

## РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН С ПРЕДМЕТОМ ТРУДА И ВОЛОКОМ

Клоков Д.В., Ермалицкий А.А., Гармаза А.К.  
(УО "БГТУ", г. Минск, Республика Беларусь)

*Developed mathematical model of hauling process used for justification of main parameters of a new skidderes.*

РУП «Минский тракторный завод» совместно с УО «Белорусский государственный технологический университет» разработан типаж лесных машин на базе тракторов «Беларус». К настоящему времени созданы и выпускаются серийно форвардер МЛПТ-354М, МЛ-131 и трелевочные машины ТТР-401М, МЛ-127 с чокерным оборудованием и МЛ-127С с пачковым захватом.

С целью обоснования параметров указанных машин. В Белорусском государственном технологическом университете разработан комплекс математических моделей процесса работы машин при выполнении ими технологических операций. Ниже приведена методика моделирования процесса движения трелевочных машин. Эта модель отражает сложную связь подсистем машины (двигатель, трансмиссия, ведущие мосты, движители, предмет труда). Учитываются реальные возмущающие воздействия (неровности поверхности волока, крутящий момент двигателя), а также реальные параметры машины.

Ввиду различной компоновки машин и вариантов технологического оборудования разработаны две расчетные схемы трелевщиков. Первая из которых соответствует машине типа 4К4 на базе серийного трактора с жесткой рамой (ТТР-401М, 401-01), а вторая машинам типа 4К4 и 6К6 на базе шасси с шарнирно-сочлененной рамой (рис. 1).

Для каждой из них составлены математические модели, которые уже реализованы в процессе проектирования созданных и перспективных машин.

Рассмотрим имитационную модель процесса движения машины, показанную на рисунке 1. Принятая расчетная схема наряду с уже разработанными схемами является уточненной: она учитывает упругую податливость почвогрунта. Это сделано, исходя из тех предпосылок, что при движении машины по трелевочным волокам прогибы покрытия и шин машины являются соизмеримыми величинами.

При исследовании системы «трактор-пачка хлыстов» распределенную массу пачки хлыстов разбиваем на три дискретные массы  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , соединенные между собой жесткостью  $C$ . Масса  $m_1$  составляет часть пачки, нагружающую клешевой захват. Масса  $m_2$  сосредоточена в центре тяжести пачки хлыстов и совершает колебания. Масса  $m_3$  - часть пачки, волочащейся по микропрофилю волока. Связь трактора с деревом и клешевым захватом осуществляется посредством жесткости  $C_{тн}$ . Изгибные деформации дерева моделируются упругим элементом с коэффициентом жесткости  $C_{дх}$ . Все упругие звенья системы в направлении своей податливости обладают также демпфирующим сопротивлением.

Динамические характеристики лесных дорог, необходимые для расчета математической модели динамики движения лесозаготовительной машины с учетом упругой податливости грунта, определялись по экспериментально записанной осциллограмме ее колебаний, упругому прогибу дорожной одежды и параметров колесной нагрузки.

Расчетная динамическая схема системы «двигатель-трансмиссия-двигитель-предмет труда – почвогрунт» имеет 21 степень свободы, позволяющие описать колебания в продольной вертикальной плоскости.

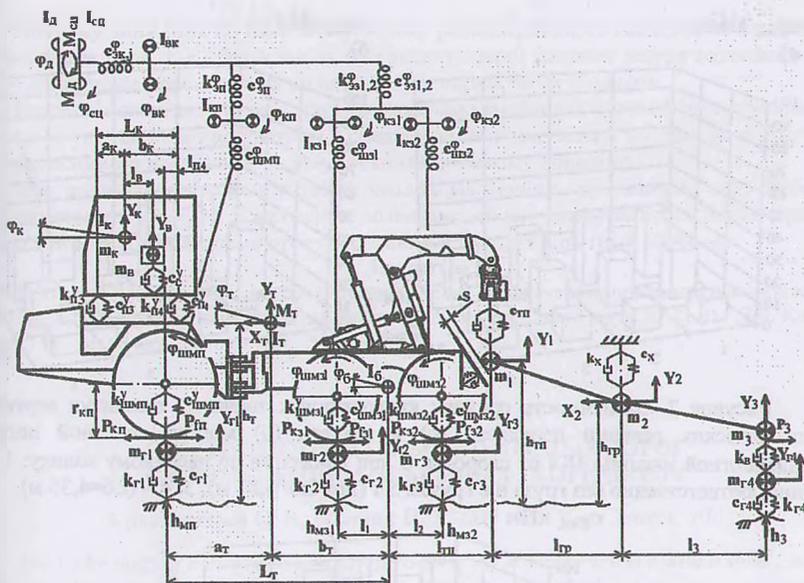


Рисунок 1 - Расчетная модель процесса движения трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой, учитывающая упругую податливость почвогрунта

Рассматриваемая система дифференциальных уравнений решается методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с помощью комплекса специальных программ. Основной модуль программ производит расчет систем уравнений по времени при заданных параметрах динамической системы. Далее производится статистическая обработка данных. Для переходных процессов сравниваются максимальные показатели и характер изменения зависимостей. При установившихся режимах производится сравнение статистических показателей.

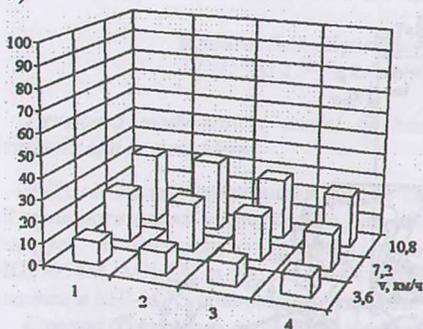
Разработанный комплекс расчетных моделей имеет удовлетворительную точность, что подтверждается сравнением среднеквадратичных значений и максимальных реакций системы, а также их спектральных плотностей [1]. В основу теста эквивалентности положено использование логарифмического преобразования оценки спектральной плотности, подчиняющейся нормальному распределению. По условию  $D^2 \leq \chi^2_{n,\alpha}$ , где  $n$  - число полос, на которые делится спектральная плотность, минус число наложенных ограничений;  $\alpha$  - уровень значимости критерия (0,05).

Проведенные расчеты показали, что величина статистики  $D^2$  не превышает значений области принятия гипотезы  $\chi^2_{n,\alpha}$  равным 22,36.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости динамических реакций на мостах машин 4К4 и 6К6 с продольными базами в диапазоне 3,81-4,35 м, при различных скоростях движения и нагрузках. Анализируя приведенные зависимости, можно проследить, что при движении по пасечному волоку отмеченный характер изменения среднеквадратичных значений угловых и вертикальных ускорений с увеличением скорости движения возрастает на всех нагрузочных режимах.

$\sigma_{R_{мп}}$ , кНМ

а)

 $\sigma_{R_{мз}}$ , кНМ

б)

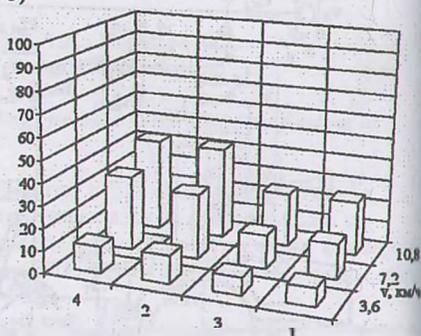
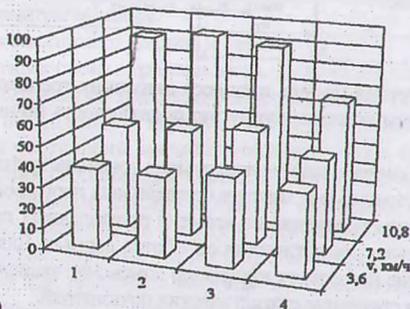
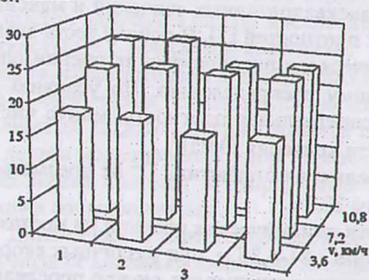


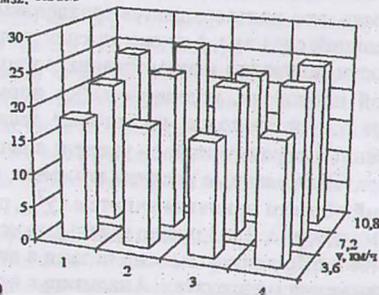
Рисунок 2- Зависимость средних квадратичных значений амплитуд вертикальных динамических реакций переднего (а) и заднего (б) мостов колесной погрузочно-транспортной машины 4К4 от скорости  $v$  при движении по пасечному волоку: 1, 2 – машина соответственно без груза и с грузом 5 т (при  $L_б=3,81$  м); 3, 4 – ( $L_б=4,35$  м)

 $\sigma_{R_{мп}}$ , кНМ

а)

 $\sigma_{R_{мз1}}$ , кНМ

б)

 $\sigma_{R_{мз2}}$ , кНМ

в)

Рисунок 3- Зависимость средних квадратичных значений амплитуд вертикальных динамических реакций переднего моста (а) и балансирующей тележки (б, в) колесной погрузочно-транспортной машины 6К6 от скорости  $v$  при движении по пасечному волоку: 1, 2 – машина соответственно без груза и с грузом 5 т (при базе  $L_б=3,81$  м); 3, 4 – ( $L_б=4,35$  м)

Поэтому движение по пасечному волоку рассматривалось как один из наиболее сложных режимов, т. к., безусловно, при эксплуатации машины всегда возможны наезды на единичные неровности в виде пней или порубочных остатков.

Расчеты показали, что рассматриваемые показатели для условий эксплуатации по дорогам с улучшенным покрытием в среднем имеют значения в 1,7 раза меньше, чем при движении по пасечному волоку (технологическому коридору).

Как доказал опыт эксплуатации созданных машин, применение разработанных математических моделей и методики позволяют обоснованно выбрать параметры лесных машин, сократить время проектирования и доводки опытных образцов.

#### Литература

1. Клоков Д.В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Д.В. Клоков; Белор. Гос. Технологич. Ун-т – Мн., 2001. – 21 с.

## ОПЫТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕСНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЪЕМНЫХ ГЕОРЕШЕТОК

Красковский С. В., Лыщик П. А. (УО «БГТУ», г. Минск, РБ)

*The technology of construction on forest roads of an experimental site with a solid geolattice is described, results of its experimental-industrial testing are resulted.*

Для оценки эффективности практического применения конструкций и технологий строительства лесных дорог с объемными георешетками в производственных условиях были построены опытные участки, проведены работы по опытно-промышленной проверке их работоспособности. В процессе устройства опытных участков лесных дорог обрабатывалась технология строительства и укладки объемных георешеток (далее – георешеток).

Производственные испытания дорог с георешетками проводились с целью подтверждения результатов теоретических и лабораторных исследований конструкций лесных дорог с георешетками. В производственных условиях определяли прочность дорожных конструкций, фиксировали состояние дорожных одежд (измеряли глубину колеи), определяли скорость движения лесовозного транспорта.

На территории Трилесинского лесничества Сморгонского опытного лесхоза в 2005 году было завершено строительство лесной дороги Колпея – Ордея. Дорога проходит по I и II типам местности по увлажнению и имеет протяженность 4,885 км. На лесной дороге было заложено несколько опытных участков, которые армировали георешеткой «Комета» высотой 0,1 м и размером ячеек 20×20 см.

На исследуемом участке земляное полотно запроектировано по I типу поперечного профиля (насыпь высотой до 1 м с канавами или резервами при песчаных и супесчаных грунтах) [1]. Высота насыпи составляет в среднем 0,5 м, дорожную одежду толщиной 0,18 м устраивали из песчано-гравийной смеси, нижний ее слой был армирован георешеткой.

До начала работ по устройству армированной дорожной одежды были выполнены все предшествующие и подготовительные работы: сдвигка растительного слоя грунта за пределы резервов, планировка и уплотнение земляного полотна, устройство дренажа и водоотвода, геодезическая разбивка, устройство при необходимости временных дорог для транспортировки грунта.

Устройство конструктивного слоя, армированного георешеткой, выполняли в следующей технологической последовательности [2, 3]: