

с. 30. [4]. Турлай И. В. Анализ характеристик производственных участков, входящих в состав лесозаготовительных систем.— В кн.: Механизация лесозаготовок и транспорт леса. Минск: Вышэйш. школа, 1983, вып. 13, с. 12—18.

Поступила 5 апреля 1984 г.

УДК 629.114 : 630\*3-585.22.001.57

## ОБОБЩЕННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Я. И. ОСТРИКОВ, А. В. ЖУКОВ, Г. И. ЛИФШИЦ

Белорусский технологический институт  
Центральный автомобильный и автомобильный институт

Лесовозные автопоезда — сложные динамические системы. В практике их исследований и проектирования используют имитационные модели, различные по сложности и достоверности получаемых результатов. Имеющиеся имитационные модели движения лесовозных автопоездов с учетом колебательных процессов в трансмиссии и двигателя внутреннего сгорания как источника ограниченной мощности не учитывают всего разнообразия конструктивных схем и возможность рассмотрения гидромеханической трансмиссии (ГМТ). Вместе с тем применение ГМТ в приводах лесовозных автомобилей-тягачей по основным их технико-эксплуатационным показателям предпочтительнее других типов трансмиссий [1]. Однако возможности ее применения на таких автомобилях ни экспериментально, ни теоретически не рассматривались. Имитационные модели движения транспортных средств с ГМТ отличаются большой сложностью. До настоящего времени не было такой модели движения лесовозного автопоезда.

В данной работе рассматривается обобщенная имитационная модель движения лесовозного автопоезда с ГМТ в составе наиболее распространенных в лесной отрасли промышленности полноприводного автомобиля-тягача МАЗ 4 × 4 и двухосного прицепа-ропуска (ПР), нагруженных пачкой деревьев. ГМТ тягача представляет собой конструктивно измененный вариант серийной механической трансмиссии с заменой коробки передач, сцепления и органов их управления гидромеханической передачей (описание и краткая техническая характеристика которой изложены в работе [1]), состоящей из блокируемого комплексного гидротрансформатора (ГТ) и коробки передач (КП) с переключаемыми фрикционными муфтами ( $\Phi_i$ ). Расчетная схема движения такого автопоезда с учетом его основных конструктивных особенностей приведена на рисунке. В математической модели, составленной на основе системного подхода и принципов построения обобщенной модели гидромеханической КП [2], все этапы его движения описываются системой дифференциальных уравнений с переменной структурой:

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 = M_d [\dot{\varphi}_d, H(t)] - M_n (\dot{\varphi}_n, \lambda_n, t); \quad (1)$$

$$K_r = K(U_r); \lambda_n = \lambda(U_r); U_r = \dot{\varphi}_r / \dot{\varphi}_n; M_n = \lambda_n \rho (30/\pi)^2 D_a^5 \dot{\varphi}_n^2; \quad (2)$$

$$M_r = \begin{cases} M_n K_r, & \text{если } U_r \leq U_6 \text{ или } \dot{\varphi}_1 < \dot{\varphi}_{61}, \\ M_d [\dot{\varphi}_d, H(t)], & \text{если } U_r > U_6 \text{ и } \dot{\varphi}_1 \geq \dot{\varphi}_{62}; \end{cases} \quad (3)$$

$$I_{r_i} \ddot{\varphi}_r = M_r - U'_r \eta_{r,j}^{x_r,j} M_j - U'_{r,j+1} \eta_{r,j+1}^{x_r,j+1} M_{j+1}; \quad (4)$$



$$I_{\kappa i} \ddot{\varphi}_{\kappa} = -C_{\text{во}} (\varphi_{\kappa} - \varphi_{\text{рк}} U_{\text{рк}}) - K_{\text{во}} (\dot{\varphi}_{\kappa} - \dot{\varphi}_{\text{рк}} U_{\text{рк}}) + U'_{\kappa, j} \gamma_{\kappa, j}^{\kappa, j} M_j + U'_{\kappa, j+1} \gamma_{\kappa, j+1}^{\kappa, j+1} M_{j+1}; \quad (5)$$

$$I_{\text{рк}} \ddot{\varphi}_{\text{рк}} = C_{\text{во}} U_{\text{рк}} (\varphi_{\kappa} - \varphi_{\text{рк}} U_{\text{рк}}) + K_{\text{во}} U_{\text{рк}} (\dot{\varphi}_{\kappa} - \dot{\varphi}_{\text{рк}} U_{\text{рк}}) - C_{\text{п}}^{\text{нр}} (\varphi_{\text{рп}} - \varphi_{\text{п}} U_{\text{вм}}) - K_{\text{п}}^{\text{нр}} (\dot{\varphi}_{\text{рп}} - \dot{\varphi}_{\text{п}} U_{\text{вм}}) - C_{\text{з}}^{\text{нр}} (\varphi_{\text{рз}} - \varphi_{\text{з}} U_{\text{вм}}) - K_{\text{з}}^{\text{нр}} (\dot{\varphi}_{\text{рз}} - \dot{\varphi}_{\text{з}} U_{\text{вм}}); \quad (6)$$

$$I_{\text{п}} \ddot{\varphi}_{\text{п}} = C_{\text{п}}^{\text{нр}} U_{\text{вм}} (\varphi_{\text{рп}} - \varphi_{\text{п}} U_{\text{вм}}) + K_{\text{п}}^{\text{нр}} U_{\text{вм}} (\dot{\varphi}_{\text{рп}} - \dot{\varphi}_{\text{п}} U_{\text{вм}}) - C_{\text{шп}}^{\text{с}} (\varphi_{\text{п}} - \varphi_{\text{кп}}) - K_{\text{шп}}^{\text{с}} (\dot{\varphi}_{\text{п}} - \dot{\varphi}_{\text{кп}}); \quad (7)$$

$$I_{\text{з}} \ddot{\varphi}_{\text{з}} = C_{\text{з}}^{\text{нр}} U_{\text{вм}} (\varphi_{\text{рз}} - \varphi_{\text{з}} U_{\text{вм}}) + K_{\text{з}}^{\text{нр}} U_{\text{вм}} (\dot{\varphi}_{\text{рз}} - \dot{\varphi}_{\text{з}} U_{\text{вм}}) - C_{\text{шз}}^{\text{с}} (\varphi_{\text{з}} - \varphi_{\text{кз}}) - K_{\text{шз}}^{\text{с}} (\dot{\varphi}_{\text{з}} - \dot{\varphi}_{\text{кз}}); \quad (8)$$

$$\varphi_{\text{рк}} = 1/2 (\varphi_{\text{рз}} + \varphi_{\text{рп}}); \quad (9)$$

$$d_{\text{п}} C_{\text{п}}^{\text{нр}} (\varphi_{\text{рп}} - \varphi_{\text{п}} U_{\text{вм}}) - d_{\text{з}} C_{\text{з}}^{\text{нр}} (\varphi_{\text{рз}} - \varphi_{\text{з}} U_{\text{вм}}) = 0; \quad (10)$$

$$m_{\text{аx}} \ddot{x}_{\text{а}} = M_{\varphi_{\text{п}}}/r_{\text{кп}} + M_{\varphi_{\text{з}}}/r_{\text{кз}} - m_{\text{п}} g [(f_{\text{п}} + f_{\text{шп}}) \cos \alpha + \sin \alpha] - m_{\text{з}} g [(f_{\text{з}} + f_{\text{шз}}) \cos \alpha + \sin \alpha] - K_{\text{ва}} F_{\text{а}} \dot{x}_{\text{а}}^2 - C_{\text{x}} (x_{\text{а}} - x_{\text{р}}) - K_{\text{x}} (\dot{x}_{\text{а}} - \dot{x}_{\text{р}}) - P_{\text{x}} \text{sign} (\dot{x}_{\text{а}} - \dot{x}_{\text{р}}); \quad (11)$$

$$m_{\text{рx}} \ddot{x}_{\text{р}} = C_{\text{x}} (x_{\text{а}} - x_{\text{р}}) + K_{\text{x}} (\dot{x}_{\text{а}} - \dot{x}_{\text{р}}) - m_{\text{рx}} g [(f_{\text{р}} + f_{\text{шр}}) \cos \alpha + \sin \alpha] - K_{\text{вр}} F_{\text{р}} \dot{x}_{\text{р}}^2 + P_{\text{x}} \text{sign} (\dot{x}_{\text{а}} - \dot{x}_{\text{р}}); \quad (12)$$

$$M_{\text{кп}} = C_{\text{шп}}^{\text{с}} (\varphi_{\text{п}} - \varphi_{\text{кп}}); \quad (13)$$

$$M_{\text{кз}} = C_{\text{шз}}^{\text{с}} (\varphi_{\text{з}} - \varphi_{\text{кз}}); \quad (14)$$

$$\dot{G} = g_e (\dot{\varphi}_{\text{л}}) M_{\text{л}} [\dot{\varphi}_{\text{л}}, H(t)] \dot{\varphi}_{\text{л}}; \quad (15)$$

$$A_i = \int_0^{t_i} |(U'_{\tau, i} \dot{\varphi}_{\tau} - U'_{\kappa, i} \dot{\varphi}_{\kappa}) M_i| dt; \quad (16)$$

$$W_i = |M_i (U'_{\tau, i} \dot{\varphi}_{\tau} - U'_{\kappa, i} \dot{\varphi}_{\kappa})|, \quad (17)$$

где  $I_1 = I_{\text{д}} + I_{\text{п}}; \quad \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_{\text{д}} = \dot{\varphi}_{\text{п}};$

$$I_{1\tau i} = \begin{cases} I_{\tau i}, & \text{если } U_{\tau} \leq U_6 \text{ или } \dot{\varphi}_1 < \dot{\varphi}_{61}; \\ I_1 + I_{\tau i}, & \text{если } U_{\tau} > U_6 \text{ и } \dot{\varphi}_1 \geq \dot{\varphi}_{62}; \end{cases} \quad (18)$$

из условия  $z_i = \text{sign } U'_i |U_i \partial U_i / \partial U'_i \text{sign } M^{\text{н}},$

т. е.  $z_{\tau, j} = -\text{sign } M^{\text{н}}; \quad z_{\kappa, j} = \text{sign } M^{\text{н}}; \quad z_{\tau, j+1} = -\text{sign } M^{\text{н}};$

$$z_{\kappa, j+1} = \text{sign } M^{\text{н}},$$

следует:

$$\left\{ \begin{aligned} & M_{\tau} |U'_{\tau, i} - I_{\kappa i} \ddot{\varphi}_{\kappa}| U'_{\kappa, i} + \mu_{M_i \pm 1} n_{M_i \pm 1} r_{M_i \pm 1} N_{M_i \pm 1} (t) \times \\ & \times \text{sign} (U'_{\kappa, i \pm 1} \dot{\varphi}_{\kappa} - U'_{\tau, i \pm 1} \dot{\varphi}_{\tau}), \end{aligned} \right.$$

$$M_i^n = \begin{cases} \text{если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k = U'_{t,i} \dot{\varphi}_t \text{ и } U'_{k,i \pm 1} \dot{\varphi}_k \neq U'_{t,i \pm 1} \dot{\varphi}_t \\ \text{или если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k \neq U'_{t,i} \dot{\varphi}_t \text{ и } U'_{k,i \pm 1} \dot{\varphi}_k \neq U'_{t,i \pm 1} \dot{\varphi}_t; \\ \mu_{M_i} n_{M_i} r_{M_i} N_{M_i}(t) \operatorname{sign} (U'_{k,i} \dot{\varphi}_k - U'_{t,i} \dot{\varphi}_t), \\ \text{если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k \neq U'_{t,i} \dot{\varphi}_t \text{ и } U'_{k,i \pm 1} \dot{\varphi}_k = U'_{t,i \pm 1} \dot{\varphi}_t, \end{cases} \quad (19)$$

а также

$$M_i = \begin{cases} \mu_{M_i} n_{M_i} r_{M_i} N_{M_i}(t) \operatorname{sign} (U'_{k,i} \dot{\varphi}_k - U'_{t,i} \dot{\varphi}_t), \\ \text{если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k \neq U'_{t,i} \dot{\varphi}_t; \\ \mu_{M_i} n_{M_i} r_{M_i} N_{M_i}(t) \operatorname{sign} M_i^n, \\ \text{если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k = U'_{t,i} \dot{\varphi}_t \text{ и } \mu_{M_i} n_{M_i} r_{M_i} N_{M_i}(t) < |M_i^n|; \\ M_i^n, \\ \text{если } U'_{k,i} \dot{\varphi}_k = U'_{t,i} \dot{\varphi}_t \text{ и } \mu_{M_i} n_{M_i} r_{M_i} N_{M_i}(t) \geq |M_i^n|; \end{cases} \quad (20)$$

$$i = j, j + 1; \quad U_i = U'_{k,i} / U'_{t,i}; \quad \mu_{M_i \pm 1} = \mu_M (|U'_{k,i \pm 1} \dot{\varphi}_k - U'_{t,i \pm 1} \dot{\varphi}_t|)$$

$$\text{и } \mu_{M_i} = \mu_M (|U'_{k,i} \dot{\varphi}_k - U'_{t,i} \dot{\varphi}_t|); \quad N_M(t) = N_M(\tau, \Delta);$$

$$C_{\Pi}^{\text{пр}} = \frac{C_{\Pi\Pi}^c C_{\text{вп}}}{C_{\Pi\Pi}^c + C_{\text{вп}} U_{\text{гп}}^2}; \quad C_{\text{з}}^{\text{пр}} = \frac{C_{\Pi\text{з}}^c C_{\text{вз}}}{C_{\Pi\text{з}}^c + C_{\text{вз}} U_{\text{гп}}^2}; \quad K_{\Pi(\text{з})}^{\text{пр}} = \frac{K_{\Pi\Pi(\text{з})}^c K_{\text{вп}(\text{з})}^c}{K_{\Pi\Pi(\text{з})}^c + K_{\text{вп}(\text{з})}^c U_{\text{гп}}^2}$$

(в обозначениях индекс «а» указывает на отношение члена уравнения к движению автомобиля-тягача, «з» — заднего и «п» — переднего ведущих его мостов, «р» — ПР);

$$U_{\text{вм}} = U_{\text{гп}} U_{\text{кп}}; \quad I_{\Pi(\text{з})} = I_{\text{кп}(\text{з})} + n_{\text{шп}(\text{з})} I_{\text{ш}}; \quad C_{\text{шп}(\text{з})}^c = n_{\text{шп}(\text{з})} C_{\text{шп}(\text{з})};$$

$$K_{\text{шп}(\text{з})}^c = n_{\text{шп}(\text{з})} K_{\text{шп}(\text{з})}; \quad C_{\Pi\Pi(\text{з})}^c = n_{\Pi} C_{\Pi\Pi(\text{з})}; \quad K_{\Pi\Pi(\text{з})}^c = n_{\Pi} K_{\Pi\Pi(\text{з})},$$

$$C_{\text{шп}(\text{з})} = v_{\text{шп}(\text{з})}^0 r_{\text{кп}(\text{з})}; \quad r_{\text{кп}(\text{з})} = r_{\text{кп}(\text{з})}^0 - v_{\text{шп}(\text{з})} M_{\text{кп}(\text{з})} / 2;$$

$$r_{\text{кп}(\text{з})}^0 = r_c^0 - \beta [p_{\text{ш}}^0 p_{\text{шп}(\text{з})}] - \gamma Q_{\text{шп}(\text{з})}^{0,5} / [1 + p_{\text{шп}(\text{з})}];$$

$$Q_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})} = R_{\Pi(\text{з}, \text{р})} / n_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})}; \quad v_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})} = v_{\text{ш}}^x \{1 - [1 - Q_{\text{ш}}^x / Q_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})}] p_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})} / p_{\text{ш}}^x\};$$

$$R_3 = [l_a m_{ax} g \cos \alpha + h_a m_{ax} g \sin \alpha + K_{\text{ва}} F_a h_{\text{ва}} x_a^2 + m_{ax} \ddot{x}_a h_a + \\ + P_x h_{\text{ка}} \operatorname{sign} (\dot{x}_a - \dot{x}_p)] / L_a;$$

$$R_{\Pi} = m_{ax} g \cos \alpha - R_3;$$

$$R_p = [m_{px} g \cos \alpha (L_p + l_{\text{ка}}) + m_{px} g \sin \alpha (h_p - h_{\text{ка}}) + K_{\text{вп}} F_p \times \\ \times x_p^2 (h_p - h_{\text{ка}}) + m_{px} \ddot{x}_p (h_p - h_{\text{ка}}) - P_x h_{\text{ка}} \operatorname{sign} (\dot{x}_a - \dot{x}_p)] / (L_p + l_{\text{ка}}); \\ m_{ax} = m_a + a m_x; \quad m_{px} = m_p + (1 - a) m_x; \quad m_{\Pi} = b (m_a + \\ + a m_x); \quad m_3 = (1 - b) (m_a + a m_x);$$

$$f_{\Pi(\text{з})} = f_{\Pi(\text{з})}^0 + \mu_{f_{\Pi(\text{з})}} M_{\text{кп}(\text{з})}^2 + K_f \dot{x}_a^2 + f_{\Pi(\text{з})} - \text{для ведущего режима};$$

$$f_p = f_p^0 + K_f \dot{x}_p^2 + f_{\text{вп}} - \text{для ведомого режима};$$

$$f_{\Pi(\text{з}, \text{р})}^0 = [\delta + \varepsilon Q_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})}^2] / [1 + p_{\text{шп}(\text{з}, \text{р})}]; \quad \mu_{f_{\Pi(\text{з})}} = v_{\text{шп}(\text{з})} / [Q_{\text{шп}(\text{з})} r_{\text{кп}(\text{з})}^0 r_{\text{кп}(\text{з})}];$$

$$f_{шп(z, p)} = f_{шп(z, p)}^0 + K_{1п} \dot{x}_{a(p)} + K_{п} \dot{x}_{a(p)}^2 \text{ — для твердой поверхности;}$$

$$f_{шп(z, p)} = q_{ср} h_{гп(z, p)} B_{ш} \mu_{шп(z, p)} / Q_{шп(z, p)} \text{ — для деформируемых грунтов;}$$

$$P_x = am_x g \cos \alpha \mu_x;$$

$$M_{фп(z)} = \begin{cases} R_{п(z)} \mu_{шп(z)} r_{кп(z)} \operatorname{sign} [\dot{\varphi}_{кп(z)} r_{кп(z)} - \dot{x}_a], \\ \text{если } \dot{\varphi}_{кп(z)} r_{кп(z)} \neq \dot{x}_a; \\ R_{п(z)} \mu_{шп(z)} r_{кп(z)} \operatorname{sign} M_{кп(z)}, \\ \text{если } \dot{\varphi}_{кп(z)} r_{кп(z)} = \dot{x}_a \text{ и } R_{п(z)} \mu_{шп(z)} r_{кп(z)} < |M_{кп(z)}|; \\ M_{кп(z)}, \text{ если } \dot{\varphi}_{кп(z)} r_{кп(z)} = \dot{x}_a \text{ и } R_{п(z)} \mu_{шп(z)} r_{кп(z)} \geq |M_{кп(z)}|, \end{cases} \quad (21)$$

$$\mu_{шп(z)} = \mu_{ш} (|\dot{\varphi}_{кп(z)} r_{кп(z)} - \dot{x}_a|);$$

$I_d$  — момент инерции вращающихся частей двигателя;

$I_H$  — момент инерции насосного колеса ГТ и связанных с ним деталей фрикциона блокировки (ФБ);

$I_{Ti}$  — момент инерции турбинного колеса ГТ со связанными с ним деталями и приведенные к нему моменты инерции ведущих частей  $\Phi_i$  на  $j$ -той передаче КП;

$I_{ki}$  — момент инерции выходного вала КП со связанными с ним деталями КП и частью основного карданного вала (КВ) и приведенные к нему моменты инерции ведомых частей  $\Phi_i$  на  $j$ -той передаче;

$I_{рк}$  — момент инерции коробки межосевого дифференциала РК со связанными с ним деталями и частями заднего и переднего КВ и приведенные к нему моменты инерции части основного КВ, входного и промежуточного валов РК и связанных с ними деталей;

$I_{кп(z)}$  — суммарные моменты инерции колес ведущих мостов и приведенные к ним моменты инерции соответствующих колесных редукторов, главных передач, полуосей и части КВ со связанными с ними деталями;

$I_{ш}$  — момент инерции резинокордной оболочки шины ведущих мостов;

$C_{во}$  и  $K_{во}$ ,  $C_{вз(п)}$  и  $K_{вз(п)}$  — соответственно крутильные жесткости и коэффициенты демпфирования основного, заднего (переднего) карданных валов;

$C_{пз(п)}$  и  $K_{пз(п)}$  — соответственно крутильные жесткости и коэффициенты демпфирования полуосей ведущих мостов;

$C_{шз(п)}$  и  $K_{шз(п)}$  — соответственно крутильные жесткости и коэффициенты демпфирования резинокордных оболочек шин ведущих мостов;

- $C_x$  и  $K_x$  — соответственно суммарные жесткость и коэффициент демпфирования продольной связи тягача с ПР;
- $M_d [\dot{\varphi}_d, H(t)]$  — крутящий момент двигателя;
- $g_e (\dot{\varphi}_d)$  — удельный расход топлива, кг/(квт·с);
- $M_k$  — крутящие моменты, реализуемые на ведущих колесах тягача;
- $M_\varphi$  — моменты сцепления колес ведущих мостов тягача с дорогой;
- $d$  — коэффициент, характеризующий тип межосевого дифференциала, причем  $d_3 = 1 - d_n$ ;
- $U_z$  — передаточное отношение соответствующих трансформирующих узлов системы — ГТ (г), ФБ (б) КП (к), РК (рк), главной передачи (гп) и колесной передачи (кп) ведущего моста;
- $\varphi_y, \dot{\varphi}_y, \ddot{\varphi}_y$  — угловые перемещения, частоты вращения и угловые ускорения соответствующих валопроводов системы, причем  $\varphi_{16} < \varphi_{26}$  соответственно частоты вращения ведомых частей ФБ до блокирования и перед разблокированием ГТ;
- $x_{a(p)}, \dot{x}_{a(p)}, \ddot{x}_{a(p)}$  — линейные перемещения, скорости и ускорения соответствующих частей автопоезда.

Уравнения также включают:

конструктивные параметры автопоезда: массы ( $m$ ) и коэффициенты распределения масс ( $a$  и  $b$ ), базы ( $L$ ), координаты центров масс ( $l$  и  $h$ ), коэффициенты обтекаемости ( $K_a$ ) и площади ( $F$ ) лобового сопротивления воздуху, высоты центров парусности ( $h_b$ ) соответствующих его частей, высота ( $h_{ка}$ ) и смещение ( $l_{т.а}$ ) коника тягача относительно продольной оси заднего моста;

параметры ГТ: активный диаметр ( $D_a$ ), плотность рабочей жидкости ( $\rho$ ), силовые ( $K_r$ ) и нагрузочные ( $\lambda_n$ ) характеристики;

параметры КП: кпд ( $\eta_i$ ), показатели степеней ( $x_i$ ) при кпд и передаточные отношения ( $U'_i$ ) соответствующих кинематических цепей, коэффициент ( $\mu_m$ ) и число пар ( $n_m$ ) трения фрикционных муфт, средний радиус дисков ( $r_m$ ) и закон управления фрикционными муфтами [ $N_m(t)$ ], являющийся функцией темпа изменения нажимного усилия ( $\tau$ ) и интервала времени ( $\Delta$ ) между действиями нажимных усилий;

число полуосей ведущих мостов ( $n_n$ ) и шин ( $n_{ш}$ ), характеристики шин: свободный ( $r_c^n$ ) и текущий ( $r_k$ ) радиус ведущих колес, номинальное и фактическое внутреннее давление воздуха в шине ( $p_{ш}$ ), ее номинальный и текущий коэффициент тангенциальной эластичности ( $\nu_{ш}$ ), номинальная и фактическая нагрузка ( $Q_{ш}$ ), константы ( $\beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ ) и ширина профиля ( $B_{ш}$ );

закон изменения уровня подачи топлива в двигатель [ $H(t)$ ] и параметры внешней среды: угол наклона дороги ( $\alpha$ ), коэффициенты трения скольжения протектора шины ( $\mu_{ш}$ ) и древесины по балке коника ( $\mu_x$ ), ускорение свободного падения ( $g$ ), коэффициенты учета влияния микропрофиля дороги ( $K_{1ш}$  и  $K_{ш}$ ), скорости движения ( $K_f$ ) и передаваемого крутящего момента ( $\mu_f$ ) на коэффициент сопротивле-

ния качению ( $f$ ) каждого колеса автопоезда, среднее давление на грунт ( $q_{cp}$ ) и глубина колеи ( $h_r$ ) при движении по деформируемым грунтам.

Система уравнений состоит из: уравнения движения дизельного двигателя с насосной частью ГТ (1); зависимостей (2) и (3), описывающих его внешние характеристики; уравнения движения его турбинной части с ведущими частями переключаемых фрикционных муфт КП (4); уравнений (5) и (6), описывающих КП с двумя степенями свободы любой структуры и сложности, а также уравнений движения привода ведущих колес (6)—(8), работы дифференциала РК (9) и (10) и движителей (13) и (14), тяговой динамики (11) и (12) автопоезда, расхода топлива (15), работы (16) и мощности (17) буксования фрикционных муфт КП. Особенностями данной системы уравнений является учет: характеристики двигателя; условий блокирования ГТ, описываемых релейными условиями (3) и (18); особенностей схемы и переменной структуры КП и состояние ее фрикционных муфт, учитываемых специальными релейными условиями (19) и (20); переменной структуры работы движителей с учетом их буксования, описываемой релейными условиями (21) и (22); типа дифференциала РК; переменной структуры и основных составляющих [3] радиуса качения колес каждого ведущего моста тягача и сопротивления качению каждого колеса автопоезда, являющегося функцией скорости движения ( $\dot{x}$ ), крутящего момента ( $M_k$ ) и неровностей дороги ( $q$ ) и определяющего в значительной степени эксплуатационные свойства и нагруженность систем и деталей лесовозного автопоезда.

Использование приведенной модели позволяет оценить влияние характеристик ГМТ на скоростные, динамические, экономические и нагрузочные характеристики движения автопоезда в различных грузовых состояниях при различных параметрах внешней среды и воздействия, учитывающих специфику его эксплуатации. По изложенной математической модели разработана программа для ЕС ЭВМ, при апробации которой получены результаты достаточной точности. Расхождение их с результатами эксперимента составило: по нагрузочным режимам — до 6 %, по топливной экономичности — до 15 %, по скоростным качествам — до 10 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Жуков А. В., Тихонов А. Ф., Остриков Я. И. Перспективы применения гидромеханических передач на лесовозных автопоездах.— В кн.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, Минск: Высш. школа, 1983, вып. 13, с. 90—96.  
 [2]. Ли ф ш и ц Г. И. Обобщенная модель коробки передач в динамической расчетной схеме и программе расчета процессов движения транспортной машины.— В кн.: Активная и пассивная безопасность и надежность автомобиля, М.: МАМИ, 1984, с. 12—20.  
 [3]. Петрушов В. А., Московкин В. В., Евграфов А. Н. Мощностной баланс автомобиля.— М.: Машиностроение, 1984.— 160 с.

Поступила 3 января 1986 г.

УДК 625.731.001.24

### РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВАНИЯ ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ НАСТИЛОМ

Б. В. УВАРОВ, В. В. ЩЕЛКУНОВ

Архангельский лесотехнический институт

Увеличение срока действия зимних автомобильных дорог — важный вопрос лесного транспорта. Продление срока службы дорог возможно