

время стоимость пластмассовых труб пока еще высока и составляет более 60% общих затрат при строительстве дорожного дренажа. В перспективе с увеличением мощностей предприятий, выпускающих пластмассовые дренажные трубы, и с развитием химической промышленности намечается уменьшение стоимости пластмассовых дренажных труб. Данные табл. 2 показывают, что с учетом всех видов затрат на строительство дорожного дренажа пластмассовый дренаж экономически выгоден. Экономия средств достигается в основном за счет уменьшения затрат на строительные и погрузочно-транспортные работы.

Приведенные расчеты свидетельствуют о возможности уменьшения капиталовложений в строительство автомобильных лесовозных дорог за счет регулирования их водно-теплового режима и особенно при использовании пластмассовых материалов.

Л и т е р а т у р а

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Под редакцией Золоторя И.А., Пузакова Н.А., Сиденко В.М. М., 1971.
2. Леонович И.И., Лышик П.А. Повышение прочности дорожных одежд путем регулирования водно-теплового режима. - Изв.вузов. Лесной журнал, 1974, № 6.
3. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-72. М., 1973.
4. Лышик П.А. Способы регулирования водно-теплового режима автомобильных лесовозных дорог и условия их применения. - В сб.: Современные проблемы сухопутного транспорта леса. Минск, 1977.

УДК 625.711.83

И.И.Леонович, докт.техн.наук, профессор,
А.В.Жуков, канд.техн.наук, К.Б.Абрамович,
канд.техн.наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ДОРОГОЙ НА РЕЖИМЕ ТОРМОЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК НА ОСИ

При проектировании и эксплуатации транспортных систем и дороги важное место принадлежит оценке динамической нагруженности как тягового и прицепного подвижного состава, так и дорожной конструкции.

Силы взаимодействия транспортных систем с дорогой зависят не только от проектных характеристик дороги и транспортной системы, но и от их технического состояния. При этом степень ровности дорожного покрытия является определяющей при оценке взаимодействия колес с дорогой.

В работах [1, 2] рассматривается динамическое взаимодействие транспортной системы с дорогой при установившемся движении. Вопросы, связанные с неустановившимся движением (торможение или разгон), освещены еще недостаточно. Так, в работах [3, 4] предложенная методика касается только двухмассовой системы и идеализированных неровностей. В связи с этим возникает необходимость изучения неустановившихся процессов, происходящих в механической системе автомобиль – дорога с учетом конструкции транспортной системы при движении ее по дороге с реальным микрорельефом.

Исследования проводились на примере автопоезда МА3-509+ТМЗ-803, характеризующегося сложной многоосной динамической системой. При разработке методики расчета колебаний на неустановившихся режимах движений учитывались такие параметры, как упругость и сопротивление элементов подвески, упругие свойства перевозимого груза и шин, а также многомассовость автопоезда и др.

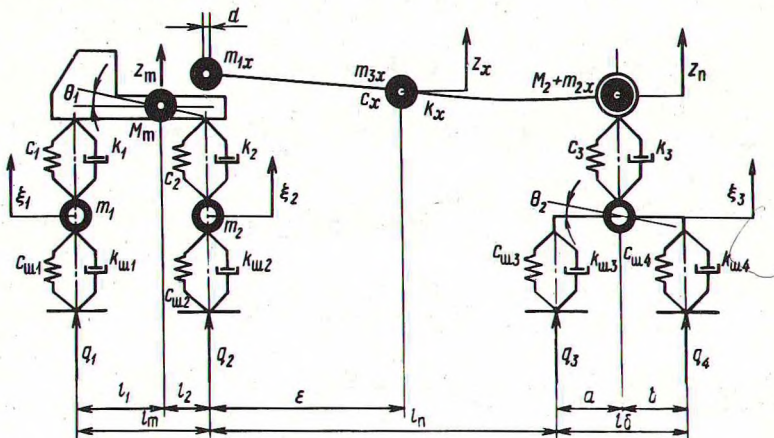


Рис. 1. Расчетная схема автопоезда.

Расчетная схема автопоезда приведена на рис. 1.

В соответствии с принципом Лагранжа на основании выражений кинетической, потенциальной энергии и диссипативной функции получены следующие дифференциальные уравнения вертикальных колебаний автопоезда:

$$\begin{aligned}
& (M_T + m_{1x})\ddot{z}_T + k'\ddot{z}_T + c'z_T + m_{1x}(1_2-d)\ddot{\theta} + k''\dot{\theta} + \\
& + c''\dot{\theta} - k'\dot{\xi}_1 - c_1\xi_1 - k_2\xi_2 - c_2\xi_2 + K_1K_2k_x\dot{z}_\Pi + \\
& + K_1K_2c_xz_\Pi - K_1k_xz_x - K_1c_xz_x = 0; \\
& M_T\rho_T^2\ddot{\theta} + m_{1x}(1_2-d)^2\ddot{\theta} + k'''\theta + c'''\theta + m_{1x}(1_2-d)\dot{z}_T + \\
& + k''z_T + c''z_T + l_1k_1\dot{\xi}_1 + c_1l_1\dot{\xi}_1 - l_2k_2\dot{\xi}_2 - l_2c_2\xi_2 + \\
& + K_2K_3k_xz_\Pi + K_2K_3c_xz_\Pi - K_2k_xz_x - K_2c_xz_x = \\
& = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_1\dot{\xi}_1 + (k_1 + k_{\text{ш1}})\ddot{\xi}_1 + (c_1 + c_{\text{ш1}})\dot{\xi}_1 - k_1\dot{z}_T - c_1\dot{z}_T + \\
& + K_1l_1\dot{\theta} + c_1l_1\theta = k_{\text{ш1}}\dot{q}_1 + c_{\text{ш1}}q_1 + R'_{T1}; \\
& m_2\dot{\xi}_2 + (k_2 + k_{\text{ш2}})\dot{\xi}_2 + (c_2 + c_{\text{ш2}})\xi_2 - k_2\dot{z}_T - c_2z_T - \\
& - l_2k_2\dot{\theta} - c_2l_2\theta = k_{\text{ш2}}\dot{q}_2 + c_{\text{ш2}}q_2 + R'_{T2};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_x\ddot{z}_x + k_x\dot{z}_x + c_xz_x - k_1K_1\dot{z}_T - c_xK_1z_T - \\
& - k_xK_3\dot{z}_\Pi - c_xK_3z_\Pi - k_xK_2\dot{\theta} - c_xK_2\theta = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (M_\Pi + m_{2x})\ddot{z}_\Pi + k^{\text{IV}}z_\Pi + c^{\text{IV}}z_\Pi + K_2K_1k_x\dot{z}_T + c_xK_1K_2z_T - \\
& - k_xK_3z_x - c_xK_3z_x + k_xK_2K_3\dot{\theta} + c_xK_2K_3\theta = \\
& = \dot{q}_3\frac{1}{b}k_{\text{ш3}} + \frac{1}{b}q_3c_{\text{ш3}} + \dot{q}_4\frac{1}{a}k_{\text{ш4}} + q_4\frac{1}{a}c_{\text{ш4}} + \\
& + R_{\Pi 2}^{\text{I}}.
\end{aligned}$$

Здесь $c' = c_1 + c_2 + K_1^2c_x$; $c'' = l_2c_2 + l_1c_1 + K_1K_2c_x$;
 $c''' = l_1^2c_1 + l_2^2c_2 + K_3^2c_x$; $k' = k_1 + k_2 + K_1^2k_x$; $k'' =$

$$= l_2^2 k_2 - l_1 k_1 + K_1 K_2 k_x; \quad k''' = l_1^2 k_1 + l_2^2 k_2 + K_2^2 k_x;$$

$$c^{IV} = \frac{l_0^2}{b^2} c_{ш3} + \frac{l_0^2}{a^2} c_{ш4} + K_3 c_x; \quad K_1 = \frac{L_{II} - e}{L_{II} + d};$$

$$K_2 = \frac{d + e}{L_{II} + d}; \quad m_{1x} = \frac{I}{(e + d)(L_{II} + d)};$$

$$m_{2x} = \frac{I}{(L_{II} - e)(L_{II} + d)}; \quad M_x = \frac{I}{(e + d)(L_{II} - e)};$$

z_T, z_x, z_{II} - вертикальные перемещения центра тяжести соответственно тягача, пакета груза и прицепа; θ_1 - продольно-угловые перемещения подрессоренной массы тягача; ξ_1, ξ_2 - вертикальные перемещения неподдресоренных масс соответственно передней и задней осей тягача; I - момент инерции пакета груза; M_T, M_{II} - соответственно подрессоренная масса тягача и масса прицепа-ропуски; m_1, m_2 - неподдресоренные массы соответственно передней и задней осей тягача; ρ_T - радиус инерции подрессоренной массы тягача; c_1, c_2 - вертикальные жесткости передней и задней рессор тягача; $c_{ш1}, c_{ш2}, c_{ш3}, c_{ш4}$ - вертикальные жесткости соответствующих осей тягача и прицепа; c_x - жесткость пакета груза при изгибе; k_1, k_2 - коэффициенты сопротивления вертикальным перемещениям в передней и задней подвесках тягача; $k_{ш1}, k_{ш2}, k_{ш3}, k_{ш4}$ - коэффициенты вертикального сопротивления шин соответствующих осей автопоезда; k_x - коэффициент сопротивления изгибу пакета груза; q_1, q_2, q_3, q_4 - текущие значения высот неровностей под колесами соответствующих осей автопоезда;

$$q_1 = f(t); \quad q_2 = f(t - \tau_1); \quad q_3 = f(t - \tau_2); \quad q_4 = f(t - \tau_3);$$

τ_1, τ_2, τ_3 - запаздывание воздействия на последующие оси по отношению к предыдущим:

$$\tau_1 = \frac{L_T}{v}; \quad \tau_2 = \frac{L_T + L_{II} - a}{v}; \quad \tau_3 = \frac{L_T + L_{II} - b}{v};$$

где v - скорость движения автопоезда.

Воздействие от дороги задается в виде таблицы значений высот неровностей q по длине опытного участка через определенные интервалы S_{II} .

Время t_{Π} , соответствующее каждому из задаваемых значений высот, определялось по формуле

$$t_{\Pi} = \frac{v_{\Pi}}{j} - \sqrt{\left(\frac{v_{\Pi}}{j}\right)^2 - \frac{2S_{\Pi}}{j}}, \quad n=1,2,3,\dots,$$

где $v_{\Pi} = v_{\Pi-1} - jt$ (при v_1 скорость $v_{\Pi-1} = v_0$, начальная скорость v_0 задается).

Выражения для функций $R'_{T1} = f(t)$; $R'_{T2} = f(t)$ и $R'_{\Pi2} = f(t)$ равны

$$R'_{T1} = \frac{R'_{\Pi1} d}{L_T} + \frac{m_T (P_T + P_{\Pi})(h_T - h_{кр})}{L_T} + \frac{h_{кр}}{L_T} P_{\Pi};$$

$$R'_{T2} = \frac{R'_{\Pi1} d}{L_T} + \frac{m_T (P_T + P_{\Pi})(h_T - h_{кр})}{L_T} - \frac{h_{кр}}{L_T} P_{\Pi};$$

$$R'_{\Pi2} = \frac{m (P_T + P_{\Pi})(h_C - h_{кр})}{L_{\Pi} + d} - \frac{h_{кр}}{L_{\Pi} + d} P_{\Pi},$$

$$\text{где } R'_{\Pi1} = \frac{m (P_T + P_{\Pi})(h_C - h_{кр})}{L_{\Pi} + d} + \frac{h_{кр}}{L_{\Pi} + d} P_{\Pi};$$

$$M_T g + \frac{(L_{\Pi} - \varepsilon)(M_T + m_0 + M_{\Pi})g}{L_{\Pi}}$$

$$P_T = \varphi \frac{t_{\Pi}}{t};$$

$$P_{\Pi} = \varphi \frac{(\varepsilon + d)(M_T + m_0 + M_{\Pi})g}{L_{\Pi} + t_{\Pi}} t; \quad P_T + P_{\Pi} =$$

$$= \varphi \frac{(M_T + m_0 + M_{\Pi})g}{t_{\Pi}} t; \quad m_T = \frac{M_T}{M_T + m_0 + M_{\Pi}};$$

$$m = \frac{M_{\Pi} + m_0}{M_T + m_0 + M_{\Pi}},$$

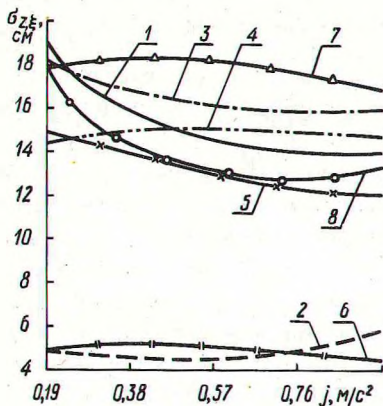


Рис. 2. Зависимость изменения величины средневладратичных значений перемещений поддресоренных и неподдресоренных масс автопоезда от j при торможении ($V_0 = 5,5$ м/с) с учетом (1 - Z_T , 2 - Z_{II} , 3 - ξ_1 , 4 - ξ_2) и без учета (5 - Z_T , 6 - Z_{II} , 7 - ξ_1 , 8 - ξ_2) перераспределения нагрузок на оси.

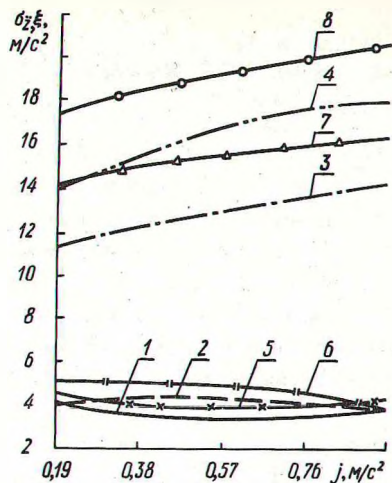


Рис. 3. Зависимость средневладратичных значений вертикальных ускорений поддресоренных и неподдресоренных масс автопоезда от j при торможении ($V_0 = 5,5$ м/с) с учетом (1 - Z_T , 2 - Z_{II} , 3 - ξ_1 , 4 - ξ_2) и без учета (5 - Z_T , 6 - Z_{II} , 7 - ξ_1 , 8 - ξ_2) перераспределения нагрузок на оси.

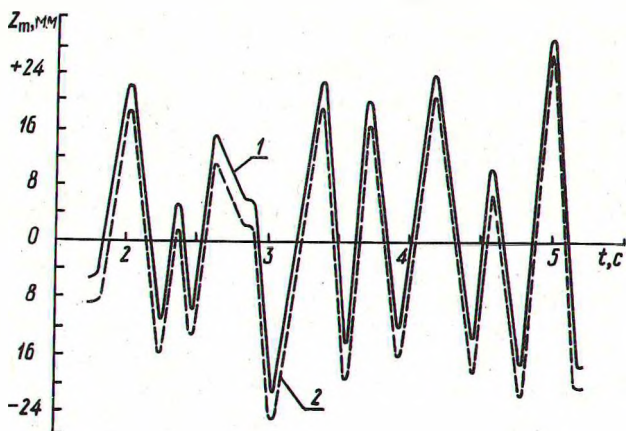


Рис. 4. Зависимость амплитуд вертикальных перемещений центра тяжести поддресоренных масс автомобиля при торможении ($j = 1,14$ м/с², $V_0 = 5,5$ м/с, $S_{II} = 25,4$ м): 1 - с учетом, 2 - без учета перераспределения нагрузок на оси.

где m_0 - полная масса пакета.

Функции R_{T1}^1 , R_{T2}^1 , $R_{П2}^1$ зависят от времени t . От начала момента торможения, соответствующего скорости v_0 и до времени $t_1 = t_{пр}$, происходит возрастание функций R_{T1}^1 , R_{T2}^1 и $R_{П2}^1$, после чего эти функции остаются постоянными до полной остановки автопоезда, т.е. они сохраняют те значения, которые приобрели к моменту времени $t = t_{пр}$.

Дифференциальные уравнения движения решались с помощью ЭЦВМ "М-220". В расчет принимались опытные участки дорог с гравийным покрытием, характеризующиеся различной степенью ровности, причем широко варьировались ускорения при замедленном движении (j) и начальные скорости движения (v_0).

Влияние величины замедления j (отрицательного ускорения) на среднеквадратичные значения перемещений подрессоренных и неподрессоренных масс автопоезда с учетом и без учета перераспределения нагрузок на оси при движении с начальной скоростью $v_0 = 5,5$ м/с по опытному участку дороги с гравийным покрытием (среднеквадратичная высота неровностей составляла $\sigma_n = 1,25$ см) приведено на рис. 2.

Из графика рис. 2 видно, что j оказывает существенное влияние на среднеквадратичную величину вертикальных перемещений автопоезда. Амплитуды перемещений соответственно подрессоренных масс центра тяжести и неподрессоренных масс тягача с учетом и без учета перераспределения нагрузок на оси с увеличением j снижаются, за исключением кривых 4 и 7 (для рассмотренных пределов изменения j).

Для кривых 4 и 7 характерно наличие максимума соответственно при $j = 0,76$ и $0,57$ м/с². По абсолютному значению амплитуды σ_{z1} меньше σ_{zT} примерно на 2 мм при $j = 1,14$ м/с². Что касается вертикальных перемещений прицепа $\sigma_{zп}$ и σ_{z1} , то с возрастанием j они изменяются незначительно.

На рис. 3 приведена зависимость среднеквадратичных значений ускорений масс автопоезда от j при $v_0 = 5,5$ м/с² и $\sigma_n = 1,25$ см. Характер протекания кривых 3, 4, 7 и 8 почти идентичен. С увеличением j амплитуды σ_{ξ_1} , σ_{ξ_2} , σ_{ξ_1} , σ_{ξ_2} интенсивно возрастают и по абсолютному значению σ_{ξ_1} и σ_{ξ_2} меньше в среднем на 2,8 - 3 м/с², чем σ_{ξ_1} .

и σ_{ξ_2} . Исследования показали, что изменение j в пределах $0,38-1,14 \text{ м/с}^2$ не оказывает существенного влияния на численные значения амплитуд $\sigma_{\ddot{z}_T}$ и $\sigma_{\ddot{z}_1}$, а также $\sigma_{\ddot{z}_\Pi}$ и $\sigma_{\ddot{z}_1}$.

Изменение показателей вертикальных колебаний z_T , \ddot{z}_T и при установившемся движении ($v_0 = 5,5 \text{ м/с}$) $j = 1,14 \text{ м/с}^2$) приведено на рис. 4,5.

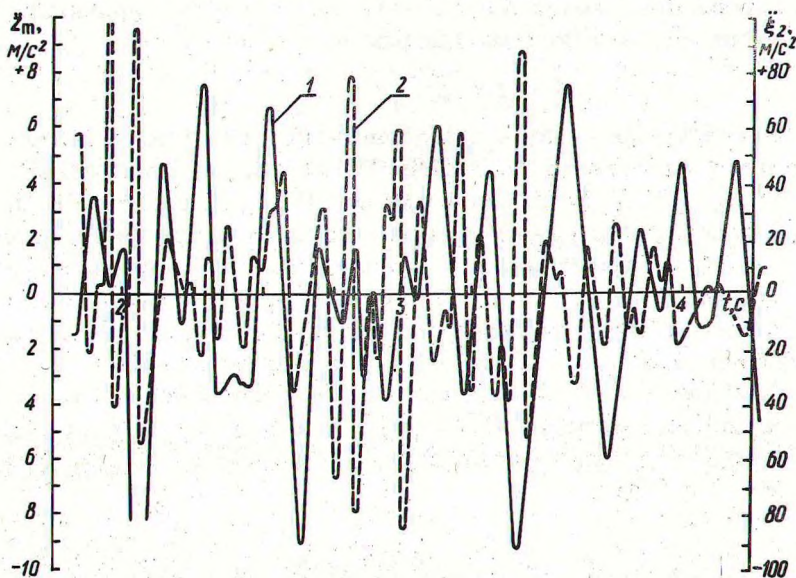


Рис. 5. Зависимость изменения вертикальных ускорений центра тяжести поддресоренных масс и задней оси неподресоренных масс автомобиля при торможении от времени ($j = 1,14 \text{ м/с}^2$, $v_0 = 5,5 \text{ м/с}$, $S_\Pi = 25,4 \text{ м}$): 1 - \ddot{z}_T ; 2 - ξ_2 .

Как видно из рис. 4 и рис. 5, изменение показателей вертикальных колебаний носит случайный характер. Наблюдается значительный разброс перемещений и ускорений по амплитудам и частотам. Максимальные величины перемещений z_T (рис. 4) колеблются от 0,6 до 3,0 см, кривая 1, соответствующая случаю учета перераспределения нагрузок на оси, сместилась вверх примерно на 0,4-0,5 см. Экстремальные значения ускорений поддресорных масс центра тяжести тягача изменяются в пределах $+1,5 - 7,5$ и $-0,3 - 9,2 \text{ м/с}^2$. Ускорения неподресоренных масс задней оси тягача значительно выше.

Приведенная математическая модель и изложенная методика может быть использована при определении параметров вертикальных колебаний систем и оценке динамической нагруженности дороги.

Исследования показали, что при оценке динамической нагруженности автопоездов и дороги на режиме торможения учет перераспределения нагрузок на оси является необходимым.

Приведенные конкретные результаты исследований позволяют оценить нагруженность транспортной системы при учете и без учета перераспределения нагрузок на оси с учетом принятых в расчет конкретных исходных данных.

Л и т е р а т у р а

1. Жуков А.В. и др. Исследование вертикальной динамики лесовозного автопоезда МАЗ-509+ТМЗ-803. - Изв. вузов. Лесной журнал, 1975, № 2.
2. Жуков А.В., Абрамович К.Б. К вопросу определения динамического давления автомобиля на дорогу. - В сб.: Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Минск, 1973.
3. Жуков А.В. Исследование колебаний автомобиля при переезде неровностей на режимах торможения или разгона. - Автомобильная промышленность, 1973, № 2.
4. Жуков А.В., Леонович И.И. Колебания лесотранспортных систем. Минск, 1973.

УДК 634.0.3.534

А.В.Гермацкий

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ САМОЗАГРУЖАЮЩИХСЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АУТОПОЕЗДОВ В ЛЕСАХ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Повышение эффективности лесозаготовительного производства может быть достигнуто за счет комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, внедрения более совершенных машин и механизмов, применения новых и совершенствования имеющихся транспортно-технологических схем работы.

В лесной промышленности повсеместно внедрена хлыстовая вывозка, на которую приходится свыше 85% общего объема вывозимой автотранспортом древесины. Это стало возможным в связи со строительством комплексно-механизированных нижних складов и переходом лесозаготовительных предприятий и объединений на технологию лесосечных работ, при которой погрузка леса на автомобильный транспорт отделена от трелевки.