{30}\theta = 0 //2/$$

где z - вертикальное перемещение центра тяжести поддрессоренной системы;

- θ - угол поворота корпуса трактора в продольной плоскости вокруг поперечной оси, проходящей через центр тяжести;
- $a_{10}; a_{11}; b_{20}; b_{21}$ - постоянные коэффициенты, зависящие от главных параметров системы поддрессирования;
- $b_{10}; b_{11}$ - коэффициенты связи вертикальных линейных колебаний центра тяжести поддрессированной системы Z с продольно-угловыми колебаниями θ ;
- $a_{20}; a_{21}$ - коэффициенты связи продольно-угловых перемещений θ с вертикальными перемещениями Z ;
- $m_{пр}; J_{пр}$ - приведенная масса и приведенный момент инерции поддрессированной системы;
- n - количество опорных катков по одному борту трактора;
- C_i - жесткость рессор i -тых кареток подвески;
- k_i - коэффициент сопротивления в подвеске i -тых кареток;
- u_{ki} - вертикальное перемещение оси каретки, обусловленное неровностями волока;
- l_{ki} - расстояние от центра тяжести поддрессированной системы до вертикальной оси, проходящей через ось балансира i -той каретки;
- M_p - переменная составляющая крутящего момента на ведущих звездочках;
- P_f - переменная составляющая сопротивления передвижению трактора;
- F_j - переменная составляющая продольной горизонтальной силы инерции, приложенной в центре тяжести поддрессированной системы;
- $K_1, K_2, K_3, K_{11}, K_{21}, K_{31}$ - коэффициенты, зависящие от геометрических параметров трактора;

- ξ - вертикальное перемещение водителя на сидении;
- a_{30}, a_{31} - коэффициенты, зависящие от параметров колебательной системы "водитель-сидение";
- a'_{30}, a'_{31} - коэффициенты связи вертикальных колебаний водителя на сидении ξ с вертикальными колебаниями остова трактора z ;
- $\theta'_{30}, \theta'_{31}$ - коэффициенты связи вертикальных колебаний водителя на сидении с продольно-угловыми колебаниями остова трактора θ .

В качестве операторов для оценки динамических качеств исследуемых колебательных систем приняты передаточные функции главных параметров колебаний и соответствующие им амплитудно-фазовые частотные характеристики.

Амплитудно-частотные характеристики позволяют исследовать вынужденные колебания подрессоренного корпуса трактора при движении по периодически повторяющимся неровностям гармонического профиля. С точки зрения оценки качеств подвески резонансный режим движения по периодически повторяющимся неровностям является наихудшим из всех действительно возможных случаев движения трактора в реальных условиях.

Применяя к уравнениям /1/ прямое преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях и методы теории автоматического регулирования, получены алгебраические уравнения комплексного переменного S для определения передаточных функций вертикальных линейных $W_z(s)$ и продольно-угловых колебаний $W_\theta(s)$ остова трактора как "тяговой машины", т.е. с учетом воздействия на подрессоренную систему не только неровностей волокна, а также движущих сил и внешних сопротивлений преодолеваемых трактором при движении по волоку.

$$\left. \begin{aligned} W_z(s) &= W_z'(s) + K_z(s)R_M(s) + \Phi_z(s)R_f(s) + \Pi_z(s)R_j(s) \\ W_\theta(s) &= W_\theta'(s) + K_\theta(s)R_M(s) + \Phi_\theta(s)R_f(s) + \Pi_\theta(s)R_j(s) \end{aligned} \right\} /3/$$

Эти уравнения содержат три группы передаточных функций:

I - передаточные функции $W_z'(s)$, $W_\theta'(s)$ вертикальных и продольно-угловых колебаний от неровностей волока к остову трактора как "повозки" учитывают воздействие на подрессоренный остов трактора только микропрофиля волока.

II - передаточные функции, характеризующие влияние тяговой динамики на плавность хода трактора: $K_z(s)$, $K_\theta(s)$ - передаточные функции, характеризующие изменение вертикальных линейных и продольно-угловых перемещений остова трактора при изменении крутящего момента на ведущих звездочках; $\Phi_z(s)$, $\Phi_\theta(s)$ - передаточные функции вертикальных линейных и продольно-угловых колебаний остова трактора, обусловленных изменением сопротивления передвижению трактора; $\Pi_z(s)$, $\Pi_\theta(s)$ - передаточные функции, характеризующие изменение обобщенных координат Z и θ в зависимости от изменения продольной горизонтальной силы инерции трактора при движении по неровностям волока.

III - передаточные функции, характеризующие влияние плавности хода на тяговую динамику трелевочного трактора: $R_M(s)$, $R_f(s)$, $R_j(s)$ - соответственно передаточные функции, характеризующие изменение крутящего момента на ведущих звездочках, сопротивления передвижению и продольной горизонтальной силы инерции трактора при движении по неровностям микропрофиля волока.

Первая и вторая группы этих передаточных функций получены путем применения принципа суперпозиции к уравнениям /I/ и известного аппарата определения передаточных функций.

Передаточные функции второй группы имеют вид:

$$K_z(s) = \frac{b_{11}K_1(s^2 + b_{21}s + b_{20}) - a_{21}K_{11}(b_{11}s + b_{10})}{m_{np}b_{11}[(s^2 + a_{11}s + a_{10})(s^2 + b_{21}s + b_{20}) - (b_{11}s + b_{10})(a_{21}s + a_{20})]} \quad /4/$$

$$K_\theta(s) = \frac{a_{21}K_{31}(s^2 + a_{11}s + a_{10}) - b_{11}K_3(a_{21}s + a_{20})}{J_{np}a_{21}[(s^2 + a_{11}s + a_{10})(s^2 + b_{21}s + b_{20}) - (b_{11}s + b_{10})(a_{21}s + a_{20})]} \quad /5/$$

и т.д.

Передаточные функции третьей группы определялись из дополнительных условий и уравнений, характеризующих зависимость сопротивления передвижению, продольных горизонтальных ускорений остова и крутящего момента на ведущих звездочках трактора от обобщенных координат z и θ и параметров поддрессорной системы. В результате получено, что:

$$R_f(s) = f \sum_{i=1}^{2n} \left\{ (m_n s^2 + k_i s + c_i) - (k_i s + c_i) [W_z(s) + W_\theta(s) l_{i3}] \right\} \quad /6/$$

где m_n - неподдрессоренная масса трактора;

f - удельное сопротивление передвижению трактора.

$$R_j(s) = 2m_{np}s^2 W_z(s) W_\theta(s) F_i(s) \quad /7/$$

где $F_i(s)$ - Лапласово изображение функции воздействия от неровностей микропрофиля волока.

Если допустить, что переменная составляющая силы тяги на конике и в тросе лебедки равна нулю, то

$$R_M(s) = [R_f(s) + R_j(s)] \cdot z_{3\theta} \quad /8/$$

где $z_{3\theta}$ - радиус начальной окружности ведущей звездочки.

Физический смысл уравнений /3/ состоит в том, что результирующие колебания $z(s)$ и $\theta(s)$ равны сумме колебаний, каждое

на которых возбуждается определенным возмущением, т.е. микропрофилем волока, переменными составляющими сопротивления передвижения, продольной горизонтальной силы инерции и крутящего момента на ведущих звездочках трактора. Действительно, если правые и левые части выражений /8/ умножить на $F_1(s)$, получим изображения результирующих колебаний:

$$\left. \begin{aligned} z(s) &= z_1(s) + z_2(s) + z_3(s) + z_4(s) \\ \theta(s) &= \theta_1(s) + \theta_2(s) + \theta_3(s) + \theta_4(s) \end{aligned} \right\} /9/$$

Выражения для амплитудно-фазовых частотных характеристик, соответствующих указанным выше передаточным функциям, получены путем подстановки в выражения передаточных функций $S = i\omega$ ω - частота функции воздействия.

На основании этих выражений с помощью ЭЦВМ "Промінь 2М" вычислены амплитудно-частотные характеристики колебаний остова, движущих сил и внешних сопротивлений трелевочного трактора ТДТ-55, позволившие сделать выводы о взаимосвязи плавности хода и тяговой динамики, а также о качестве системы поддресоривания трактора ТДТ-55 /рис. 1/.

Получена формула для определения амплитудно-частотной характеристики колебательной системы "водитель-сидение", позволяющая исследовать ускорения водителя на сидении при резонансном режиме в зависимости от жесткости S_c и демпфирования μ_c сидения.

$$R\ddot{\xi}(\mu_c, S_c) = \frac{S_c}{m_{тр}} \sqrt{1 + \frac{S_c}{\mu_c^2} m_{тр}} \quad /10/$$

В главе рассмотрен вопрос о колебаниях крутящего момента на ведущих звездочках, возбуждаемых гусеничными двигателями. Полу-

чены формулы для определения степени неравномерности крутящего момента δ_c на ведущих звездочках и его амплитуды колебаний в зависимости от параметров гусеничного движителя:

$$\delta_c = \frac{2m_z z_{3\beta}^2 z \omega_{3\beta}^2}{M_{cp}} \cdot \frac{(\beta-1)}{(\beta+1)}; \quad /11/$$

$$\tilde{M}_0 = m_z z_{3\beta}^2 z \omega_{3\beta}^2 \cdot \frac{(\beta-1)}{(\beta+1)}; \quad /12/$$

где m_z - приведенная масса трактора;

z - число зубьев ведущей звездочки;

$\omega_{3\beta}$ - угловая скорость вращения ведущей звездочки;

M_{cp} - средняя величина крутящего момента на ведущих звездочках.

Эти формулы позволили установить влияние параметров гусеничных движителей на колебания крутящего момента, возбуждаемые ими на ведущих звездочках /рис.2/, а также сделать ряд соответствующих выводов и рекомендаций.

Глава III. Экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования выполнены в творческом содружестве с Головной конструкторской и исследовательской организацией Онежского тракторного завода на полигоне испытательного отряда ОТЗ в пос. Нелгомозеро КАССР.

Опытные работы производились на основании предварительно разработанной методики проведения испытаний на основе ГОСТ - 7057-54 и ряда работ по исследованиям тракторов. Методикой предусмотрено измерение следующих параметров: деформаций передних и задних рессор; вертикальных ускорений рамы трактора в месте

установки сидения водителя и у точки подвеса задней рессоры; вертикальных ускорений водителя на сидении; продольных горизонтальных ускорений центра тяжести трактора; крутящего момента на ведомом валу бортовой передачи; числа оборотов ведущей звездочки; времени протекания процессов.

Деформации рессор измерялась с помощью специально сконструированных и изготовленных потенциметрических реохордных датчиков, позволяющих по углу поворота рычага подвески измерять деформацию рессоры.

Для измерения ускорений использовались акселерометры инерционного типа /АТ-1, АТ-2, АТ-3, АТ-4/ конструкции НАТИ с проволочными преобразователями сопротивления по 168,2 ом, соединенными по полумостовой схеме, и жидкостным демпфированием.

Измерения крутящего момента на ведомом валу бортовой передачи производились посредством проволочных тензодатчиков сопротивления базой 30 мм, сопротивлением по 400 ом, наклеенных под углом 45° к оси вала и соединенными по полумостовой схеме. Электрический сигнал с тензодатчиков при вращении вала снимался с помощью пятикамерного ртутно-амальгамированного токосъемника концевой типа конструкции НАТИ.

Отметка числа оборотов ведущей звездочки осуществлялась с помощью простейшего контактного преобразователя, собранного в одном блоке с токосъемником. Время через каждую 0,1 сек регистрировалось отметчиком времени осциллографа Н-700.

Поскольку чувствительность акселерометров и преобразователей для измерения крутящего момента недостаточна для непосредственной записи регистрируемых процессов на фотобумаге осциллографа, нами применен тензометрический усилитель 8АНЧ-7М, надежно работающий в условиях вибраций и кратковременных перегрузок.

Исследуемые процессы регистрировались одновременно на фотобумаге с помощью осциллографа Н-700. Все потребители электрического тока получали питание от двух аккумуляторных батарей 6СТ-128М.

В качестве преобразователя напряжения питания тензоусилителя 8АНЧ-7М применен полупроводниковый батарейный преобразователь питания ПБПП-2М. Хорошая внутренняя стабилизация и большая емкость аккумуляторных батарей обеспечивала стабильное питание усилителя при длительной работе. Электроизмерительная аппаратура с источниками питания размещалась в специальной кабине оператора на исследуемом тракторе.

Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и лабораторно-полевых условиях. Лабораторные исследования заключались в определении параметров собственных колебаний подрессоренного остова трактора - собственных частот и затухания. Собственные колебания подрессоренного остова трактора вызывались вздыбливанием трактора с последующим мгновенным его опусканием. По кривым колебательного процесса определялись собственные частоты и затухание.

Лабораторно-полевые исследования производились:

1/ на кольцевом волокне полигона с расположенными на нем искусственными неровностями;

2/ на участках трелевочных волоков с естественными неровностями и на участках дорог без видимых неровностей микропрофиля.

Трактор ТДТ-55 оборудованный измерительной аппаратурой проезжал по опытным участкам на вполне определенных передатках как с грузом /пакет хлистов объемом 5,6 м³/, так и без груза. Необходимое количество опытов при переезде искусственных не-

ровностей и необходимая длина волока определено на основании коэффициентов вариации исследуемых параметров, полученных пробным циклом замеров, при заданной вероятности и необходимой точности по "Номограмме достаточно больших чисел" и "Таблице достаточно больших чисел".

В результате проведенных испытаний получено около 150 рабочих осциллограмм. Для получения экспериментальных данных применялись различные методы обработки осциллограмм. С целью проверки теоретических выводов о взаимосвязи плавности хода и тяговой динамики трелевочного трактора при движении по неровностям волока применялся метод практического гармонического анализа осциллограмм деформаций рессор, крутящего момента на ведущей звездочке, вертикальных и продольных ускорений остова трактора. Этот метод позволил получить экспериментальные амплитудно-частотные характеристики исследуемых параметров, произвести качественную и количественную оценку колебательных процессов, происходящих при движении трактора по неровностям волока, и сопоставить их с расчетными амплитудно-частотными характеристиками.

Кроме того, путем соответствующей обработки осциллограмм с применением методов вариационной статистики получены данные о нагруженности рессор трактора ТДТ-55, о величинах ускорений, воздействующих на остов трактора и водителя при движении по неровностям волока, позволяющие произвести оценку его плавности хода и качества системы подрессоривания.

Глава IV. Применение метода электрического моделирования для исследования колебаний трелевочного трактора

В главе изложена методика и результаты электрического моделирования колебаний подрессоренного остова трелевочного трак-

тора на электрической модели-аналоге.

Электрическая модель-аналог треловочного трактора как колебательной системы представляет собой электрическую цепь, состоящую из пассивных элементов L, C, R , источников напряжения и электронных усилителей, которая описывается теми же уравнениями, что и оригинал и составляется по методу электро-механических аналогий.

Построение электрической модели производилось по второй системе электро-механических аналогий /"ток-сила"/, в которой массе исследуемой механической системы соответствует емкость, гибкости упругих элементов - индуктивность, демпфированию - омическая проводимость, механической силе - ток, скорости - напряжение в электрической модели.

Параметры модели рассчитаны на основании предварительно определенных из соответствующих соотношений констант подобия /масштабов моделирования/.

Соотношения между масштабами моделирования для модели имеют вид:

$$\frac{\mu_t \cdot \mu_i}{\mu_c \cdot \mu_{u_2}} = 1; \quad \frac{\mu_t \cdot \mu_i}{\mu_c \cdot \mu_u \cdot \mu_n} = 1; \quad \frac{\mu_t \cdot \mu_i}{\mu_c \cdot \mu_{u_0}} = 1;$$

$$\frac{\mu_L \cdot \mu_i}{\mu_u \cdot \mu_t} = 1; \quad \frac{\mu_L \cdot \mu_i}{\mu_u \cdot \mu_t \cdot \mu_n} = 1; \quad \frac{\mu_L \cdot \mu_i}{\mu_{u_0} \cdot \mu_t \cdot \mu_n^2} = 1; \quad /13/$$

$$\frac{\mu_i}{\mu_g \cdot \mu_u} = 1; \quad \frac{\mu_i}{\mu_g \cdot \mu_u \cdot \mu_n} = 1; \quad \frac{\mu_i}{\mu_g \cdot \mu_{u_0} \cdot \mu_n^2} = 1,$$

где μ_t - масштаб времени;

μ_i - масштаб силы тока;

μ_{u_2} / μ_{u_0} - соответственно масштабы напряжений, моделирующих скорости угловых и вертикальных перемещений остова трактора;

μ_C - масштаб емкости;

μ_L - масштаб индуктивности;

μ_g - масштаб омической проводимости;

μ_n - масштаб коэффициента трансформации автотрансформатора, моделирующего рычаг.

Три масштаба определялись произвольно, а остальные из соотношений /13/:

$$\begin{aligned} \mu_C &= \frac{m}{C} \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{сек}^2}{\text{фарада}} \right]; & \mu_L &= \frac{e}{L} \left[\frac{\text{м} \cdot \text{кг}^{-1}}{\text{генри}} \right]; \\ \mu_u &= \frac{v}{u} \left[\frac{\text{м} \cdot \text{сек}^{-1}}{\text{вольт}} \right]; & \mu_t &= \sqrt{\mu_L \cdot \mu_C}; & /14/ \\ \mu_g &= \frac{\mu_t}{\mu_L} \left[\frac{\text{генри}}{\text{м} \cdot \text{кг}^{-1}} \right]; & \mu_i &= \mu_g \mu_u \left[\frac{\text{кг}}{\text{ампер}} \right]; \\ \mu_\omega &= \mu_t^{-1}. \end{aligned}$$

Моделирование проводилось на специальной установке, блок-схема которой показана на рис.3.

Установка состоит из блоков стандартных магазинов сопротивлений, индуктивностей и емкостей, которые служат для построения модели. Электрическая схема модели набиралась на коммутационной панели подключением элементов модели и измерительных приборов при помощи штекеров к клеммам коммутационной панели.

Для задания в модель внешних импульсов, имитирующих кинематическое возбуждение со стороны неровностей волока специально

сконструирован и изготовлен фотоэлектрический генератор импульсов напряжения, позволяющий задавать в модель одновременно с заданным сдвигом фаз по отношению друг к другу четыре импульса напряжения необходимой для исследований формы. Такое количество одновременно задаваемых в модель импульсов объясняется тем, что подвеска трактора ТДТ-55 содержит 4 опорных катка по одному борту. Сдвиг фаз между импульсами зависит от размещения опорных катков и скорости движения трактора U_T . Каждый канал фотоэлектрического генератора воспроизводит диаграмму напряжений, которая должна моделировать скорость вертикального перемещения опорного катка при перемещении его по гармоническому профилю высотой H .

$$y(t) = H \frac{2\pi U_T}{3,6 S} \cos\left(\frac{2\pi U_T}{3,6 S} t\right) \quad /15/$$

где S - длина неровности в м.

Принцип действия генератора основан на амплитудной и частотной модуляции светового потока, направленного на фотоэлементы СДВ-4, фотодиаграммой, нанесенной на прозрачный диск из органического стекла. Фотоэлементы размещены по окружности диска, количество их равно числу опорных катков по одному борту трактора. Выражение для определения режима работы генератора импульсов в зависимости от его параметров, геометрических параметров подвески и режима движения трактора имеет вид:

$$n_2 = \frac{\mu_t \cdot U_T \cdot \alpha}{6 l_0} ; \quad /16/$$

где n_2 - число оборотов в минуту диска с фотодиаграммой;
 α - угол в градусах между щелями диафрагм двух соседних каналов генератора;

БЛИОТЕ
 НИ С. М. 3А

22/12/58

l_0 - расстояние между двумя соседними опорными катками подвески трактора, м.

Кроме того, в качестве иммитатора внешних возмущений применялся генератор гармонических колебаний звуковой частоты ЭГ-10.

Метод электрического моделирования позволил с большой надежностью исследовать количественную и качественную стороны колебаний подрессоренной массы трелевочного трактора при движении по неровностям волока, построить амплитудно-частотные характеристики вертикальных линейных и продольно-угловых колебаний остова трактора, как с учетом запаздывания в системе, так и без учета запаздывания. Посредством измерений токов в соответствующих местах схемы модели определены усилия в упругих элементах подвески при движении трактора как с грузом, так и без груза через неровности заданной высоты.

Электрические колебательные процессы регистрировались на пленке осциллографа МПО-2 и наблюдались визуально на экране электронного осциллографа ЭНО-2 и СИ-1.

Результаты исследований, выводы и рекомендации.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено:

1. Амплитудно-частотные характеристики вертикальных линейных, продольно-угловых перемещений и ускорений остова трактора, обусловленных как изменением микропрофиля волока так и изменениями движущих сил и внешних сопротивлений, имеют две явно выраженные низкочастотные области. Области, соответствующие низшей резонансной частоте воздействия находятся в диапазоне

частот $\omega = 7+10$ 1/сек при движении трактора с нагрузкой пакетом хлыстов объемом $5,6 \text{ м}^3$ и характерны значительным возрастанием перемещений остова трактора, а интервал частот от $14+24$ 1/сек соответствует высшей собственной частоте и отличается значительным возрастанием ускорений. Собственные частоты подрессоренного остова трактора без нагрузки от пакета хлыстов соответственно равны $1,45$ и $3,45$ герц.

2. Наличие двух явно выраженных резонансных областей на амплитудно-частотных характеристиках как вертикальных линейных так и продольно-угловых колебаний остова трактора указывает на взаимосвязь этих колебаний и свидетельствует о ярко выраженной несимметричности подвески трактора ТДГ-55.

Коэффициенты связи: для негруженого трактора -

$$b_{10} = -191 \text{ м/сек}^2; \quad b_{11} = 3,75 \text{ м/сек};$$

$$a_{20} = 46,3 \text{ 1/м.сек}^2; \quad a_{21} = -0,91 \text{ 1/м.сек};$$

для трактора с нагрузкой пакетом хлыстов объемом $5,6 \text{ м}^3$

$$b_{10} = 68,3 \text{ м/сек}^2; \quad b_{11} = -1,05 \text{ м/сек};$$

$$a_{20} = -16,0 \text{ 1/м.сек}^2; \quad a_{21} = -0,25 \text{ 1/м.сек}^2.$$

3. Запаздывание в системе существенно влияет на динамические качества подрессоренной системы, ухудшая ее амплитудно-частотные характеристики.

4. Во всех случаях большие значения параметров колебаний остова трактора соответствуют амплитудно-частотным характеристикам системы как "тяговой машины", а меньшие значения амплитудно-частотным характеристикам системы как "повозки". Это указывает на необходимость учитывать при расчетах плавности хода трактора воздействия на подрессоренный остов колебаний движущих сил и внешних сопротивлений преодолеваемых трактором.

5. Тяговая динамика существенно влияет на плавность хода трелевочного трактора. Это влияние наиболее сказывается в области частот колебаний движущих сил и внешних сопротивлений, соответствующих собственным частотам поддрессоренной системы и особенно сильно в области нашей собственной частоты. При колебаниях крутящего момента на ведущих звездочках с амплитудой 500 кгм и частотой 8 1/сек возбуждаются колебания рамы трактора в месте установки сидения водителя с амплитудой 0,12 м. При частотах воздействия больших 28 1/сек влияние тяговой динамики на плавность хода трелевочного трактора незначительно. Плавность хода гусеничного трелевочного трактора ограничивается неравномерностью работы гусеничных движителей. Колебания крутящего момента на ведущих звездочках, обусловленные неравномерной работой гусеничных движителей, возбуждают колебания остова трактора. Ускорения рамы трактора в месте установки сидения водителя изменяются в пределах от 0,39 до 2,05 м/сек² при скоростях движения от 0,56 до 2,35 м/сек по ровной дороге, что соответствует частотам колебаний крутящего момента и рамы трактора в интервале 5,0 ± 18,0 герц.

6. Плавность хода трелевочного трактора существенно влияет на его тяговую динамику. Колебания поддрессоренного остова трактора являются одной из основных причин колебаний движущих сил и внешних сопротивлений преодолеваемых трактором.

Амплитудно-частотные характеристики продольных горизонтальных ускорений центра тяжести трактора связывают динамические характеристики поддрессоренной системы с характеристиками воздействия. Максимальные значения продольных ускорений остова трактора возникают при частотах воздействия, соответствующих резонансным частотам продольно-угловых колебаний остова.

В этой зоне наиболее сильно выражена связь вертикальных и продольно-угловых колебаний с горизонтальными ускорениями остова трактора. При частотах больших 15 1/сек эта связь незначительна, что объясняется сравнительно небольшими амплитудами продольно-угловых колебаний. При движении трактора с расчетной нагрузкой со скоростью 1 м/сек по синусоидальному профилю высотой 0,1 м максимальные значения амплитуд продольных горизонтальных ускорений центра тяжести трактора достигают 9 м/сек².

Перевод неровностей и сосредоточенных препятствий сопровождается интенсивными колебаниями движущих сил и внешних сопротивлений трактора с частотами, близкими к нижней собственной частоте колебаний его остова.

Переменная составляющая крутящего момента на ведущих звездочках при этом обусловлена продольными горизонтальными силами инерции и переменной составляющей сопротивления движению трактора за счет дополнительной нагрузки на опорные катки от деформации рессор вследствие колебаний остова. Изменение деформации передних и задних рессор на 35+40% сопровождается при этом изменением крутящего момента на ведущих звездочках на 32+35% и продольного ускорения на 28+38%.

7. При движении трактора по ровным участкам волоков и дорог периодические колебания крутящего момента на ведущих звездочках обусловлены неравномерной работой гусеничных движителей. Изменение крутящего момента на ведущих звездочках трактора ТДТ-55 происходит 11 раз за один оборот звездочки, что соответствует числу ее зубьев.

В зависимости от скорости движения трактора и нагрузки колебания крутящего момента происходят с частотами 5+16 герц и рамахом 250+550 кгм.

Увеличение неравномерности работы гусеничных двигателей приводит к увеличению амплитуд колебаний крутящего момента на ведущих звездочках.

С увеличением числа зубьев ведущей звездочки и уменьшением радиуса ее начальной окружности амплитуда колебаний крутящего момента уменьшается.

8. Переезд трактора через сосредоточенные препятствия сопровождается значительными нагрузками на упругие элементы подвески. Величина динамических нагрузок зависит как от скорости движения трактора и параметров подвески, так и от характеристики препятствий.

Средние значения коэффициентов динамичности нагрузок на рессоры колеблются в пределах:

а/ при переезде характерных препятствий $1,56 + 3,80$;

б/ при движении по волоку без сосредоточенных препятствий
 $1,15 + 1,81$.

9. Собственные колебания остова трактора ТДТ-55 происходят с затуханием $\psi = 0,23$, что является близким к оптимальному.

10. Остов трактора и водитель на сидении при движении испытывают значительные вертикальные ускорения. Средние квадратические значения вертикальных ускорений:

а/ при движении трактора через сосредоточенные препятствия:

рамы трактора в месте установки сидения водителя -

- $4,11 + 8,55 \text{ м/сек}^2$;

водителя на сидении - $4,72 + 7,96 \text{ м/сек}^2$;

б/ при движении трактора по волоку без сосредоточенных препятствий:

рамы трактора в месте установки сидения водителя -

$0,89 + 2,87 \text{ м/сек}^2$;

водителя на сидении - $0,44 + 2,72 \text{ м/сек}^2$.

11. Расхождения между результатами теоретических, экспериментальных исследований и результатами, полученными путем электрического моделирования соответственно находятся в пределах 4,7 + 15,4% и 10 + 15%.

12. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать отдельные выводы относительно плавности хода и качества системы поддрессоривания трелевочного трактора ТДТ-55:

- а/ запас удельной потенциальной энергии рессор достаточен для безударного переезда порожнем препятствия высотой 0,15 м со скоростью 5,9 км/час и со скоростью 3,8 км/час с нагрузкой пакетом хлыстов объемом 5,6 м³;
- б/ плавность хода трактора при движении со скоростью до 3,9 км/час по волоку с ярко выраженными неровностями и сосредоточенными препятствиями является удовлетворительной, а при скорости движения больше 3,9 км/час - неудовлетворительной; при движении трактора по волокам без ярко выраженных неровностей и сосредоточенных препятствий плавность хода во всем диапазоне эксплуатационных скоростей движения является удовлетворительной;
- в/ недостатком системы поддрессоривания трактора следует считать ее несимметричность, которая является одной из основных причин интенсивных продольно-угловых, продольных горизонтальных колебаний остова, колебаний движущих сил и внешних сопротивлений при переезде через неровности волока.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать рекомендации по улучшению плавности хода, выбору параметров подвески и гусеничного движителя трелевочного трактора ТДТ-55:

1. Улучшение плавности хода и снижение колебаний движущих сил и внешних сопротивлений трактора при переезде неровностей микропрофиля волока может быть достигнуто улучшением динамических качеств системы подрессоривания путем уменьшения ее несимметричности, а также посредством применения в подвеске упругих элементов переменной жесткости, обеспечивающих симметричность подвески при изменении нагрузки на трактор.

2. Необходимо стремиться по возможности к более низким собственным частотам колебаний остова трактора. Это позволит улучшить не только плавность хода трактора, но и условия работы трансмиссии, поскольку колебания движущих сил и внешних сопротивлений при переезде неровностей происходят с частотами, близкими к собственным частотам колебаний остова трактора.

3. Для уменьшения амплитуд колебаний крутящего момента на ведущих звездочках, обусловленных неравномерной работой гусеничных двигателей необходимо стремиться к созданию мелкозвенчатой гусеницы путем подбора необходимого соотношения между шагом гусеницы и радиусом ведущей звездочки, обеспечивающего минимальное значение коэффициента неравномерности работы гусеничных двигателей. Увеличение числа зубьев ведущей звездочки с 11 до 14 позволит уменьшить при прочих равных условиях амплитуду периодических колебаний крутящего момента на 35%. Уменьшение числа зубьев ведущей звездочки с 11 до 9 приведет к увеличению амплитуд колебаний крутящего момента на 34%.

4. Все вопросы тяговой динамики, относящиеся к движению трелевочного трактора по неровностям микропрофиля волока, следует решать совместно с вопросами плавности хода трактора.

5. При оценке плавности хода трелевочных тракторов следует учитывать колебания остова трактора, возбуждаемые колебаниями

движущих сил и внешних сопротивлений преодолеваемых трактором.

Результаты выполненной работы могут быть использованы при расчетах систем поддресоривания гусеничных трелевочных тракторов и нагруженности трансмиссии со стороны ведущих звездочек при движении трактора по неровностям микропрофиля волока.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. К вопросу о колебаниях момента сопротивления движению трелевочного трактора ТДТ-55 по неровностям микропрофиля волока. Труды ЦНИИМЭ. Выпуск 91, 1968 г.
2. О влиянии колебаний остова гусеничного трелевочного трактора на его продольные ускорения. Межведомственный научный сборник, выпуск 5. Изд-во "Будівельник", Киев, 1969 г.
3. Измерение ускорений с помощью фотоэлектрического акселерометра "Лесной журнал". Издательство Архангельского лесотехнического института, 1969 г.
4. Особенности применения электроизмерительной аппаратуры для исследования колебаний поддресоренной массы трелевочного трактора. "Лесной журнал". Издательство Архангельского лесотехнического института. В печати.
5. К вопросу о динамическом состоянии поддресоренной массы трелевочного трактора как системы автоматического регулирования с обратной связью. "Лесной журнал". Издательство Архангельского лесотехнического института. В печати.
6. Применение метода электрического моделирования для исследований колебаний гусеничных тракторов. (На украинском языке). Издательство "Карпаты". гор.Ужгород. В печати.

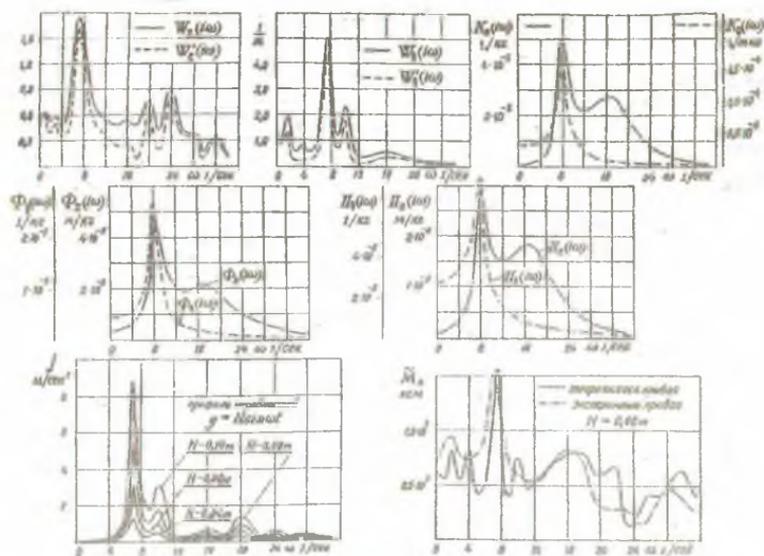


Рис. 1

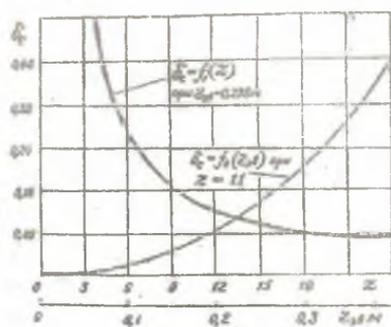


Рис. 2



Рис. 3

7. Периодические изменения сил сопротивления и колебания трелевочного трактора. Издательство "БудІвельник", гор.Киев. Сборник статей "Лесная оумажная и деревообрабатывающая промышленность". В печати.

Материалы диссертации изложены в докладах:

1. На научных конференциях в 1967 и в 1968 году в Львовском лесотехническом институте.
2. На всесоюзной научной конференции в центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности в 1968 году.

АТ П1935, ЗАК.208, ТИР.120 экз., 2.10.1969 года. БТИ имени
С.М.Кирова, г.Минск, Свердлова, 13.