

В. А. Симанович, доцент; В. С. Исаченков, ассистент

РАЗРАБОТКА ПРИВЕДЕННОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ «КОЛЕСНЫЙ ТЯГАЧ – ПРИЦЕПНОЙ МОДУЛЬ – ПАЧКА ДЕРЕВЬЕВ»

Questions of interaction of a pack of trees with the process equipment are considered at various constructive circuits of the suspension.

В последнее время для лесной отрасли создано и проектируется немало машин разного конструктивно-технологического направления, способных выполнять различные по назначению тяжелые операции переместительного характера, что в конечном итоге ведет к повышению уровня механизации наиболее трудоемких процессов в лесозаготовительной промышленности и лесном хозяйстве. Новые колесные машины создаются по модульному принципу с конструктивными изменениями преимущественно в ходовой части и трансмиссии. Лесные агрегатные машины на колесном ходу работают с различными типами навесного технологического оборудования, установленного на задней полураме или специальной тележке обычно с активным приводом. Такие машины предназначены для трелевки деревьев или хлыстов, вывозки сортиментов, а также для других транспортно-технологических операций, без которых невозможно функционирование лесозаготовительного предприятия. Ввиду большого разнообразия работ в лесной отрасли становится актуальной проблема создания прицепных модулей для семейства колесных

тракторов общего и сельскохозяйственного назначения (с некоторыми изменениями в конструкции ходовой части, трансмиссии и элементах привода) производства Минского тракторного завода.

Необходимо отметить, что даже незначительные конструктивные изменения серьезно сказываются на динамических процессах, происходящих в узлах и агрегатах лесных машин. Описания динамических процессов становятся сложными ввиду того, что координаты масс становятся связанными нелинейными соотношениями в его уравнениях движения, что сказывается на колебаниях тела в направлениях главных координат и приводит к возбуждению его колебаний в направлении других главных координат. В большинстве случаев последние значения малы по сравнению с первыми, интереса не представляют, в исследованиях и при определенных допущениях не учитываются совсем. Однако в некоторых случаях в сложных системах проявляется перераспределение энергии колебаний тела за счет нелинейных связей между отдельными частями системы, после чего колебания могут стать весьма интенсивными.

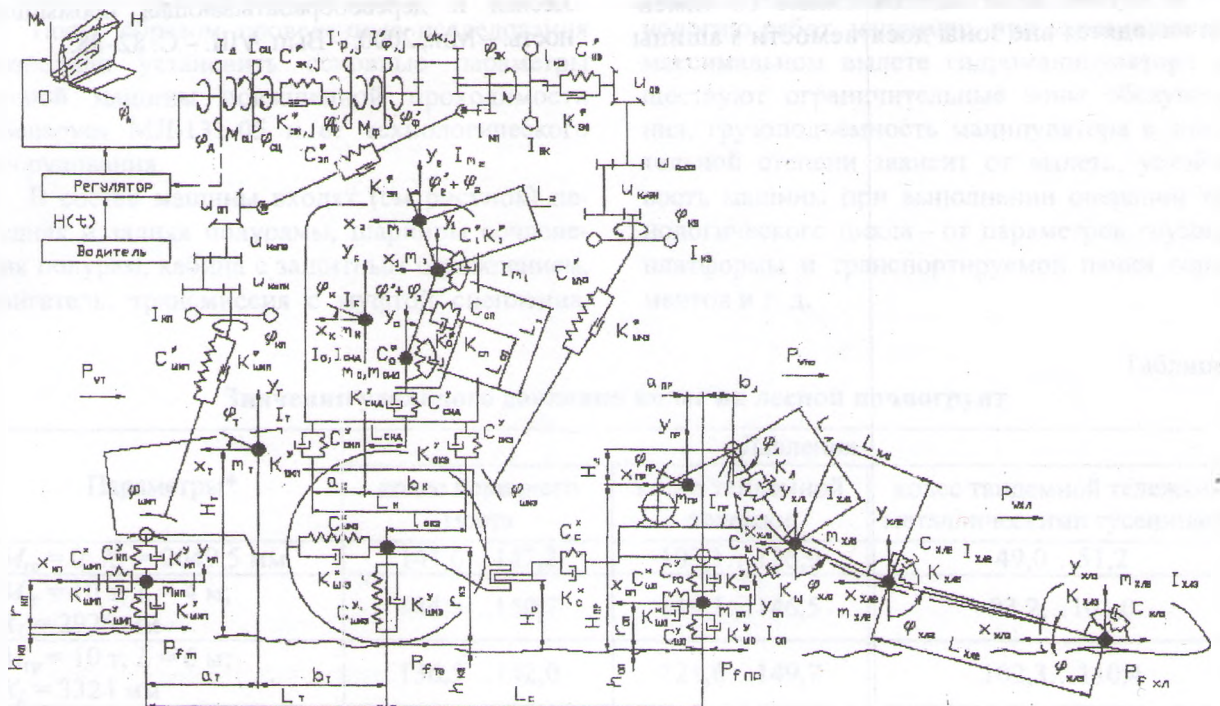


Рис. Приведенная расчетная модель «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев»

В нашей работе представлена приведенная расчетная модель «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев», в которой в качестве базовой машины взят трактор «Беларус» МТЗ-82, прицепной модуль в виде одноосного шасси с установленным на нем технологическим оборудованием в виде лебедки с канатом и щита. Такая конструкция оборудования может быть использована на трелевке древесины в различных технологических схемах разработки лесосек. Усложнение или упрощение конструкции прицепного модуля может происходить по разным направлениям.

Уравнения движения машины и прицепного модуля с пачкой деревьев были составлены на основании уравнений Лагранжа II рода по приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев», которая приведена на рисунке.

Система дифференциальных уравнений, описывающих динамические процессы в расчетной модели, имеет вид

$$\begin{aligned}
 I_D \ddot{\phi}_D - M_D + M_{CC} &= 0; \\
 I_{CC} \ddot{\phi}_{CC} - M_{CC} + M_{ЭК, j} &= 0; \\
 (I_{\phi, j} + I_{\phi, j}^n) u_{К, j} + I_{ВК} \ddot{\phi}_{ВК} - M_{ЭК, j} u_{К, j} + M_{ВК} &= -M_{К}^C; \\
 I_{КП} \ddot{\phi}_{КП} - M_{ЭП} u_{МП} + M_{ШМП} &= -M_{МП}^C; \\
 I_{КЗ} \ddot{\phi}_{КЗ} - M_{ЭЗ} u_{МЗ} + M_{ШМЗ} &= -M_{МЗ}^C; \\
 I_T \ddot{\phi}_T - \frac{M_{ШМП} (H_T - r_{КП})}{r_{КП}} - \frac{M_{ШМЗ} (H_T - r_{КЗ})}{r_{КЗ}} + \\
 + P_{ШМЗ}^y b_T - P_{МП}^x a_T - P_{ОКП}^y (b_T + L_{ОКЗ} - L_K) - \\
 - P_{ОКЗ}^y (b_T + L_{ОКЗ}) + P_C^y (H_T - H_C) &= 0; \\
 I_K \ddot{\phi}_K + P_{ОКЗ}^y b_K - P_{ОКП}^y a_K - P_{Сид}^y L_{Сид} &= 0; \\
 I_{ПР} \ddot{\phi}_{ПР} + P_O a_{ПР} - P_C^x (H_{ПР} - H_C) &= 0; \\
 m_{МП} \ddot{Y}_{МП} - P_{ШМП}^y + P_{МП}^y &= 0; \\
 m_T \ddot{Y}_T - P_{МП}^y - P_{ШМП}^y + P_{ОКП}^y + P_{ОКЗ}^y &= 0; \\
 m_K \ddot{Y}_K - P_{ОКП}^y - P_{ОКЗ}^y + P_{Сид}^y &= 0; \\
 (m_{Сид} + m_0 + m_1 + m_2) \ddot{Y}_0 - \\
 - (m_1 + m_2) L_1 \sin(\phi_1^H + \phi_1) \ddot{\phi}_1 - \\
 - m_2 L_2 \sin(\phi_2^H + \phi_2) \ddot{\phi}_2 + P_{СП}^y &= 0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (m_1 + m_2) L_1^2 \ddot{\phi}_1 + m_2 L_1 L_2 \ddot{\phi}_2 - \\
 - (m_1 + m_2) L_1 \sin(\phi_1^H + \phi_1) \ddot{Y}_0 - \\
 - (m_1 + m_2) L_1 \cos(\phi_1^H + \phi_1) \dot{Y}_0 \dot{\phi}_1 + M_0 + M_1 + P_{СП}^x - \\
 - (m_1 + m_2) g L_1 \sin(\phi_1^H + \phi_1) = 0; \\
 m_2 L_2^2 \ddot{\phi}_2 + m_2 L_1 L_2 \ddot{\phi}_1 - m_2 L_2 \sin(\phi_2^H + \phi_2) \ddot{Y}_0 + \\
 + m_2 L_2 \cos(\phi_2^H + \phi_2) \dot{Y}_0 \dot{\phi}_2 - \\
 - M_1 - m_2 g L_2 \sin(\phi_2^H + \phi_2) = 0; \\
 (m_{ПР} + m_{ОП}) \ddot{Y}_{ПР} + m_{ХЛ1} \ddot{Y}_{ХЛ1} + m_{ХЛ2} \ddot{Y}_{ХЛ2} + m_{ХЛ3} \ddot{Y}_{ХЛ3} - \\
 - P_{ОП}^y - R_{ХЛ} = 0; \\
 - m_{ПР} \ddot{Y}_{ПР} a_{ПР} + m_{ХЛ1} \ddot{Y}_{ХЛ1} [b_L + L_L \sin(\phi_L + \phi_L^H)] + \\
 + m_{ХЛ2} \ddot{Y}_{ХЛ2} \left[b_L + L_L \sin(\phi_L + \phi_L^H) + \right. \\
 \left. + L_{ХЛ1} \sin(\phi_{ХЛ1} + \phi_{ХЛ1}^H) \right] + \\
 + m_{ХЛ3} \ddot{Y}_{ХЛ3} \left[b_L + L_L \sin(\phi_L + \phi_L^H) + \right. \\
 \left. + L_{ХЛ1} \sin(\phi_{ХЛ1} + \phi_{ХЛ1}^H) + \right. \\
 \left. + L_{ХЛ2} \sin(\phi_{ХЛ2} + \phi_{ХЛ2}^H) \right] - \\
 - R_{ХЛ} \left[b_L + L_L \sin(\phi_L + \phi_L^H) + \right. \\
 \left. + L_{ХЛ1} \sin(\phi_{ХЛ1} + \phi_{ХЛ1}^H) + \right. \\
 \left. + L_{ХЛ2} \sin(\phi_{ХЛ2} + \phi_{ХЛ2}^H) \right] - \\
 - I_{ХЛ1} \ddot{\phi}_{ХЛ1} - I_{ХЛ2} \ddot{\phi}_{ХЛ2} - I_{ХЛ3} \ddot{\phi}_{ХЛ3} = 0; \\
 (m_T + m_{МП} + m_{Сид} + m_0) \ddot{X}_T - \frac{M_{ШМП}}{r_{КП}} - \frac{M_{ШМЗ}}{r_{КП}} + P_C^x = \\
 = -P_{WT} - P_{FTП} - P_{FTЗ}; \\
 \dot{Q}_T = \frac{q_E N_D}{3600}; \\
 \dot{A}_{CC} = M_{CC} (\dot{\phi}_D - \dot{\phi}_{CC}); \\
 \dot{A}_{\phi, j} = M_{\phi, j} (\dot{\phi}'_{\phi} - \dot{\phi}''_{\phi}), \\
 \text{где указанные выше величины рассчитываются} \\
 \text{по соответствующим формулам:} \\
 \dot{\phi}'_{\phi} = \dot{\phi}''_{\phi} = \dot{\phi}_{ВК} u_{К, j};
 \end{aligned}$$

$$\dot{X}_k = \dot{X}_T;$$

$$M_d = \Phi \left[H(t), \dot{\phi}_d, \ddot{\phi}_d \right];$$

$$M_{\text{ЭК},j} = C_{\text{ЭК},j}^{\circ} (\varphi_{\text{СИ}} - \varphi'_o) + K_{\text{ЭК},j}^{\circ} (\dot{\phi}_{\text{СИ}} - \dot{\phi}'_o);$$

$$M_{\text{ШМП}(3)} = C_{\text{ШМП}(3)}^{\circ} (\varphi_{\text{КП}(3)} - \varphi_{\text{ШМП}(3)}) + K_{\text{ШМП}(3)}^{\circ} (\dot{\phi}_{\text{КП}(3)} - \dot{\phi}_{\text{ШМП}(3)});$$

$$M_{\text{ЭП}(3)} = C_{\text{ЭП}(3)}^{\circ} (\varphi_{\text{ВК}} - \varphi_{\text{КП}(3)}) u_{\text{МП}(3)} + K_{\text{ЭП}(3)}^{\circ} (\dot{\phi}_{\text{ВК}} - \dot{\phi}_{\text{КП}(3)}) u_{\text{МП}(3)};$$

$$C_o^y = \frac{C_{\text{ШО}}^y C_{\text{РО}}^y}{C_{\text{ШО}}^y + C_{\text{РО}}^y};$$

$$K_o^y = \frac{K_{\text{ШО}}^y K_{\text{РО}}^y}{K_{\text{ШО}}^y + K_{\text{РО}}^y};$$

$$M_{\text{ВК}} = M_{\text{ЭП}} + M_{\text{ЭЗ}};$$

$$\dot{\phi}_{\text{ШМП}(3)} = \frac{\dot{X}_T - (H_T - r_{\text{КП}(3)}) \dot{\phi}_T}{r_{\text{КП}(3)}};$$

$$P_{\text{ШМЗ}}^y = C_{\text{ШМЗ}}^y [h_{\text{МЗ}} - (Y_T - b_T \varphi_T)] + K_{\text{ШМЗ}}^y [\dot{h}_{\text{МЗ}} - (\dot{Y}_T - b_T \dot{\phi}_T)];$$

$$P_{\text{ШМП}}^y = C_{\text{ШМП}}^y (h_{\text{МП}} - Y_{\text{МП}}) + K_{\text{ШМП}}^y (\dot{h}_{\text{МП}} - \dot{Y}_{\text{МП}});$$

$$P_{\text{МПМ}}^y = C_{\text{МПМ}}^y [Y_{\text{МП}} - (Y_T + a_T \varphi_T)] + K_{\text{МПМ}}^y [\dot{Y}_{\text{МП}} - (\dot{Y}_T + a_T \dot{\phi}_T)];$$

$$P_{\text{ОКП}}^y = C_{\text{ОКП}}^y \left\{ \left[Y_T - \begin{pmatrix} b_T + l_{\text{ОКЗ}} \\ -L_K \end{pmatrix} \varphi_T \right] - \right. \\ \left. - (Y_K + a_K \varphi_K) \right\} +$$

$$+ K_{\text{ОКП}}^y \left\{ \left[\dot{Y}_T - \begin{pmatrix} b_T + l_{\text{ОКЗ}} \\ -L_K \end{pmatrix} \dot{\phi}_T \right] - \right. \\ \left. - (\dot{Y}_K + a_K \dot{\phi}_K) \right\};$$

$$P_{\text{ОКЗ}}^y = C_{\text{ОКЗ}}^y \left\{ \left[Y_T - (b_T + l_{\text{ОКЗ}}) \varphi_T \right] - \right. \\ \left. - (Y_K + a_K \varphi_K) \right\} +$$

$$+ K_{\text{ОКЗ}}^y \left\{ \left[\dot{Y}_T - (b_T + l_{\text{ОКЗ}}) \dot{\phi}_T \right] - \right. \\ \left. - (\dot{Y}_K + a_K \dot{\phi}_K) \right\};$$

$$P_{\text{СП}}^y = C_{\text{СП}}^y (Y_o - Y_{\text{СП}}) + K_{\text{СП}}^y (\dot{Y}_o - \dot{Y}_{\text{СП}});$$

$$P_{\text{СП}}^x = C_{\text{СП}}^x (L_{\text{СП}} \varphi_1 - Y_K) + K_{\text{СП}}^x (L_{\text{СП}} \dot{\phi}_1 - \dot{X}_K);$$

$$P_{\text{СИД}}^y = C_{\text{СИД}}^y (Y_K - L_{\text{СИД}} \varphi_K - Y_o) + K_{\text{СИД}}^y (\dot{Y}_K - L_{\text{СИД}} \dot{\phi}_K - \dot{Y}_o);$$

$$M_o = C_o^{\circ} \varphi_1 + K_o^{\circ} \dot{\phi}_1;$$

$$M_1 = C_1^{\circ} (\varphi_1 - \varphi_2) + K_1^{\circ} (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2);$$

$$P_c^x = C_c^x \left\{ \left[X_T + (H_T - H_c) \varphi_T \right] - \right. \\ \left. \left[X_{\text{ПР}} + (H_{\text{ПР}} - H_c) \varphi_{\text{ПР}} \right] \right\} -$$

$$- C_{\text{СЛ}}^x \{ X_{\text{ХЛЗ}} + H_c \varphi_{\text{ХЛЗ}} + X_{\text{ХЛ2}} +$$

$$\left[H_c + L_{\text{ХЛ2}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ2}}^H + \varphi_{\text{ХЛ2}}) \right] \varphi_{\text{ХЛ2}} +$$

$$+ X_{\text{ХЛ1}} + \left[H_c - L_{\text{ХЛ2}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ2}}^H + \varphi_{\text{ХЛ2}}) - \right.$$

$$- L_{\text{ХЛ1}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ1}}^H + \varphi_{\text{ХЛ1}}) \left. \right] \varphi_{\text{ХЛ1}} \left. \right\} +$$

$$+ K_c^x \{ \left[\dot{X}_T + (H_T - H_c) \dot{\phi}_T \right] -$$

$$- \left[\dot{X}_{\text{ПР}} + (H_{\text{ПР}} - H_c) \dot{\phi}_{\text{ПР}} \right] \left. \right\} -$$

$$- K_{\text{СЛ}}^x \{ \dot{X}_{\text{ХЛЗ}} + H_c \dot{\phi}_{\text{ХЛЗ}} + \dot{X}_{\text{ХЛ2}} +$$

$$+ \left[H_c + L_{\text{ХЛ2}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ2}}^H + \varphi_{\text{ХЛ2}}) \right] \dot{\phi}_{\text{ХЛ2}} +$$

$$+ \dot{X}_{\text{ХЛ1}} + \left[H_c - L_{\text{ХЛ2}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ2}}^H + \varphi_{\text{ХЛ2}}) - \right.$$

$$- L_{\text{ХЛ1}} \cos(\varphi_{\text{ХЛ1}}^H + \varphi_{\text{ХЛ1}}) \left. \right] \dot{\phi}_{\text{ХЛ1}} \left. \right\} + P_{\text{ПР}} + P_{\text{ФХЛ}};$$

$$C_{\text{СЛ}}^x = \frac{C_c^x C_l^x \sin(\varphi_l + \varphi_l^H)}{C_c^x + C_l^x \sin(\varphi_l + \varphi_l^H)};$$

$$K_{\text{СЛ}}^x = \frac{K_c^x K_l^x \sin(\varphi_l + \varphi_l^H)}{K_c^x + K_l^x \sin(\varphi_l + \varphi_l^H)};$$

$$P_{\text{ОП}}^y = C_{\text{ОП}}^y [h_{\text{ОП}} - (Y_{\text{ПР}} + a_{\text{ПР}} \varphi_{\text{ПР}})] +$$

$$+ K_{\text{ОП}}^y [h_{\text{ОП}} - (\dot{Y}_{\text{ПР}} + a_{\text{ПР}} \dot{\phi}_{\text{ПР}})].$$

При составлении математической модели приняты следующие обозначения инерционно-массовых, жесткостных, размерных и кинематических параметров динамической системы: $I_d, I_{сц}, I'_{\phi,j}, I''_{\phi,j}, I_{вк}, I_{кп}, I_{кз}, I_T, I_{пр}, I_k, I_{хл1}, I_{хл2}, I_{хл3}$ — моменты инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления, ведомых частей вала сцепления, приведенных к первичному валу, момент инерции ведущей части КП трактора со связанными с ней деталями на j -той передаче и первичным валом, приведенный к первичному валу момент инерции ведомой части КП со связанными с ней деталями на j -той передаче до вторичного ее вала, момент инерции вторичного вала КП со связанными с ними деталями до половины полуосей переднего и заднего мостов включительно, суммарные моменты инерции колес с шинами переднего и заднего ведущих мостов со связанными с ними деталями трансмиссии до половины левых и правых полуосей включительно, моменты инерции подрессоренных масс соответственно остова трактора, остова прицепного технологического модуля (ПТМ), кабины при продольно-угловых колебаниях, приведенные моменты инерции дискретных масс предмета труда при продольно-угловых колебаниях; $m_T, m_k, m_{сид}, m_0, m_1, m_2$ — подрессоренные массы остова трактора, кабины, сидения, нижней части туловища водителя, приведенная к центру тяжести (ЦТ), совпадающая с тазобедренными сочленениями, верхней его части, приведенная к ЦТ верхней части туловища, совпадающей с плечевыми суставами и головы, приведенная к ее ЦТ; $m_{тр}, m_{оп}$ — приведенные массы подрессоренного остова прицепа, оси прицепа; $m_{хл1}, m_{хл2}, m_{хл3}$ — приведенные массы предмета труда; $C_{эк}^{\phi}, C_{эл}^{\phi}$ — приведенные ко вторичному валу КП эквивалентные крутильные жесткости соответствующих валов привода переднего и заднего мостов трактора; $C_{шмп}^{\phi}, C_{шмз}^{\phi}$ — суммарные крутильные жесткости резинокордных оболочек шин соответствующих мостов трактора; C_0^{ϕ}, C_1^{ϕ} — приведенные к крутильной суммарные жесткости мышц ног, тазобедренной части спины, а также шейно-плечевых мышц водителя; $C_{эк,j}^{\phi}$ — приведенная к первичному валу эквивалентная крутильная жесткость валов КП и вала сцепления на j -той передаче; $C_{шмп}^x, C_{шмз}^x, C_{шо}^x$,

$C_{шмп}^y, C_{шмз}^y, C_{шо}^y$ — суммарные радиальные горизонтальные и вертикальные жесткости резинокордных оболочек шин соответствующих мостов трактора и ПТМ; $C_{пмп}^y, C_{ро}^y$ — суммарные вертикальные жесткости пружин подвески колес переднего моста трактора, рессор оси ПТМ; $C_c^x, C_l^x, C_{с.л}^x, C_{ш}^x$ — суммарные жесткости сцепки, тросочоковой системы ПТМ, приведенные суммарные жесткости продольной связи предмета труда с трактором, шита; $C_{хл1}, C_{хл2}$ — приведенные суммарные жесткости соответствующих участков предмета труда; $C_{сп}, C_{сид}^y$ — жесткости спинки сидения, системы подвески сидения; $C_{окп}^y, C_{окз}^y$ — суммарные вертикальные жесткости соответствующих опор кабины трактора; L_T — база трактора; $H_T, H_{пр}, H_d, a_T, b_T, a_k, b_k$ — координаты ЦТ подрессоренных масс трактора, ПТМ, лебедки ПТМ, кабины трактора; $L_k, L_{сид}, L_{сп}$ — расстояния между опорами кабины, ЦТ кабины и сиденьем, точкой опоры туловища водителя о спинку сиденья и ЦТ нижней его части; L_1, L_2 — плечи, эквивалентные соответственно длине туловища и расстоянию от ЦТ его верхней части до ЦТ головы; $l_{окз}$ — величина смещения задней опоры кабины относительно вертикальной оси заднего моста трактора; $r_{кп}, r_{кз}, r_0$ — радиусы резинокордных оболочек шин соответствующих мостов трактора и ПТМ; L_c — расстояние между задней осью трактора и осью ПТМ; H_c, H_d — соответственно координаты сцепки и верхней точки крепления троса лебедки относительно ЦТ ПТМ; $a_{тр}$ — смещение оси ПТМ относительно ЦТ; b_d — смещение точки опоры троса лебедки относительно ЦТ ПТМ; $L_l, L_{хл1}, L_{хл2}$ — плечи, эквивалентные длине троса лебедки, расстояния между приведенными массами предмета труда; соответствующие коэффициенты демпфирования упругих элементов, принятые на данной схеме и ясны из рисунка.

Кроме перечисленных параметров использованы обобщенные координаты: ϕ_i — угловая координата i -той инерционной массы; ϕ_i^H — начальная угловая координата i -той инерцион-

ной массы; X_i – горизонтальная координата i -той массы; Y_i – вертикальная координата i -той массы; h_n – текущее значение высоты неровностей под колесами n -й оси колесной трелевочно-транспортной машины.

Изображения обобщенных координат на расчетной схеме подразумевают динамические отклонения и ясны из рисунка.

Расчетная схема включает также крутящий момент ДВС M_d в виде функции частоты вращения его вала ϕ_d и перемещения педали подачи топлива $H(t)$ в зависимости от времени t , моменты трения сцепления $M_{сц}$ и фрикциона M_f на j -той передаче КП, силы сопротивления движению воздуха P_w соответствующим звеньям трелевочно-транспортной машины и качению колес P_f соответствующих мостов трактора, ПТМ и перемещению предмета труда.

При разработке приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев» по базовому транспортному средству были сделаны допущения по методике, разработанной В.М. Семеновым [1], а пачка деревьев рассматривалась как система обратных математических маятников, подвешенных на упругом подвесе. Одним из основных принципов разработки модели колесной трелевочно-транспортной системы является принцип связанности, позволяющий выбрать порядок соединения частных моделей, при котором в первую очередь соединяются подсистемы с более подробным математическим описанием этой связанности, что позволяет получать более высокую точность расчета.

В отличие от уже известных моделей, предложенная приведенная расчетная модель учитывает массовые параметры водителя, наиболее характерные особенности взаимодействия пачки деревьев с прицепным модулем и трелевочным волоком. На первом этапе исследований определялись собственные частоты колебаний

системы, для чего составленные уравнения приводились к виду

$$C\ddot{W} + AW = 0,$$

где C – матрица коэффициентов инерции; A – симметричная матрица коэффициентов жесткости.

Приведенные расчеты по параметрам собственных частот колебаний показывают, что многомассовая взаимосвязанная колебательная система трелевочно-транспортной машины с пачкой деревьев на подвесе является многоизбирательной системой переменной структуры. Это еще раз подтверждает тот факт, что при движении машины по трелевочному волоку на какой-либо из передач могут появляться резонансные явления вертикальных и продольно-угловых колебаний машины и элементов трансмиссии. В результате расчетов собственных частот колебаний по методу Рунге – Кутты для трансмиссии трактора МТЗ-82 было выявлено три группы частот. Низшие охватывают диапазон 1–50 Гц; средние – 50–200 Гц; высокие – свыше 200 Гц. Расчетным путем установлено, что пачка деревьев при трелевке снижает собственные частоты основных низкочастотных контуров исследованной системы на 12–26% в зависимости от параметров груза и конструкции подвеса. Установка упругого элемента в подвесе с жесткостью $2,3 \times 10^2$ кН/м снижает величину собственных частот колебаний системы на 20–25%.

Полученная приведенная расчетная модель связанной системы будет использована в дальнейших исследованиях и расчетах при учете внешних и внутренних сил для определения эксплуатационных параметров и нагрузочных режимов основных узлов и агрегатов с целью совершенствования конструкции.

Литература

Бочаров Н. Ф., Гусев В. И., Семенов В. М., и др. Транспортные средства на высокоэластичных движителях. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.