

с. 30. [4]. Турлай И. В. Анализ характеристик производственных участков, входящих в состав лесозаготовительных систем.— В кн.: Механизация лесоразработок 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 автотракторный 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:

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

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

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

$$I_{1Tl} \ddot{\varphi}_T = M_T - U'_T \eta_{T,j}^{x_T, j} M_j - U'_{T, j+1} \eta_{T, j+1}^{x_T, j+1} M_{j+1}; \quad (4)$$



$$I_{kl}\ddot{\varphi}_k = -C_{во}(\varphi_k - \varphi_{pk}U_{pk}) - K_{во}(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_{pk}U_{pk}) + U'_{k,j}\eta_{k,j}^{\kappa,j}M_j + U'_{k,j+1}\eta_{k,j+1}^{\kappa,j+1}M_{j+1}; \quad (5)$$

$$I_{pk}\ddot{\varphi}_{pk} = C_{во}U_{pk}(\varphi_k - \varphi_{pk}U_{pk}) + K_{во}U_{pk}(\dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_{pk}U_{pk}) - C_{\Pi}^{np}(\varphi_{p\Pi} - \varphi_{\Pi}U_{вм}) - K_{\Pi}^{np}(\dot{\varphi}_{p\Pi} - \dot{\varphi}_{\Pi}U_{вм}) - C_{3}^{np}(\varphi_{p3} - \varphi_{3}U_{вм}) - K_{3}^{np}(\dot{\varphi}_{p3} - \dot{\varphi}_{3}U_{вм}); \quad (6)$$

$$I_{\Pi}\ddot{\varphi}_{\Pi} = C_{\Pi}^{np}U_{вм}(\varphi_{p\Pi} - \varphi_{\Pi}U_{вм}) + K_{\Pi}^{np}U_{вм}(\dot{\varphi}_{p\Pi} - \dot{\varphi}_{\Pi}U_{вм}) - C_{шп}^c(\varphi_{\Pi} - \varphi_{кп}) - K_{шп}^c(\dot{\varphi}_{\Pi} - \dot{\varphi}_{кп}); \quad (7)$$

$$I_{3}\ddot{\varphi}_{3} = C_{3}^{np}U_{вм}(\varphi_{p3} - \varphi_{3}U_{вм}) + K_{3}^{np}U_{вм}(\dot{\varphi}_{p3} - \dot{\varphi}_{3}U_{вм}) - C_{ш3}^c(\varphi_{3} - \varphi_{к3}) - K_{ш3}^c(\dot{\varphi}_{3} - \dot{\varphi}_{к3}); \quad (8)$$

$$\varphi_{pk} = 1/2(\varphi_{p3} + \varphi_{p\Pi}); \quad (9)$$

$$d_{\Pi}C_{\Pi}^{np}(\varphi_{p\Pi} - \varphi_{\Pi}U_{вм}) - d_{3}C_{3}^{np}(\varphi_{p3} - \varphi_{3}U_{вм}) = 0; \quad (10)$$

$$m_{ax}\ddot{x}_a = M_{\varphi_{\Pi}}/r_{кп} + M_{\varphi_{3}}/r_{к3} - m_{пг}[(f_{\Pi} + f_{шп})\cos\alpha + \sin\alpha] - m_3g[(f_3 + f_{ш3})\cos\alpha + \sin\alpha] - K_{ва}F_a\dot{x}_a^2 - C_x(x_a - x_p) - K_x(\dot{x}_a - \dot{x}_p) - P_x \operatorname{sign}(\dot{x}_a - \dot{x}_p); \quad (11)$$

$$m_{px}\ddot{x}_p = C_x(x_a - x_p) + K_x(\dot{x}_a - \dot{x}_p) - m_{px}g[(f_p + f_{шп})\cos\alpha + \sin\alpha] - K_{вp}F_p\dot{x}_p^2 + P_x \operatorname{sign}(\dot{x}_a - \dot{x}_p); \quad (12)$$

$$M_{кп} = C_{шп}^c(\varphi_{\Pi} - \varphi_{кп}); \quad (13)$$

$$M_{к3} = C_{ш3}^c(\varphi_3 - \varphi_{к3}); \quad (14)$$

$$\dot{G} = g_e(\dot{\varphi}_d)M_d[\dot{\varphi}_d, H(t)]\dot{\varphi}_d; \quad (15)$$

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

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

где  $I_1 = I_d + I_{в}; \quad \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_d = \dot{\varphi}_{н};$

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

из условия  $\kappa_i = \operatorname{sign} U'_i/U_i \partial U_i / \partial U'_i \operatorname{sign} M^u,$

т. е.  $\kappa_{\tau,j} = -\operatorname{sign} M^u; \quad \kappa_{\kappa,j} = \operatorname{sign} M^u; \quad \kappa_{\tau,j+1} = -\operatorname{sign} M^u;$

$$\kappa_{\kappa,j+1} = \operatorname{sign} M^u,$$

следует:

$$M_{\tau}/U'_{\tau,i} - I_{kl}\ddot{\varphi}_k/U'_{\kappa,i} + \mu_{M_{l\pm 1}}n_{M_{l\pm 1}}r_{M_{l\pm 1}}N_{M_{l\pm 1}}(t) \times \times \operatorname{sign}(U'_{\kappa,i\pm 1}\dot{\varphi}_{\kappa} - U'_{\tau,i\pm 1}\dot{\varphi}_{\tau}),$$

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

а также

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

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

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

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

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

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

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

$$C_{\text{шп(з)}} = v_{\text{шп(з)}}^1 r_{\text{кп(з)}}; r_{\text{кп(з)}} = r_{\text{кп(з)}}^0 - v_{\text{шп(з)}} M_{\text{кп(з)}} / 2;$$

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

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

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

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

$$R_p = [m_{px} g \cos \alpha (L_p + l_{\text{ка}}) + m_{px} g \sin \alpha (h_p - h_{\text{ка}}) + K_{\text{вп}} F_p \times$$

$$\times x_p^2 (h_p - h_{\text{ка}}) + m_{px} \ddot{x}_p (h_p - h_{\text{ка}}) - P_x h_{\text{ка}} \operatorname{sign} (\dot{x}_a - \dot{x}_p)] / (L_p + l_{\text{ка}});$$

$$m_{ax} = m_a + a m_x; m_{px} = m_p + (1 - a) m_x; m_{\text{п}} = b (m_a +$$

$$+ a m_x); m_3 = (1 - b) (m_a + a m_x);$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$I_{\text{д}}$  — момент инерции вращающихся частей двигателя;

$I_{\text{н}}$  — момент инерции насосного колеса ГТ и связанных с ним деталей фрикциона блокировки (ФБ);

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

$I_{\text{k}i}$  — 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  $i$ -той передаче;

$I_{\text{рк}}$  — 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;

$I_{\text{кп}(z)}$  — 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;

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

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

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

$C_{\text{шз}(п)}$  и  $K_{\text{шз}(п)}$  — 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;
- $g_e(\varphi_d)$  — 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  $\dot{\varphi}_{16} < \dot{\varphi}_{26}$  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 ( $K_v$ ) и площади ( $F$ ) лобового сопротивления воздуху, высоты центров парусности ( $h_v$ ) соответствующих его частей, высота ( $h_{на}$ ) и смещение ( $l_{на}$ ) 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 ( $\chi_i$ ) 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 ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ) 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 ( $K_{1н}$  и  $K_{2н}$ ), скорости движения ( $K_f$ ) и передаваемого крутящего момента ( $\mu_f$ ) на коэффициент сопротивле-

ния качению ( $f$ ) каждого колеса автопоезда, среднее давление на грунт ( $q_{\text{ср}}$ ) 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. Особенности 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]. Лифшиц 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