

УДК 630\*377.4

А.Р.Гороновский, к.т.н.;

С.Э.Бобровский, м.н.с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

The developed mathematical model of the movement process of the skidder enables us to assess the dynamic loading of transmission with the account of the mismatch of the gear ratios with the transfer of the torque on the driving wheels.

В Республике Беларусь имеется реальная возможность организации серийного выпуска колесных лесных машин на базе тракторов МТЗ. Организация выпуска таких машин является выгодной для республики не только с точки зрения увеличения объемов заготовки деловой древесины и повышения эффективности лесозаготовительного производства, но и возможности реализации их в странах СНГ.

Основой для создания лесного колесного шасси служит серийно выпускаемый трактор МТЗ в специальной комплектации без передней оси, который с помощью вертикально-горизонтального шарнира связан с технологическим модулем, предназначенным для установки технологического оборудования. Однако реализация такой компоновочной схемы машины требует проведения комплекса дополнительных исследований нагруженности отдельных узлов и агрегатов машины с целью доработки их конструкции, применительно к условиям эксплуатации на лесозаготовках. Так, например, одной из актуальных задач является проведение экспериментальных и теоретических исследований, связанных с разработкой мероприятий, направленных на уменьшение нагрузочных режимов трансмиссии и ходовой части.

Современные математические модели обеспечивают возможность получения оценок нагруженности деталей и узлов расчетными методами, рассматривая поступательное движение машины, с учетом крутильных колебаний трансмиссии совместно с вертикальными и продольно-угловыми колебаниями подрессоренных и неподрессоренных масс. Однако они не позволяют учесть ряд специфических особенностей конструкции, свойственных рассматриваемому типу колесных лесозаготовительных машин (ЛЗМ).

В соответствии с целью исследований была разработана расчетная схема колебаний ЛЗМ, приведенная на рис.1. Динамическая схема имеет 12 степеней свободы, позволяющих описать ее колебания

в продольной вертикальной плоскости, с учетом рассогласования передаточных чисел в трансмиссии.

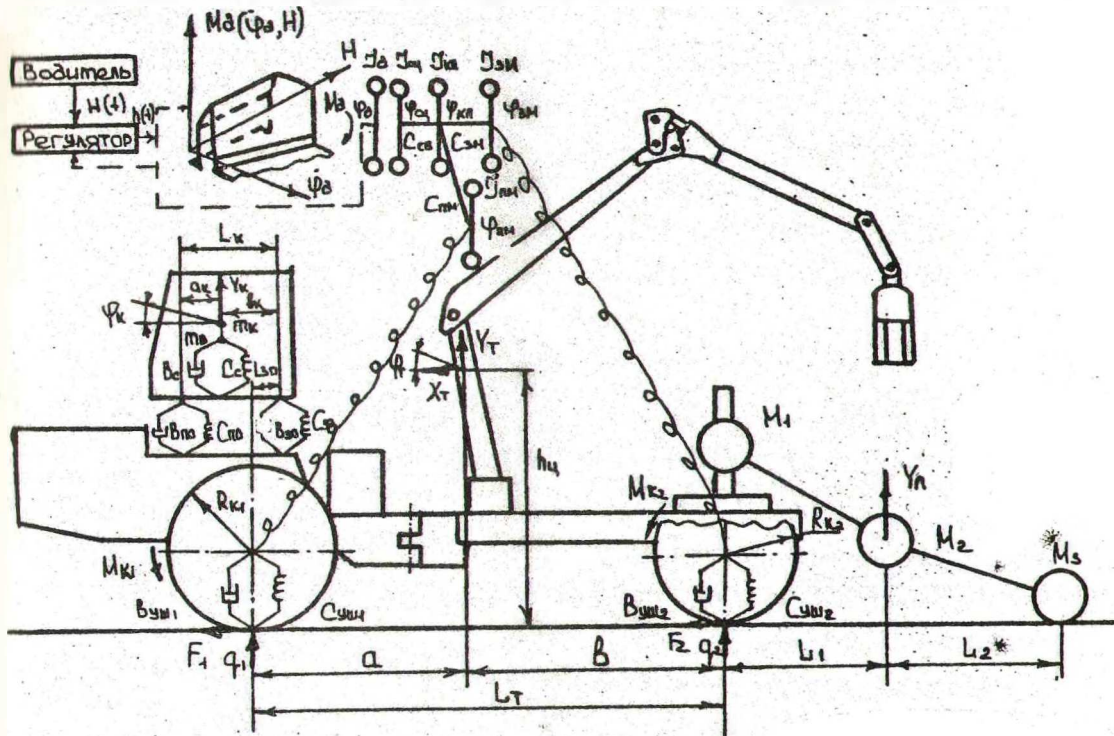


Рис.1. Расчетная схема колебаний ЛЗМ.

В расчетной схеме движения колесной трелевочной машины с пакетом хлыстов приняты следующие допущения: ЛЗМ движется прямолинейно; высоты микронеровностей волока под колесами одной оси осредняются; упругие характеристики шин линейные, а силы неупругого сопротивления пропорциональны скорости деформации; колеса имеют постоянный контакт с микропрофилем; технологическое оборудование жестко соединено с рамой машины, а точка опоры пакета древесины на конике при движении остается неподвижной относительно тягача; водитель находится в центре тяжести кабины; воздействие микронеровностей волока на волочающую часть пачки не учитывается.

По данной расчетной схеме, с использованием уравнения Лагранжа второго рода, получена система дифференциальных уравнений движения машины. При выводе дифференциальных уравнений сложная динамическая система разбивалась на две взаимосвязанные подсистемы: трансмиссия и поступательно движущаяся масса тракто-

ра приводились к схеме крутильных колебаний [1,2]. Затем для каждой подсистемы составлялись дифференциальные уравнения с последующим их объединением в общую систему дифференциальных уравнений:

$$I_d * \ddot{\Phi}_d = M_d - M_{сд};$$

$$I_{сц} * \ddot{\Phi}_{сц} + C_{св} * (\dot{\Phi}_{сц} - \dot{\Phi}_{кп}) + B_{св} * (\Phi_{сц} - \Phi_{кп}) = M_{сц};$$

$$I_d * \Phi_d = M_d - M_{сд};$$

$$I_{сц} * \Phi_{сц} + C_{св} * (\Phi_{сц} - \Phi_{кп}) + B_{св} * (\Phi_{сц} - \Phi_{кп}) = M_{сц};$$

$$I_{кп} * \ddot{\Phi}_{кп} - C_{св} * (\dot{\Phi}_{сц} - \dot{\Phi}_{кп}) - B_{св} * (\Phi_{сц} - \Phi_{кп}) + C_{зм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{зм}) + B_{зм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{зм}) + C_{пм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{пм}) + B_{пм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{пм}) = 0;$$

$$I_{пм} * \ddot{\Phi}_{пм} - C_{пм} * (\dot{\Phi}_{кп} - \dot{\Phi}_{пм}) - B_{пм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{пм}) + C_{шк1} * (\Phi_{пм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) + B_{шк1} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) = 0;$$

$$I_{зм} * \ddot{\Phi}_{зм} - C_{зм} * (\dot{\Phi}_{кп} - \dot{\Phi}_{зм}) - B_{зм} * (\Phi_{кп} - \Phi_{зм}) + C_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) + B_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) = 0;$$

$$(M + m_k + m_b) * X_t - C_{шк1} * (\Phi_{пм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) * i_{тp1} : R_{к1} - B_{шк1} * (\Phi_{пм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) * i_{тp1} : R_{к1} - C_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) * i_{тp2} : R_{к2} + B_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) * i_{тp2} : R_{к2} + F_1 + F_2 + F_{тpх} = 0;$$

$$M * Y_t - C_{шy1} * (q_1 - Y_t - a * \Phi_t) - B_{шy1} * (q_1 - Y_t - a * \Phi_t) - C_{шy2} * (q_2 - Y_t - b * \Phi_t) - B_{шy2} * (q_2 - Y_t - b * \Phi_t) - C_{пo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо} + L_k) - Y_k - \Phi_k * a_k) - B_{пo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо} + L_k) - Y_k - \Phi_k * a_k) - C_{зo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо}) - Y_k + \Phi_k * b_k) - B_{зo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо}) - Y_k + \Phi_k * b_k) - C_{х*2:3} * (Y_{п-2:3} * (Y_t + b * \Phi_t)) - B_{х*2:3} * (Y_{п-2:3} * (Y_t + b * \Phi_t)) = 0;$$

$$I_t * \ddot{\Phi}_t - C_{шy1} * a * (q_1 - Y_t - a * \Phi_t) - B_{шy1} * a * (q_1 - Y_t - a * \Phi_t) + C_{шy2} * (q_2 - Y_t - b * \Phi_t) * b + B_{шy2} * (q_2 - Y_t - b * \Phi_t) * b - C_{пo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо} + L_k) - Y_k - \Phi_k * a_k) * (a - L_{зо} + L_k) - B_{пo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо} + L_k) - Y_k - \Phi_k * a_k) * (a - L_{зо} + L_k) - C_{зo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо}) - Y_k + \Phi_k * b_k) * (a - L_{зо}) - B_{зo} * (Y_t + \Phi_t * (a - L_{зо}) - Y_k + \Phi_k * b_k) * (a - L_{зо}) - C_{шк1} * (\Phi_{пм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) * (h_c - R_{к1}) * i_{тp1} : R_{к1} - B_{шк1} * (\Phi_{пм} - (X_t + (h_c - R_{к1}) * \Phi_t) : R_{к1} * i_{тp1}) * (h_c - R_{к1}) * i_{тp1} : R_{к1} - C_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) * (h_c - R_{к2}) * i_{тp2} : R_{к2} - B_{шк2} * (\Phi_{зм} - (X_t + (h_c - R_{к2}) * \Phi_t) : R_{к2} * i_{тp2}) * (h_c - R_{к2}) * i_{тp2} : R_{к2} - C_{х*2:3} * b * (Y_{п-2:3} * (Y_t + b * \Phi_t)) - B_{х*2:3} * b * (Y_{п-2:3} * (Y_t + b * \Phi_t)) + F_{тpу*в} + F_{тpх} * (h_k - h_c) = 0;$$

$$I_{\text{К}} * Y_{\text{К}} - C_{\text{П}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}} + L_{\text{К}}) - Y_{\text{К}} - \Phi_{\text{К}} * a_{\text{К}}) - B_{\text{П}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}} + L_{\text{К}}) - Y_{\text{К}} - \Phi_{\text{К}} * a_{\text{К}}) - C_{\text{З}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}}) - Y_{\text{К}} + \Phi_{\text{К}} * v_{\text{К}}) - B_{\text{З}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}}) - Y_{\text{К}} + \Phi_{\text{К}} * v_{\text{К}}) - C_{\text{С}} * (Y_{\text{К}} - Y_{\text{В}}) - B_{\text{С}} * (Y_{\text{К}} - Y_{\text{В}}) = 0;$$

$$I_{\text{К}} * \Phi_{\text{К}} - C_{\text{П}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}} + L_{\text{К}}) - Y_{\text{К}} - \Phi_{\text{К}} * a_{\text{К}}) * a_{\text{К}} - B_{\text{П}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}} + L_{\text{К}}) - Y_{\text{К}} - \Phi_{\text{К}} * a_{\text{К}}) * a_{\text{К}} + C_{\text{З}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}}) - Y_{\text{К}} + \Phi_{\text{К}} * v_{\text{К}}) * v_{\text{К}} + B_{\text{З}} * (Y_{\text{T}} + \Phi_{\text{T}} * (a - L_{\text{З}}) - Y_{\text{К}} + \Phi_{\text{К}} * v_{\text{К}}) * v_{\text{К}} = 0;$$

$$m_{\text{В}} * Y_{\text{В}} - C_{\text{С}} * (Y_{\text{К}} - Y_{\text{В}}) - B_{\text{С}} * (Y_{\text{К}} - Y_{\text{В}}) = 0;$$

$$M_{\text{П}} * Y_{\text{П}} - C_{\text{Х}} * (2 * 3 * (Y_{\text{T}} + v * \Phi_{\text{T}}) - Y_{\text{П}}) - B_{\text{Х}} * (2 * 3 * (Y_{\text{T}} + v * \Phi_{\text{T}}) - Y_{\text{П}}) = 0,$$

где  $I_{\text{Д}}$ ,  $I_{\text{С}}$ ,  $I_{\text{К}}$ ,  $I_{\text{З}}$ ,  $I_{\text{П}}$  - моменты инерции двигателя, коробки передач и других вращающихся деталей трансмиссии, приведенных к двигателю;

$C_{\text{СВ}}$ ,  $C_{\text{ЗМ}}$ ,  $C_{\text{ТМ}}$ ,  $C_{\text{ПК1}}$ ,  $C_{\text{ПК2}}$  - жесткости участков трансмиссии, приведенных к двигателю;

$C_{\text{ШУ1}}$ ,  $C_{\text{ШУ2}}$ ,  $C_{\text{ПО}}$ ,  $C_{\text{ЗО}}$ ,  $C_{\text{С}}$  - вертикальные жесткости узлов;

$B_{\text{СВ}}$ ,  $B_{\text{ЗМ}}$ ,  $B_{\text{ПМ}}$ ,  $B_{\text{ПК1}}$ ,  $B_{\text{ПК2}}$ ,  $B_{\text{ШУ1}}$ ,  $B_{\text{ШУ2}}$ ,  $B_{\text{ПО}}$ ,  $B_{\text{ЗО}}$ ,  $B_{\text{С}}$  - коэффициенты диссипативных сил соответствующих узлов.

Рассматриваемая система уравнений решалась методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с помощью специально разработанной программы для ПЭВМ.

На основе изложенной методики был рассмотрен процесс движения по волоку колесного бесчokerного трактора на базе МТЗ-82 с пачкой деревьев. В результате расчетов были определены статистические характеристики и спектральные плотности динамических показателей процесса движения машины.

Сопоставление полученных расчетных и экспериментальных данных, произведенное по тесту эквивалентности энергетических спектров [3], показало удовлетворительную сходимость результатов, величина статистики  $D^2$ , равная 27,59, на всех исследуемых режимах движения находилась в пределах области принятия гипотезы. Расхождение стандартов процессов, полученных в результате расчетов и исследовательских испытаний, не превышало 10...18%. На рис.2, в качестве примера, показаны экспериментальная и расчетная спектральные плотности крутящего момента на полуоси переднего моста ЛЗМ при движении на 1-й передаче.

Разработанная математическая модель позволяет решать широкий круг задач по оценке нагруженности элементов трансмиссии и

ходовой части ЛЗМ, а также вибронгруженности рабочего места оператора.

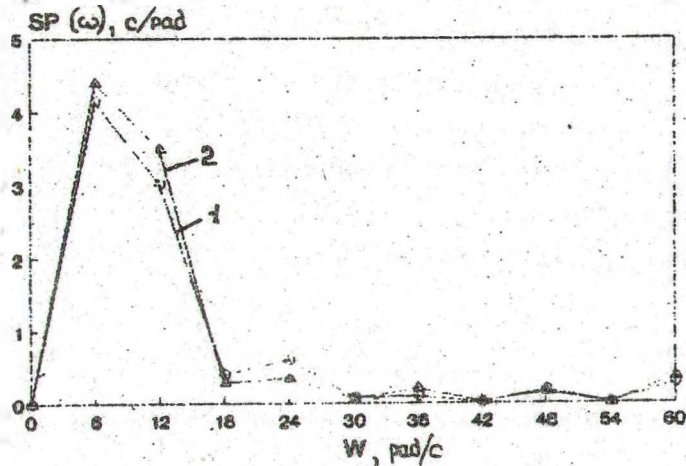


Рис.2. Спектральные плотности крутящегося момента на полуоси ЛЗМ. 1 - теоретическая; 2 - экспериментальная.

Применение математической модели позволит на стадии проектирования производить оценку и выбор рациональных параметров узлов ЛЗМ с учетом условий эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Микулик Н.А. Динамические системы с реактивными звеньями. - Мн.: Вышэйшая школа, 1985.-112 с.
2. Жуков А.В., Кадолко Л.И. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний. - Мн.: Наука и техника, 1978. - 264 с.
3. Высоцкий М.С., Жуков А.В. и др. Динамика длинноосевых поездов. - Мн.: Наука и техника, 1987. - 199 с.

УДК 621.226.5

Я.И.Остриков, доцент;

Л.Ф.Доронин, инженер

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

There are the method to analysis of dinamic systems of logging trunk type MAP and the discription of their mathematical model.

Лесовозный автопоезд (ЛАП) является сложной механической системой, состоящей из большого числа масс, связи между которыми