МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
ВНИИСТ

РУКОВОДСТВО

ПО ОЦЕНКЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОТРАНСПОРТНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Р 311—78

Москва 1978

gost.e-ecolog.ru

УДК 656.56(083.96)

"Руководство по оценке динамических параметров труботранспортных автопоездов", разработанное во ВНИИСТе лабораторией механизации и автоматизации строительства трубопроводов (д-р техн.наук А.И.Гальперинным, инж.Е.А.Семиным, кандидатами техн. наук Ю.А.Дудоладовым и В.Ф.Николенко, инженерами Л.П.Мейном , И.Н.Костиковой), освещает вопросы взаимодействия звеньев подвижного состава и длинномерных труб в процессе их транспортировки от железнодорожных станций и причалов до участков строительства магистральных трубопроводов.

Руководство содержит методику по оценке динамических характеристик используемых и вновь создаваемых труботранспортных автопоездов (плетевозов и трубовозов); особое внимание в нем уделено выбору оптимальных режимов транспортировки длинномерных труб и секций специализированными автотранспортными средствами.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1978

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Перевозку труб (секций) в основном осуществляют вне дорог общего пользования.

I.2. Специфические особенности груза, а также дорожные и климатические условия определяют дополнительные требования к конструкции подвижного состава для перевозки длинномерных труб. Эти требования сводятся к тому, что автопоезда должны:

быть надежны в эксплуатации;

иметь повышенные динамические качества, маневренность и проходимость;

иметь надежные увязочные средства для закрепления груза на автопоезде.

I.3. Для удобства пользования настоящим Руководством ниже приведены объяснения основных условных обозначений, использованных в формулах и рисунках.

Основные условные обозначения

A_1 ; A_2 и A_3 – коэффициенты пропорциональности;

A_4 ; A_5 ; A_6 и A_7 – коэффициенты, определяемые величиной угла наклона опорной поверхности боковой стойки коника плетевоза к горизонтальной плоскости;

a – расстояние от центра подрессоренных масс автомобиля до его передней оси;

a^* – расстояние от центра масс ведомого звена до коника автомобиля;

a_3' и a_3^* – постоянные коэффициенты;

Внесено лабораторией механизации и автоматизации строительства	Утверждено ВНИИСТом 17 октября 1977 г.	Срок введения 1 января 1979 г.

a_{11} ; a_{12}; a_{21} и a_{22} - коэффициенты, зависящие от величины круговых и гиперболических функций;

$б_п$ - расстояние между осями колес прицепа-роспуска;

$B_н$ - средняя квадратичная высота неровности дороги;

B - расстояние от центра подрессоренных масс автомобиля до его заднего моста;

B^* - расстояние от центра масс ведомого звена автопоезда до условной опоры прицепа-роспуска;

$в_к$ - ширина опорной части коника автопоезда;

C_1 - коэффициент, зависящий от величины сухого трения в зоне контакта груза и коника автомобиля;

$C_к$ - жесткость переднего стопорного каната трубопранспортного автопоезда;

$C'_к$ - жесткость тягового каната плетевоза;

$C_{р_1}$ - жесткость подвески переднего моста автомобиля;

$C_{р_2}$ - жесткость подвески заднего моста автомобиля;

$C_{р_3}$ - жесткость подвески прицепа-роспуска;

$C_{ш_1}$ - жесткость шин переднего моста автомобиля;

$C_{ш_2}$ - жесткость шин заднего моста автомобиля;

$C_{ш_3}$ - жесткость шин прицепа-роспуска;

d - расстояние от вертикальной оси труботранспортного автопоезда до вертикальной оси его колес;

d_2 - расстояние от центра масс ведомого звена автопоезда до условной опоры прицепа-роспуска;

$d_{р_3}$ - расстояние от вертикальной оси плетевоза до рессор подвески прицепа-роспуска;

E - модуль упругости стали;

$E_{к_с}$ - модуль упругости переднего стопорного каната труботранспортного автопоезда;

$E_{к_т}$ - модуль упругости тягового каната плетевоза;

e - основание натурального логарифма;

$F_{ин_x}$ - продольная составляющая силы инерции ведомого звена автопоезда;

$F_{ин_y}$ - поперечная составляющая силы инерции ведомого звена автопоезда;

$F_{к_с}$ - площадь поперечного сечения переднего стопорного каната автопоезда;

$F_{кт}$ – площадь поперечного сечения тягового каната плетевоза;

$F_{тр}$ – сила трения между опорой автомобиля и грузом;

f_0 – величина начального прогиба трубы (секции) над левой опорой;

f_0' – угол поворота левого конца трубы (секции);

f_i – частота собственных вертикальных колебаний труботранспортного автопоезда и груза;

$f_к$ – коэффициент сопротивления качению шин автопоезда;

$f_{тр}$ – коэффициент трения трубы по опоре автомобиля;

$\theta_к$ – динамическая сила, действующая от трубы (секции) на опору автомобиля;

g – ускорение свободного падения;

H – расстояние от оси крена подрессоренных масс ведомого звена автопоезда до геометрической оси груза;

h – расстояние от дышла прицепа-роспуска до поверхности дороги;

$h_{цт}$ – высота центра масс ведомого звена труботранспортного автопоезда;

$h_ц$ – расстояние от оси крена подрессоренных масс ведомого звена автопоезда до центра масс прицепа-роспуска и груза;

$h_{лв}$ – профиль левой колеи дороги;

$h_{пр}$ – профиль правой колеи дороги;

Δh – превышение левой колеи дороги над правой;

J – момент инерции сечения трубы (секции);

$J_п$ – момент инерции подрессоренных масс ведомого звена автопоезда;

$J_{zв}$ – момент инерции ведомого звена плетевоза относительно вертикальной оси z, проходящей через центр масс прицепа-роспуска и груза;

K – отношение массы ведомого звена к массе тягача;

$K_д$ – коэффициент вертикальной динамичности автопоезда;

K_1; K_2 и K_3 – коэффициенты демпфирования колебаний в подвесках плетевоза;

$K_{ш_1}$; $K_{ш_2}$ и $K_{ш_3}$ – коэффициенты демпфирования колебаний в шинах автопоезда;

$K_ц$ – отношение коэффициентов, учитывающих изменение масс прицепа-роспуска и автомобиля за счет инерции их вращающихся масс;

L – длина трубы (секции);

L_1 – база автомобиля;

L_1 – передний свес груза;

ℓ_2 – межопорная длина груза;

ℓ_3 – задний свес груза;

$\ell_н$ – длина неровности дороги;

$\ell_т$ – длина тягового каната плетевоза;

$M_а$ – масса подрессоренных частей базового автомобиля;

$M_п$ – масса подрессоренных частей ведомого звена автопоезда;

m – погонная масса трубы;

m_1; m_2 и m_3 – массы неподрессоренных частей автопоезда;

$m_к$ – масса трубы (секции), приходящаяся на коник автопоезда;

$m_п$ – масса ведомого звена автопоезда;

$m_т$ – масса автомобиля;

P_1; P_2 и P_3 – тормозные силы, приложенные к колесам автопоезда;

$P_п$ – тормозные силы, действующие на колеса прицепа-роспуска, $P_п = P_3$;

$P_т$ – тормозные силы, действующие на колеса автомобиля, $P_т = P_1 + P_2$;

P_{1f}; P_{2f} и P_{3f} – силы сопротивления качению автопоезда;

$[p]$ – допускаемая удельная нагрузка на наружную поверхность трубы (секции);

Q – усилие натяжения переднего стопорного каната автопоезда;

Q_{max} – максимальное усилие натяжения переднего стопорного каната труботранспортного автопоезда;

Q' – усилие натяжения тягового каната плетевоза;

Q_1 – поперечная сила, действующая на переднюю ось прицепа-роспуска;

Q_2 – поперечная сила, действующая на заднюю ось прицепа-роспуска;

q – максимальная высота периодической неровности дороги;

q_1 ; q_2 ; q_3 ; q_4 ; q_5 и q_6 – величины неровностей дороги под соответствующим колесом автопоезда;

R – корреляционная функция продольного профиля дороги;

$R_{\Delta h}$ – корреляционная функция поперечного профиля дороги;

$R_{осн}$ – радиус кругового участка основной траектории движения автопоезда;

R_c – радиус поворота центра масс ведомого звена автопоезда;

$R_п$ – радиус поворота центра прицепа-роспуска автопоезда;

z – наружный радиус трубы (секции);

S – перемещение груза относительно коника автомобиля в сторону предохранительного щита;

S^* – перемещение груза относительно коника автомобиля в сторону тягово-сцепного прибора тягача;

$S_н$ – длина периодической неровности дороги;

$S_Δ$ – величина сдвига аргумента корреляционной функции;

S_I ; S_I^* ; S_{II} и S_{II}^* – текущие значения перемещений груза относительно коника автомобиля на первом и втором этапах торможения труботранспортного автопоезда;

S_{Imax} и S_{Imax}^* – максимальные значения перемещений груза относительно коника автомобиля на первом этапе торможения автопоезда;

$S_п$ – длина кругового участка криволинейного движения автопоезда;

T_1 – продольная составляющая силы тяги автомобиля;

T_2 – поперечная составляющая силы тяги автомобиля;

t – время движения автопоезда;

t_0 – время первого (динамического) этапа торможения автопоезда;

t_c – время второго (статического) этапа торможения автопоезда;

Δt – время сдвига корреляционной функции;

v_0 – начальная скорость движения автопоезда при входе в поворот;

v_0^* – начальная скорость торможения автопоезда;

v_{max} – максимальная скорость движения автопоезда с грузом;

v_a – текущее значение скорости движения автопоезда;

v_{min} – минимальная скорость движения автопоезда в процессе его поворота;

v_{i_B} и v_{i_H} – верхняя и нижняя границы критической скорости движения автопоезда;

$v_{a_{рез}}$ – резонансная скорость движения автопоезда;

v_{s_1} и $v^*_{s_I}$ – значения скорости перемещения груза относительно кониka автомобиля в конце первого этапа торможения автопоезда;

W_{c_X} – продольная составляющая ускорения центра масс ведомого звена автопоезда;

W_{c_Y} – поперечная составляющая ускорения центра масс ведомого звена автопоезда;

X_T и $X_П$ – координаты центра масс автомобиля и прицепа-роспуска;

$Y(X,t)$ – текущее значение прогиба груза;

$S(\alpha_{10})$; $S(\alpha_{20})$; $U(\alpha_{10})$; $U(\alpha_{20})$; $V(\alpha_{10})$; $V(\alpha_{20})$;

$T(\alpha_{10})$ и $T(\alpha_{20})$ – величины, определяемые линейными комбинациями круговых и гиперболических функций;

Z_0 – координата центра подрессоренных масс автомобиля;

Z_1; Z_2 и Z_3 – вертикальные отклонения подрессоренных масс плетевоза от положения равновесия соответственно над передней, задней подвесками автомобиля и подвеской прицепа-роспуска;

Z^*_1; Z^*_2 и Z^*_3 – реакции дороги на оси автопоезда;

Z_4 – вертикальное отклонение оси груза от положения равновесия;

α – угол поперечного крена ведомого звена автопоезда;

α_1 – угол продольных угловых колебаний кузова автомобиля;

$\alpha_{авт}$ угол наклона тягового каната плетевоза к горизонтальной плоскости;

$\alpha_{1_Д}$; $\alpha_{2_Д}$; $\beta_{1_Д}$; $\beta_{2_Д}$ и $\beta_{3_Д}$ – эмпирические коэффициенты, характеризующие профиль дороги;

γ_1 – угол складывания автопоезда при криволинейном движении;

Δ_1; Δ_2 и Δ_3 – вертикальные отклонения осей автомобиля и прицепа-роспуска от положения равновесия;

δ и δ_1 – коэффициенты, учитывающие изменение масс автомобиля и прицепа-роспуска за счет инерции вращающихся масс автопоезда;

ξ – угол наклона опорной поверхности боковой стойки коника плетевоза к горизонтальной плоскости;

$\varphi_{ап}$ – угол поворота ведомого звена автопоезда вокруг его центра масс;

φ_0 – начальная фаза возмущающей силы, действующей от дороги на колеса автопоезда;

ψ_0 – начальная фаза поперечно-угловых колебаний ведомого звена автопоезда;

$\psi_т$ – угол опирания трубы в поперечной плоскости на цилиндрическую опору автопоезда;

ω – собственная круговая частота вертикальных колебаний автопоезда с грузом;

ω_1 – угловая скорость поворота ведомого звена автопоезда относительно оси вращения коника автомобиля;

$\omega_п$ – частота приложения возмущающей силы от дороги к колесам автопоезда;

ω_0 – собственная частота поперечно-угловых колебаний прицепа-роспуска;

$\omega_{ап}$ – угловая скорость кругового движения ведомого звена автопоезда на повороте;

$\omega_т$ и $\omega_т^*$ – частоты изменения усилий натяжения в переднем стопорном и тяговом канатах плетевоза.

2. СХЕМА ОПИРАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБ И СЕКЦИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ

2.1. Принятая кинематическая схема труботранспортных автопоездов предусматривает двухопорное опирание балочного груза на автопоезд с двумя консолями (свесами).

2.2. Длину передней консоли груза (ℓ_1) определяют исходя из конструктивных параметров базового автомобиля и она составляет 0,8–1,5 м.

2.3. Длину задней консоли груза (ℓ_3) и расстояние между опорами автопоезда (ℓ_2) определяют из условий его гео-

метрической вписываемости, номинальной нагрузки на тягач и напряженного состояния перевозимых длинномерных труб в опасных сечениях.

2.4. Из условия обеспечения наименьших усилий в опасных сечениях трубы (секции) размер $(\ell_з)$ следует находить по формуле

$$\ell_з = (0{,}1 - 0{,}3)L. \qquad (1)$$

2.5. При перевозке труб (секций) ширину опор автопоездов необходимо выбирать из условия обеспечения допускаемых нагрузок на антикоррозионное покрытие груза, используя следующую зависимость [1] :

$$b_к = K_g \frac{m_к \cdot g}{0{,}5 z (\psi_T + \sin \psi_T)[p]} . \qquad (2)$$

3. РЕЖИМ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБ

Рост скоростей движения труботранспортных автопоездов приводит к увеличению динамических нагрузок на узлы и детали несущих конструкций машин, а также на перевозимый груз.

Значительные усилия возникают в конструкции автопоезда и трубах (секциях) при вертикальных и поперечно-угловых колебаниях, криволинейном движении автопоезда и при его торможении.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОТРАНСПОРТНЫХ АВТОПОЕЗДОВ В ПРОДОЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

3.1. При движении по дорогам и местности автопоезд совершает сложное колебательное движение, которое сопровождается возникновением линейных и угловых ускорений. Эти ускорения приводят к перегрузкам в несущей системе машины.

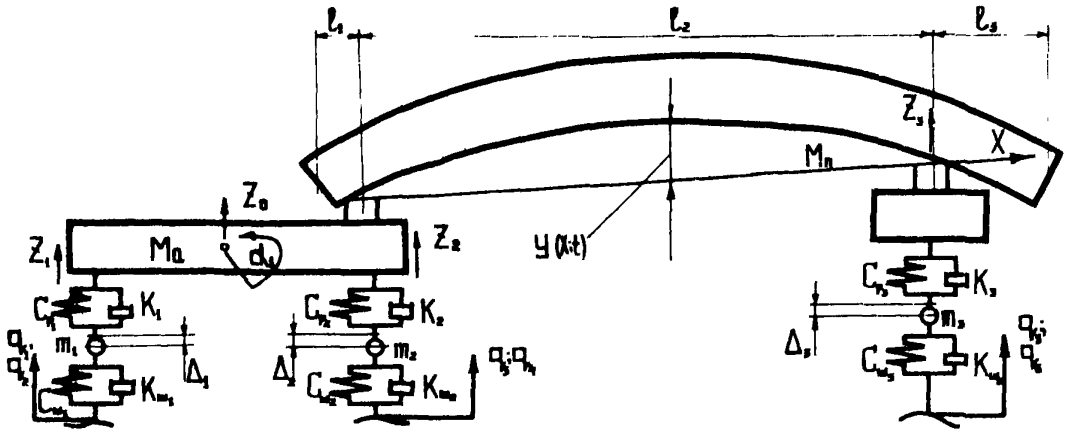

Рис.I. Схема вертикальных колебаний труботранспортного автопоезда

Характер силового воздействия на несущие конструкции в значительной степени определяют вертикальные колебания звеньев автопоезда и длинномерного груза (рис.I). Эти колебания влияют на долговечность элементов конструкции автопоезда и на скорость его движения.

3.2. Максимальные значения амплитуды вертикальных колебаний автопоезда с длинномерной трубой наблюдаются в тех случаях, когда частота возмущения совпадает с низшей частотой собственных колебаний системы: автопоезд - груз.

Расчет собственной формы основного тона колебаний груза, соответствующей форме его статической деформации, целесообразно выполнять согласно выражению:

$$y(x;y) = \sin\left(\frac{\pi x}{L} - \theta x\right) Z_4 , \qquad (3)$$

где

$$\theta = \frac{1}{\ell_2} \sin\frac{\pi \ell_2}{L} .$$

3.3. Анализ параметров свободных вертикальных колебаний труботранспортного автопоезда с грузом без учета демпфирования в подвеске и шинах транспортного средства рекомендуется проводить на основе следующих дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\left.\begin{aligned}
&\ddot{Z}_2 + Z_2 \omega_{14}^2 \left(1 - \frac{\omega_{19}^{*2}}{\omega_{18}^{*2}}\right) + \nu_2 \ddot{Z}_3 + \nu_4 \ddot{Z}_4 = 0 ;\\
&\ddot{Z}_3 + Z_3 \omega_{15}^2 \left(1 - \frac{\omega_{21}^{*2}}{\omega_{20}^{*2}}\right) + \nu_5 \ddot{Z}_2 + \nu_6 \ddot{Z}_4 = 0 ;\\
&\ddot{Z}_4 + Z_4 \omega_{22}^2 + \nu_7 \ddot{Z}_2 + \nu_8 \ddot{Z}_3 = 0 ,
\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

где: $\omega_{14}^2 = 2C_{p_2} : [M'' + m\chi_1]$; $\omega_{15}^2 = 2C_{p_3} : m\chi_3$;

$\omega_{18}^{*2} = (2C_{p_2} + 2C_{ш_2})$; $\omega_{19}^{*2} = 2C_{p_2}$; $\omega_{20}^{*2} = 2(C_{p_3} + C_{ш_3})$;

$\omega_{21}^{*2} = 2C_{p_3}$; $\omega_{22}^2 = 2\chi_8 : m\chi_5$; $M' = M_0 \dfrac{\theta^2 + \rho_y^2}{L_1^2}$;

$M'' = M_0 \dfrac{a^2 + \rho_y^2}{L_1^2}$; $\chi_1 = L + \dfrac{(\ell_2+\ell_3)^3 + \ell_1^3}{3\ell_2^2} - \dfrac{(\ell_2+\ell_3)^2}{\ell_2} + \dfrac{\ell_1^2}{\ell_2}$;

$\chi_3 = \dfrac{(\ell_2+\ell_3)^3 + \ell_1^3}{3\ell_2^2}$; $\chi_5 = \dfrac{L}{2} - \dfrac{L}{4\pi}\left[\sin\dfrac{2\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} + \sin\dfrac{2\pi\ell_1}{L}\right] -$

$-2\theta\left[-\dfrac{L}{\pi}(\ell_2+\ell_3)\cos\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} - \dfrac{L\ell_1}{\pi}\times\cos\dfrac{\pi\ell_1}{L} + \dfrac{L^2}{\pi^2}\times\right.$

$\left.\times\sin\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} + \dfrac{L^2}{\pi^2}\sin\dfrac{\pi\ell_1}{L}\right] + \dfrac{\theta^2}{3}\left[(\ell_2+\ell_3)^3 + \ell_1^3\right]$,

$\nu_1 = M'' : M'$; $\nu_2 = m\chi_2 : [M'' + m\chi_1]$; $\chi_8 = \dfrac{EJ}{2}\dfrac{\pi^4}{L^4}\left[\dfrac{L}{2} - \dfrac{L}{4\pi}\times\right.$

$\left.\times\sin\dfrac{2\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} - \dfrac{L}{4\pi}\sin\dfrac{2\pi\ell_1}{L}\right]$;

$\chi_2 = \dfrac{(\ell_2+\ell_3)^2 - \ell_1^2}{2\ell_2} - \dfrac{(\ell_2+\ell_3)^3 + \ell_1^3}{3\ell_2^2}$; $\nu_5 = \chi_4 : \chi_3$;

$\chi_4 = \chi_2$; $\nu_7 = \chi_6 : \chi_5$; $\chi_6 = \left[-\dfrac{L}{\pi}\cos\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} + \right.$

$\left. + \dfrac{L}{\pi}\cos\dfrac{\pi\ell_1}{L} - \dfrac{\theta(\ell_2+\ell_3)^2}{2} + \dfrac{\theta\ell_1^2}{2} + \dfrac{\theta(\ell_2+\ell_3)^3}{3\ell_2} + \dfrac{\theta(\ell_1^3)}{3\ell_2} + \right.$

$\left. + \dfrac{L(\ell_2+\ell_3)}{\pi\ell_2}\cos\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} + \dfrac{L\ell_1}{\pi\ell_2}\cos\dfrac{\pi\ell_1}{L} - \dfrac{L^2}{\pi\ell_2}\sin\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} - \right.$

$\left. - \dfrac{L^2}{\pi\ell_2}\sin\dfrac{\pi\ell_1}{L}\right]$; $\nu_8 = \chi_7 : \chi_5$; $\chi_7 = \dfrac{1}{\ell_2}\left[\dfrac{L^2}{\pi^2}\sin\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} + \right.$

$\left. + \dfrac{L^2}{\pi^2}\sin\dfrac{\pi\ell_1}{L} - \dfrac{(\ell_2+\ell_3)L}{\pi}\cdot\cos\dfrac{\pi(\ell_2+\ell_3)}{L} - \dfrac{L\ell_1}{\pi}\cos\dfrac{\pi\ell_1}{L} - \right.$

$\left. - \dfrac{\theta(\ell_2+\ell_3)^3}{3} - \dfrac{\theta\ell_1^3}{3}\right]$.

3.4. Частные решения системы уравнений вертикальных колебаний автопоезда (4) записывают в виде:

$$\left.\begin{aligned} Z_2 &= A_1 \cos(\omega t + \varphi_0); \\ Z_3 &= A_2 \cos(\omega t + \varphi_0); \\ Z_4 &= A_3 \cos(\omega t + \varphi_0); \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Собственную частоту колебаний определяют из алгебраического полинома вида:

$$1 - b_1\omega^2 + b_2\omega^4 - b_3\omega^6 = 0 \qquad (6)$$

Искомые значения частот собственных колебаний автопоезда и груза $\omega = 2\pi f_i$ являются корнями полинома (6). При определении этих корней полинома рекомендуется использовать ЭВМ.

3.5. Наиболее подвержены действию вертикальных колебаний обетонированные длинномерные трубы. Благоприятные режимы транспортировки этих труб выбирают в следующей последовательности:

определяют зоны резонансных частот колебаний труботранспортного автопоезда с грузом или укороченный спектр частот собственных колебаний (до 12-15 Гц);

определяют области критических скоростей движения автопоезда, при этом верхняя $v^0_{i_B}$ и нижняя $v^0_{i_H}$ границы критических скоростей движения соответственно равны[2]:

$$v^0_{i_B} = 3{,}6 \cdot \ell_H \cdot f_i + 3\ [км/ч];$$

$$v^0_{i_H} = 3{,}6 \cdot \ell_H \cdot f_i - 3\ [км/ч];$$

устанавливают граничные значения нерезонансных часто. и скоростей движения автопоезда.

3.6. Для проведения предварительных инженерных расчетов по определению низкой частоты собственных колебаний длинно - мерной трубы или пакета труб (секций) рекомендуется применять метод начальных параметров [3]. Пример расчета данным методом приведен в прил.I.

3.7. При прочностной проверке конструкций труботранспортного автопоезда на вертикальные нагрузки их массу необходимо вводить с коэффициентом динамичности $K_q = 2,3$.

ПОПЕРЕЧНО-УГЛОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОТРАНСПОРТНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

3.8. Специализированные автотранспортные средства для перевозки длинномерных труб в отличие от автомобилей и авто - поездов общего назначения, эксплуатируют, в основном, по грунтовым дорогам и местности. Так как на автомобиле трубо - транспортного автопоезда нет седельного устройства с тремя степенями свободы, то это не позволяет применять для расчета параметров поперечной устойчивости труботранспортных автопоездов существующие методики по определению крена седельных автопоездов.

Установлено, что максимальный угол поперечного крена ведомого звена труботранспортного автопоезда (прицеп-роспуск и груз) в I,3-I,4 раза превышает угол поперечного крена автомобиля. В связи с этим при оценке поперечной устойчивости автопоезда следует определять прежде всего угол поперечного крена прицепа-роспуска.

3.9. Поперечно-угловые колебания ведомого звена автопоезда (рис.2), состоящего из прицепа-роспуска и перевозимого груза, характеризует дифференциальное уравнение

$$\ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = -C_1 sign\dot{\alpha} + \alpha_3^1 (q_6 - q_5), \qquad (7)$$

где

$$\omega_0^2 = \left(\omega_{10}^2 - \frac{\omega_{11}^2 \cdot \omega_9^{*2}}{\omega_8^{*2}}\right), \quad \omega_9^{*2} = 2 c_{p_3} d_{p_3}^2;$$

$$\omega_8^{*2} = 2\left(c_{ш3}\,d^2 + c_{p3}\,d_{p3}^2\right);\quad \omega_{10}^2 = \left\{\omega_n^2 - \frac{M_n g h_4}{J_n} + \right.$$

$$\left. + \frac{G_K}{J_n} H' \left[\left(\cos\xi - \sin\xi \cdot f_{mp}\right) \frac{A_5}{A_4} + \left(\cos\xi + f_{mp}\sin\xi\right) \frac{A_6}{A_4} \right] \right\};$$

$$\omega_n^2 = \frac{2}{J_n} c_{p3} \cdot d_{p3}^2 ;\quad A_4 = \sin 2\xi \left(1 + f_{mp}^2\right);\quad A_5 = \sin\xi - f_{mp}\cos\xi;$$

$$A_6 = \sin\xi + f_{mp}\cos\xi ;$$

$$-c_1 \operatorname{sign}\dot{\alpha} = \begin{cases} -\dfrac{G_K H'}{J_n}\left[\dfrac{A_6}{A_4}\left(\sin\xi - f_{mp}\cos\xi + \dfrac{2 f_{mp}}{H'}\right) - \dfrac{A_5}{A_4}\left(\sin\xi + \right.\right. \\ \left. + f_{mp}\cos\xi - \dfrac{2 f_{mp}}{H'}\right] \text{ при } \dot{\alpha} \geq 0 ; \\ + \dfrac{G_K H'}{J_n}\left[\dfrac{A_6}{A_4}\left(\sin\xi - f_{mp}\cos\xi + \dfrac{2 f_{mp}}{H'}\right) - \dfrac{A_5}{A_4} \times \right. \\ \left. \times \left(\sin\xi + f_{mp}\cos\xi - \dfrac{2 f_{mp}}{H'}\right] \text{ при } \dot{\alpha} < 0 ; \end{cases}$$

$$a_3' = \frac{a_3^* \cdot \omega_{II}^2}{\omega_8^{*2}} ;\qquad a_3^* = a_{ш3} \cdot d .$$

3.10. Угол поперечного крена ведомого звена труботранспортного автопоезда при его движении по дороге с синусоидальными неровностями $q_8 - q_5 = q\cos(\omega_n t + \psi_0)$ рассчитывают по следующим формулам, полученным при решении уравнения (7):

$$\alpha = \frac{c_1}{\omega_0^2}\left[\left(\cos\omega_0 t + \sin\omega_0 t \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi\omega_0}{2\omega_n}\right) - 1\right] + \\ + \frac{a_3' q}{\omega^{*2}}\cos\left[\omega_n t + \arcsin\left(\frac{c_1 \cdot \omega^{*2}}{a_3' \cdot q \cdot \omega_n \omega_0}\operatorname{tg}\frac{\pi\omega_0}{2\omega_n}\right)\right] \qquad (8)$$

при $$0 \leq t \leq \frac{\pi}{\omega_n} ;$$

$$\alpha = \frac{C_1}{\omega_0^2}\left[1 - \frac{\cos\left(\omega_n t - \frac{3\pi\omega_0}{2\omega_n}\right)}{\cos\frac{\pi\omega_0}{2\omega_n}}\right] + \frac{a_3' \cdot q}{\omega^{*2}} \times$$

$$\times \cos\left[\omega_n t + \arcsin\left(\frac{C_1\omega^{*2}}{a_3' q \cdot \omega_n \cdot \omega_0} \operatorname{tg}\frac{\pi\omega_0}{2\omega_n}\right)\right] \qquad (9)$$

при $\frac{\pi}{\omega_n} \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega_n}$,

где $\omega^{*2} = \omega_0^2 - \omega_n^2$; $\omega_n = \frac{2\pi \cdot v_a}{s_н}$.

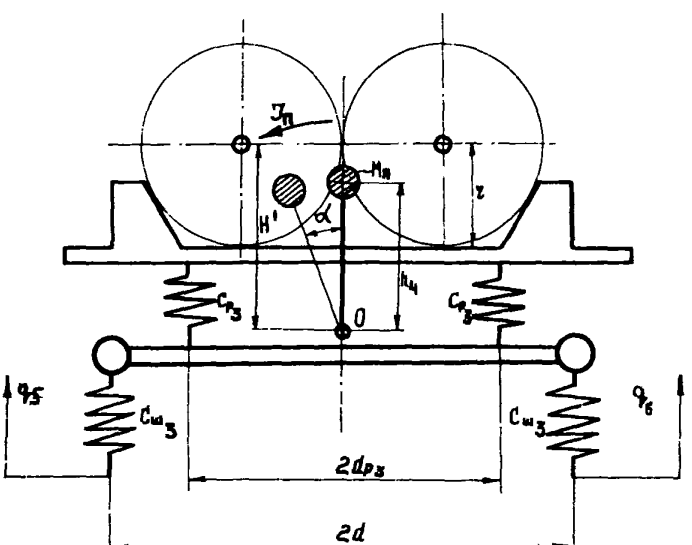

Рис.2. Схема поперечно-угловых колебаний ведомого звена автопоезда

График изменения угла крена ведомого звена труботранспортного автопоезда ПВ91 с секцией труб L = 24 м и диаметром 1220 мм в процессе его движения по дороге с периодическими синусоидальными неровностями $S_н$ =12 м и q =0,15 м приведен на рис.3.

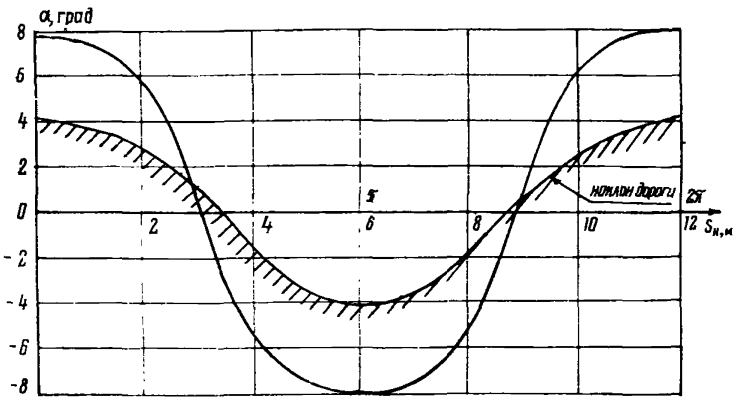

Рис.3. Зависимость угла поперечного крена ведомого звена труботранспортного автопоезда α от длины периодической неровности дороги $S_н$

3.11. Максимальный угол поперечного крена рамы ведомого звена автопоезда определяют из выражения

$$\alpha_{max} = \frac{a_3' q}{\omega^{*2}} \cos\left[\arcsin\left(\frac{c_1 \omega^{*2}}{a_3' q\, \omega_n \omega_0} tg\, \frac{\pi \omega_0}{2\omega_n}\right)\right]. \quad (10)$$

В тех случаях, когда постоянная величина, характеризуемая сухим трением трубы по опоре автомобиля, равна нулю (C_I = 0), максимальный угол поперечного крена подрессоренных масс прицепа-роспуска с грузом возрастает и равен

$$\alpha^*_{max} = \frac{a_3' \cdot q}{\omega^{*2}} . \quad (11)$$

3.12. Резонансную скорость движения автопоезда, при которой амплитуда поперечно-угловых колебаний ведомого звена будет иметь максимальное значение, определяют по формуле

$$\vartheta_{a_{рез}} = \frac{S_H}{2\pi}\omega_0. \qquad (12)$$

3.13. Жесткость рессор ведомого звена труботранспортного автопоезда следует выбирать из условия, чтобы величина резонансной скорости движения автопоезда была больше величины максимальной скорости его движения с полной нагрузкой, т.е.

$$C_{p_3} = \frac{C_{ш_3} \cdot d^2 (A_7 - \vartheta^2_{a\,max})}{d^2_{p_3} (\vartheta^2_{a\,max} - A_7 - 0{,}657 \frac{S_H^2}{J_n} C_{ш_3} d^2)}, \qquad (13)$$

где

$$A_7 = G_K H' \left[(\cos\xi - f_{тр} \sin\xi) \frac{A_5}{A_4} + (\cos\xi + f_{тр} \sin\xi) \frac{A_6}{A_4} + M_n g h_4) \right].$$

КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТРУБОТРАНСПОРТНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

3.14. Перевозка длинномерных секций труб длиной 24-36 м при строительстве магистральных трубопроводов связана с движением по криволинейным участкам.

Автопоезд-плетевоз отличается от аналогичных транспортных средств тем, что тяговое усилие от тягача к прицепу-роспуску передается в основном через перевозимый груз - секции. Это обусловливает значительные нагрузки в местах контакта трубы со стойками звеньев автопоезда по криволинейной траектории и должно быть учтено при проектировании специализированных автопоездов, предназначенных для перевозки длинномерных труб, в том числе с защитным покрытием.

Как известно [4], геометрическим показателем маневренности автопоезда при его криволинейном движении является га-

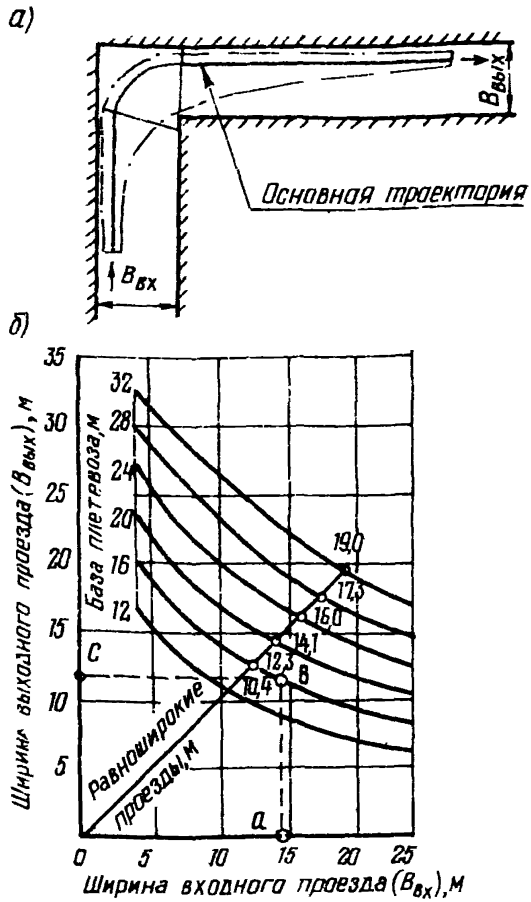

Рис.4. Габаритные размеры полосы криволинейного движения труботранспортного автопоезда при проезде прямоугольных поворотов:

а-схема прямоугольного проезда; б-номограмма вписывания автопоезда в прямоугольный проезд

баритная полоса движения, главный элемент которой - основная траектория (рис.4).

Основной траекторией движения называется траектория средней точки между мостами задней тележки автомобиля. Продольная ось автомобиля направлена по касательной к основной траектории криволинейного движения в этой точке.

Основная траектория движения автопоезда состоит из трех участков: входного, кругового и выходного.

Движение по входной траектории обусловлено изменением угла поворота управляемых колес автомобиля, радиуса поворота автопоезда и перемещением мгновенного центра поворота из бесконечности к предельному значению. Перемещение тягача на круговом участке является установившимся движением и происходит при постоянном угле поворота управляемых колес автомобиля.

Выходной участок траектории тягача характеризуется уменьшением угла поворота управляемых колес автомобиля и перемещением мгновенного центра поворота в бесконечность.

3.I5. Расчет сил (рис.5), действующих на оси ведомого звена, для случая движения труботранспортного автопоезда по круговой траектории с постоянным радиусом следует выполнять, исходя из зависимостей:

$$Q_1 = -J_{c_2}\frac{\dot{v}_a \sin\gamma_1}{\ell_2 \cdot Б_п} + T_1 tg\gamma_1\left(\frac{\ell_2}{Б_п}+0{,}5\right) - F_{ин_y}\left(\frac{b^*}{Б_п}+0{,}5\right); \qquad (I4)$$

$$Q_2 = -J_{c_2}\frac{\dot{v}_a \sin\gamma_1}{\ell_2 \cdot Б_п} + T_1 tg\gamma_1\left(\frac{\ell_2}{Б_п}-0{,}5\right) - F_{ин_y}\left(\frac{b^*}{Б_п}-0{,}5\right). \qquad (I5)$$

3.I6. Скорость движения автопоезда (рис.6) для данного расчетного случая изменяется по следующему закону:

замедленное движение:

$$v_a = K_v cth\left(\alpha_K K_v t + Arcth\frac{v_0}{K_v}\right); \qquad (I6)$$

ускоренное движение:

$$v_a = K_v tg\left(\alpha_K K_v \tau + arctg\cdot\frac{v_{min}}{K_v}\right), \qquad (I7)$$

где

$$\alpha_к = \frac{b^* \sin^2 \gamma_1}{\ell_2^2 \cos \gamma_1}; \qquad K_V = \frac{\ell_2}{\sin \gamma_1} \sqrt{\frac{T_1 - P_{3f}}{m_п \cdot b^*}}.$$

3.17. Ускорение центра масс ведомого звена автопоезда складывается из ускорения точки опоры тягача ($m.B$), а также относительного ускорения груза и прицепа-роспуска. Величину этого ускорения в проекциях на оси X и У определяют из следующих уравнений:

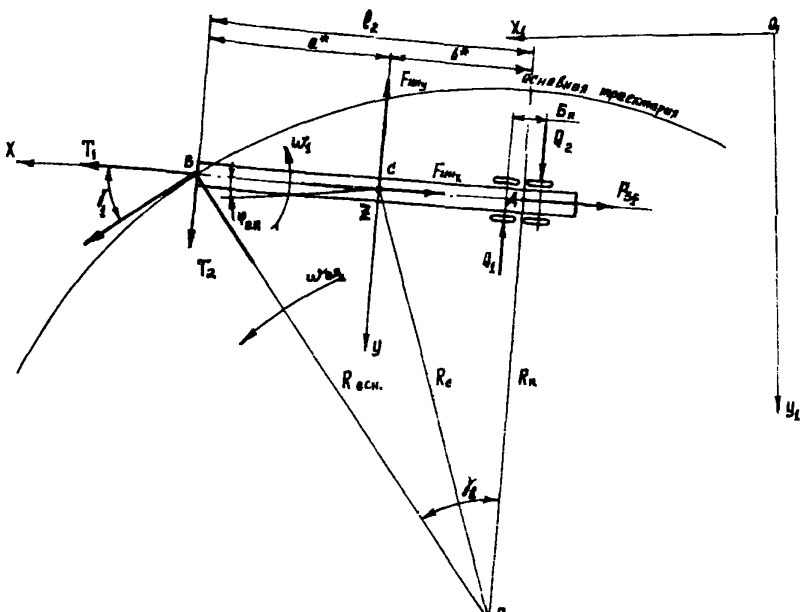

Рис.5. Схема сил, приложенных к ведомому звену труботранспортного автопоезда при движении его на повороте

замедленное движение автопоезда:

$$\left.\begin{aligned} W_{cx} &= -\dot{v}_a \cos\gamma_1 - v_a^2 \frac{b^* \sin^2\gamma_1}{\ell_2^2}; \\ W_{cy} &= -\dot{v}_a \frac{b^*}{\ell_2} \sin\gamma_1 + \frac{v_a^2 \cdot \sin 2\gamma_1}{2\ell_2}; \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

ускоренное движение автопоезда:

$$\left.\begin{aligned} W_{cx} &= \dot{v}_a \cos\gamma_1 - v_a^2 \frac{b^* \sin^2\gamma_1}{\ell_2^2}; \\ W_{cy} &= \dot{v}_a \frac{b^*}{\ell_2} \sin\gamma_1 + v_a^2 \frac{\sin 2\gamma_1}{2\ell_2}. \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

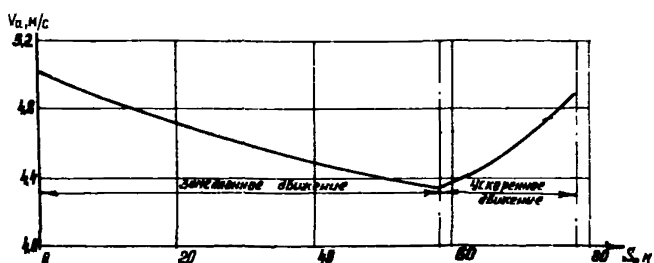

Рис.6. Зависимость скорости движения автопоезда от длины поворота

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗВЕНЬЕВ ТРУБОТРАНСПОРТНЫХ АВТОПОЕЗДОВ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

3.18. В процессе движения автопоезда происходит непрерывное силовое взаимодействие между его звеньями, обусловленное

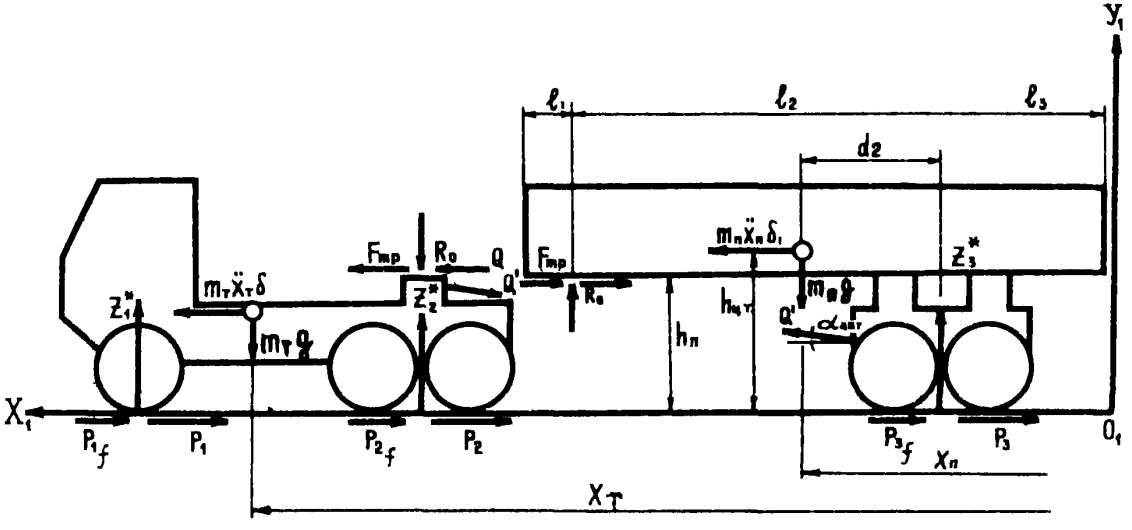

Рис.7. Схема сил, действующих на звенья автопоезда при торможении

несовпадением ускорений центров масс автомобиля и прицепа-роспуска с грузом. Наибольшие продольные силы возникают при торможении автопоезда (рис.7).

3.19. Характерные тормозные диаграммы автопоезда, устанавливающие зависимость нарастания тормозных сил на осях автомобиля и прицепа-роспуска, приведены на рис.8.

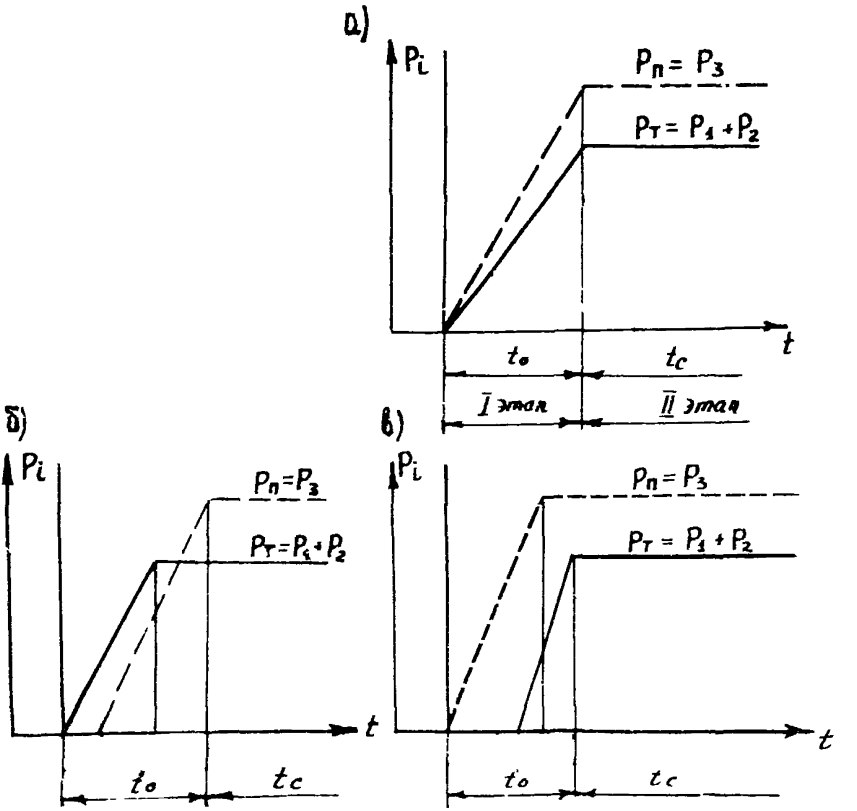

Рис.8. Характерные тормозные диаграммы автопоездов:
а-"синхронная" диаграмма торможения звеньев автопоезда;
б и в - "приведенные" диаграммы торможения звеньев автопоезда

Исходя из этих диаграмм, дифференциальные уравнения продольных осевых перемещений груза по опоре тягача имеют вид:

при положительной асинхронности

$$\ddot{S} - \frac{1}{m_T \delta}\left[P_T - P_n\left(\alpha_2 + \frac{\alpha_2+1}{KK_4}\right)\right] = \frac{g f_K}{\delta}\left(1 - \frac{1}{K_4}\right) + \frac{\alpha_2}{m_T \delta} \times$$

$$\times\left(1 + \frac{1}{KK_4}\right)\left[m_n g\left(\frac{d_2}{h_{ц.т}} - f_K\right) - Q\left(1 + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{h_n}{h_{ц.т}}\right)\right]; \qquad (20)$$

при отрицательной асинхронности

$$\ddot{S}^* + \frac{1}{m_T \delta}\left[P_T - P_n\left(\alpha_2^* + \frac{\alpha_2^*+1}{KK_4}\right) = \frac{g f_K}{\delta}\left(\frac{1}{K_4} - 1\right) - \frac{\alpha_2^*}{m_T \delta}\left(1 + \right.\right.$$

$$\left. + \frac{1}{KK_4}\right)\left\{m_n g\left(\frac{d_2}{h_{ц.т}} - f_K\right) + Q'\left[\cos\alpha_{авт}\left(\frac{1}{\alpha_2^*} + 1\right) + \right.\right. \qquad (21)$$

$$\left.\left. + \frac{h}{h_{ц.т}}\right]\right\}$$

3.20. Усилия в стопорном и тяговом канатах автопоезда в процессе его торможения пропорциональны относительному перемещению груза (прил.2) и соответственно равны:

$$Q = C_K \delta \qquad \text{и} \qquad Q' = C_K' S^*,$$

причем жесткость канатов определяют по формулам:

$$C_K = \frac{E_{Kc} \cdot F_{Kc}}{\ell_1}; \qquad (22)$$

$$C_K' = \frac{E_{KT} F_{KT}}{\ell_T}. \qquad (23)$$

3.21. Перемещение груза на первом этапе торможения, когда тормозные усилия нарастают на осях автомобиля и прицепа - роспуска (см.рис.8,а), может быть получено при $0 \le t_1 \le t_0$ по формуле

$$S_I = -\frac{C_T}{\omega_T^2}\cos\omega_T t_1 - \frac{B}{\omega_T^3}\sin\omega_T t_1 + \frac{1}{\omega_T^2}(Bt_1 + C_T);$$

$$S_I^* = -\frac{C_T^*}{\omega_T^{*2}}\cos\omega_T^* t_1 - \frac{B^*}{\omega_T^{*3}}\sin\omega_T^* t_1 + \frac{1}{\omega_T^{*2}}(B^* t_1 + C_T^*), \qquad (24)$$

а перемещение груза на втором этапе торможения $0 \le t_2 \le t_c$ при постоянных тормозных силах на осях автопоезда определяется зависимостью

$$S_{II} = \left(S_{I\,max} - \frac{C_{T_1}}{\omega_T^2}\right)\cos\omega_T t_2 + \vartheta_{S_I}\frac{\sin\omega_T t_2}{\omega_T} + \frac{C_{T_1}}{\omega_T^2};$$

$$S_{II}^* = \left(S_{I\,max}^* - \frac{C_{T_1}}{\omega_T^*}\right)\cos\omega_T^* t_2 + \vartheta_{S_I}^*\frac{\sin\omega_T^* t_2}{\omega_T^*} + \frac{C_{T_1}}{\omega^{*2}}, \qquad (25)$$

где

$$C_T = \frac{gf_K}{\delta}\left(1 - \frac{1}{K_4}\right) + \frac{\alpha_2}{m_T\delta}\left(1 + \frac{1}{KK_4}\right)m_n g\left(\frac{d_2}{h_{ц.т}} - f_K\right);$$

$$C_T^* = \frac{gf_K}{\delta}\left(\frac{1}{K_4} - 1\right) - \frac{\alpha_2^*}{m_T\delta}\left(1 + \frac{1}{KK_4}\right)m_n g\left(\frac{d_2}{h_{ц.т}} - f_K\right);$$

$$\alpha_2 = \frac{f_1 \cdot h_{ц.т}}{\ell_2 + h_n f_{mp} - h_{ц.т} f_1}; \quad \alpha_2^* = \frac{f_1^* \cdot h_{ц.т}}{\ell_2 - h_n f_{mp} - h_{ц.т} f_1^*};$$

$$f_1 = f_K - f_{mp}; \quad f_1^* = f_K + f_{mp}; \quad C_{T_1} = C_T + Bt_0;$$

$$C_{T_1}^* = C_T^* + B^* t_0; \quad B = \frac{1}{m_T\delta}\left[\mu_m - \mu_n\left(\alpha_2 + \frac{\alpha_2 + 1}{KK_4}\right)\right];$$

$$B^* = -\frac{1}{m_T\delta}\left[\mu_m - \mu_n\left(\alpha_2^* + \frac{\alpha_2^* + 1}{KK_4}\right)\right]; \quad \mu_m = \frac{P_T}{t_0};$$

$$\mu_n = \frac{P_n}{t_0}; \quad K = m_n : m_T; \quad K_4 = \vartheta_1 : \delta.$$

3.22. Изменение усилий в переднем стопорном и тяговом канатах автопоезда при его торможении носит колебательный характер с частотой:

при положительной асинхронности

$$\omega_T = \sqrt{\frac{C_K \alpha_2}{m_T \delta}\left(1 + \frac{1}{KK_Ц}\right)\left(\frac{1}{\alpha_2} + 1 + \frac{h_П}{h_{Ц.Т}}\right)}; \qquad (26)$$

при отрицательной асинхронности

$$\omega_T^* = \sqrt{\frac{C_K' \alpha_2^*}{m_T \delta}\left(1 + \frac{1}{KK_Ц}\right)\left[\cos\alpha_{авт}\left(1 + \frac{1}{\alpha_2^*} + \frac{h}{h_{Ц.Т}}\right)\right.} \qquad (27)$$

4. ДОРОЖНЫЕ УСЛОВИЯ

4.1. Наиболее часто встречающиеся длины дорожных неровностей рекомендуется принимать на основе обследований дорог или по результатам дорожных испытаний труботранспортных машин.

Для предварительных расчетов следует пользоваться следующими значениями длин неровностей $\ell_Н$:

для дорог с асфальтобетонным покрытием – $\ell_Н$ = 1,5–1,9 м;

для дорог с булыжным покрытием – $\ell_Н$ = 1,4–1,6 м;

для грунтовых дорог – $\ell_Н$ = 1,3–1,5 м.

4.2. Грунтовые дороги по высоте неровностей разделяются на три класса [5] :

первый класс – дороги с малыми неровностями, у которых средняя квадратичная высота неровности $B_Н \leq$ 10 см;

второй класс – дороги со средней квадратичной высотой неровности $B_Н$ = 10–20 см;

третий класс – дороги со средней квадратичной высотой неровности $B_Н >$ 20 см.

4.3. Основными вероятностными показателями, характеризующими микропрофиль дороги, являются следующие величины: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция.

Нормированные корреляционные функции продольного профиля грунтовых дорог, определяющие протяженность вероятностной взаимосвязи высот неровностей по длине дорожного участка, достаточно удовлетворительно можно аппроксимировать выражениями:

$$R = e^{-\alpha_{1Д} v_a |\Delta t|} \cdot \cos(\beta_{1Д} \cdot v_a \cdot \Delta t) \qquad (28)$$

или

$$R = B_1 e^{-\alpha_{2Д} v_a |\Delta t|} + B_2 e^{-\alpha_{3Д} v_a |\Delta t|} \cdot \cos(\beta_{2Д} \cdot v_a \Delta t). \qquad (29)$$

Коэффициенты $\beta_{1Д}$ и $\beta_{2Д}$ в приведенных выражениях (28) и (29) характеризуют величину периодических составляющих микропрофиля дороги и для грунтовых дорог равны

$$\beta_{1Д} = \beta_{2Д} = 0{,}025 - 0{,}235.$$

Длину периодической неровности определяют из следующей зависимости:

$$\ell_н = v_a \cdot \Delta t = \frac{2\pi}{\beta_{1Д}} \cdot \qquad (30)$$

4.4. Нормированные корреляционные функции поперечного профиля грунтовых дорог $\Delta h = h_{лев} - h_{пр}$ аппроксимируются выражением

$$R_{\Delta h} = B_3 e^{-\alpha_{4Д} v_a |\Delta t|} + B_4 e^{-\alpha_{5Д} v_a |\Delta t|} \cos(\beta_{3Д} \cdot v_a \cdot \Delta t). \quad (31)$$

Коэффициент $\beta_{3Д}$ для поперечного микропрофиля этих дорог составляет $\beta_{3Д} = 0{,}2 - 0{,}54$.

Типичные нормированные корреляционные функции профиля грунтовой дороги приведены в прил.3.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИМЕР РАСЧЕТА МЕТОДОМ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОТРАНСПОРТНОГО АВТОПОЕЗДА И СЕКЦИИ (рис.9)

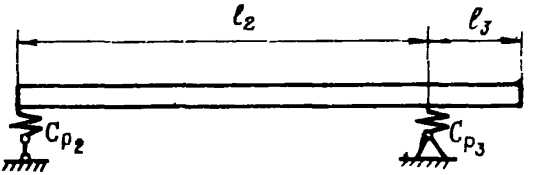

Рис.9. Расчетная схема собственных вертикальных колебаний труботранспортного автопоезда с грузом

Исходные данные:

Межопорное расстояние – ℓ_2 = 18 м;

задний свес – ℓ_3 = 6 м;

момент инерции сечения трубы диаметром 1220 мм и толщиной стенки 12 мм – $J = 83{,}12 \cdot 10^{-4}$ м;

масса трубы – m = 330 кг/м;

приведенная жесткость подвески и мин заднего моста автомобиля $C_{p_2} = 1{,}7 \cdot 10^6$ Н/м;

приведенная жесткость подвески и мин прицепа роспуска $C_{p_3} = 2 \cdot 10^6$ Н/м;

модуль упругости стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Н/м.

Из уравнений изгибающего момента и перерезывающей силы для груза над правой опорой [3] получим выражения, зависящие от величины начального прогиба f_0 и угла поворота f_0' его левого конца

$$\left.\begin{aligned} a_{11} f_0 + a_{12} f_0' = 0; \\ a_{21} f_0 + a_{22} f_0' = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (32)$$

где $a_{11} = \frac{\alpha_{20}^2 EJ}{\ell_3^2}\left[S(\alpha_{10}) - n_1 V(\alpha_{10})\right]\left[n_2 T(\alpha_{20}) - U(\alpha_{20})\right] -$

$- \frac{\alpha_{10}^2 \cdot EJ}{\ell_2^2}\left[U(\alpha_{10}) - n_1 T(\alpha_{10})\right] S(\alpha_{20})\Big] - \frac{\alpha_{10}^3 \cdot \ell_3 \cdot EJ}{\alpha_{20} \cdot \ell_2^3}\left[T(\alpha_{10}) -\right.$

$\left. - n_1 S(\alpha_{10})\right] T(\alpha_{20})\Big] - \frac{\alpha_{10} \cdot \alpha_{20} \cdot EJ}{\ell_2 \cdot \ell_3}\left[V(\alpha_{10}) - n_1 U(\alpha_{10})\right] V(\alpha_{20})\Big];$

$a_{12} = \frac{\alpha_{20}^3 \cdot \ell_2 \cdot EJ}{\alpha_{10} \cdot \ell_3^3}\left[n_2 T(\alpha_{20}) - U(\alpha_{20})\right] T(\alpha_{10}) - \frac{\alpha_{10} EJ}{\ell_2} \times$

$\times V(\alpha_{10}) S(\alpha_{20}) - \frac{\alpha_{10}^2 \cdot \ell_3 \cdot EJ}{\alpha_{20} \cdot \ell_2^2} U(\alpha_{10}) T(\alpha_{20}) - \frac{\alpha_{20} EJ}{\ell_3} S(\alpha_{10}) V(\alpha_{20});$

$a_{21} = \frac{\alpha_{20}^3 EJ}{\ell_3^3}\left[S(\alpha_{10}) - n_1 V(\alpha_{10})\right]\left[n_2 S(\alpha_{20}) - T(\alpha_{20})\right] - \frac{\alpha_{10}^3 EJ}{\ell_2^3}$

$\left[T(\alpha_{10}) - n_1 S(\alpha_{10})\right] S(\alpha_{20}) - \frac{\alpha_{10} \alpha_{20}^2 EJ}{\ell_2 \ell_3^2}\left[V(\alpha_{10}) - n_1 U(\alpha_{10})\right] U(\alpha_{20}) -$

$- \frac{\alpha_{10}^2 \cdot \alpha_{20} \cdot EJ}{\ell_2^2 \ell_3}\left[U(\alpha_{10}) - n_1 T(\alpha_{10})\right] V(\alpha_{20});$

$a_{22} = \frac{\alpha_{20}^3 \ell_2 EJ}{\alpha_{10} \cdot \ell_3^3}\left[n_2 S(\alpha_{20}) - T(\alpha_{20})\right] T(\alpha_{10}) - \frac{\alpha_{10}^2 \cdot EJ}{\ell_2^2} U(\alpha_{10}) \times$

$\times S(\alpha_{20}) - \frac{\alpha_{20}^2 EJ}{\ell_3^2} S(\alpha_{10}) U(\alpha_{20}) - \frac{\alpha_{10} \cdot \alpha_{20} \cdot EJ}{\ell_2 \cdot \ell_3} V(\alpha_{10}) \times$

$\times V(\alpha_{20});\quad n_1 = \frac{c p_2 \ell_2^3}{EJ};\qquad n_2 = \frac{c p_3 \ell_3^3}{EJ}.$

$\alpha_{10} = \sqrt[4]{\frac{m \cdot \ell_2^4 \cdot \omega^2}{EJ}};\qquad \alpha_{20} = \frac{\alpha_{10}}{\ell_2}\ell_3;$

$S(\alpha_{iK}) = 0{,}5(Ch\,\alpha_{iK} + \cos\alpha_{iK});\quad T(\alpha_{iK}) = 0{,}5(Sh\alpha_{iK} + \sin\alpha_{iK});$

$U(\alpha_{iK}) = 0{,}5(Ch\alpha_{iK} - \cos\alpha_{iK});\quad V(\alpha_{iK}) = 0{,}5(sh\,\alpha_{iK} - \sin\alpha_{iK}).$

Система однородных уравнений (32) имеет решения отличные от нуля в том случае, если детерминант, составленный из коэффициентов при неизвестных f_0 и f_0', равен нулю. Из этого условия получим

$$\Delta = a_{11}\,a_{22} - a_{12}\,a_{21} = 0. \qquad (33)$$

Корни этого уравнения частот определяют методом проб. Согласно этому методу зададимся значением α_{10} [6], для которого определим коэффициенты a_{11}, a_{12}, a_{21} и a_{22}. Подставляя значения этих коэффициентов в уравнение (33), получим в правой части вместо нуля некоторую величину Δ. В том случае, если выбранное нами значение α_{10} соответствует корню уравнения (33), величина Δ будет равна нулю. Поэтому, задаваясь рядом значений α_{10} и имея каждый раз по уравнению (33), соответствующее значение Δ, , получим возможность построить график зависимости Δ от α_{10}, из которого определим значение α_{10}, соответствующее $\Delta = 0$. Это значение α_{10} и будет корнем уравнения (33). Согласно [6] принимаем $\alpha_{10} = 2{,}94$. Далее определим величину α_{20} по формуле

$$\alpha_{20} = \frac{\alpha_{10} \cdot \ell_3}{\ell_2} = 0{,}98.$$

Подставляя численные значения, определяем коэффициенты $n_1, n_2, a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$:

$$n_1 = 5{,}68;\ n_2 = 0{,}247;\ a_{11} = 2{,}389 \cdot 10^9;$$

$$a_{12} = -3{,}076 \cdot 10^9;\ a_{21} = 3{,}926 \cdot 10^8;\ a_{22} = 5{,}464 \cdot 10^8.$$

В этом случае численные значения величины детерминанта $\Delta = -9{,}779 \cdot 10^{16}$.

Повторяя расчет для $\alpha_{10} = 1{,}57$ и $\alpha_{10} = 1{,}9$, находим соответствующие значения Δ. По полученным трем значениям этого параметра строим график, по которому определяем величину $\alpha_{10} = 1{,}59$ при $\Delta = 0$. Это значение α_{10} и будет корнем уравнения (33).

Частоту собственных изгибных колебаний автопоезда и секции труб определяем по формуле

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha_{10}^2}{\ell_2^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} = 2{,}86\ \text{Гц}.$$

ПРИМЕР ИЗМЕНЕНИЯ УСИЛИЯ НАТЯЖЕНИЯ В КАНАТАХ ПЛЕТЕВОЗА ПРИ ЕГО ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ (рис.10)

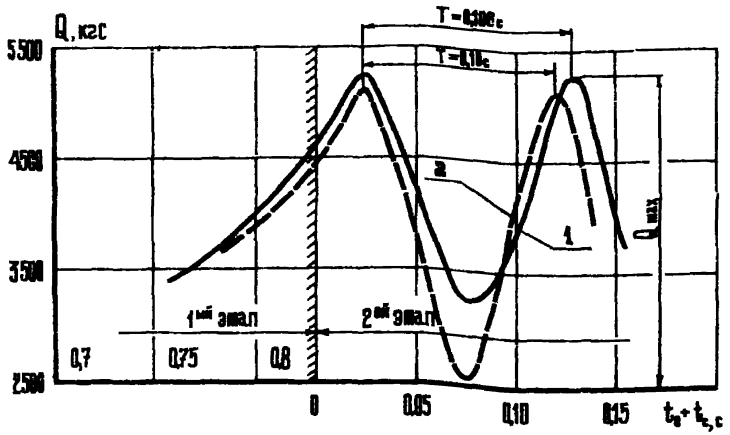

Рис.10. Зависимость усилия натяжения стопорного каната от времени торможения плетевоза ПВ91 (v_0 = 2,1 м/с; груз - секция длиной L = 24 м и диаметром 1220 мм):
1-теоретическая кривая; 2-экспериментальная

ПРИМЕР НОРМИРОВАННЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ПРОФИЛЯ ГРУНТОВОЙ ДОРОГИ (рис.II и I2)

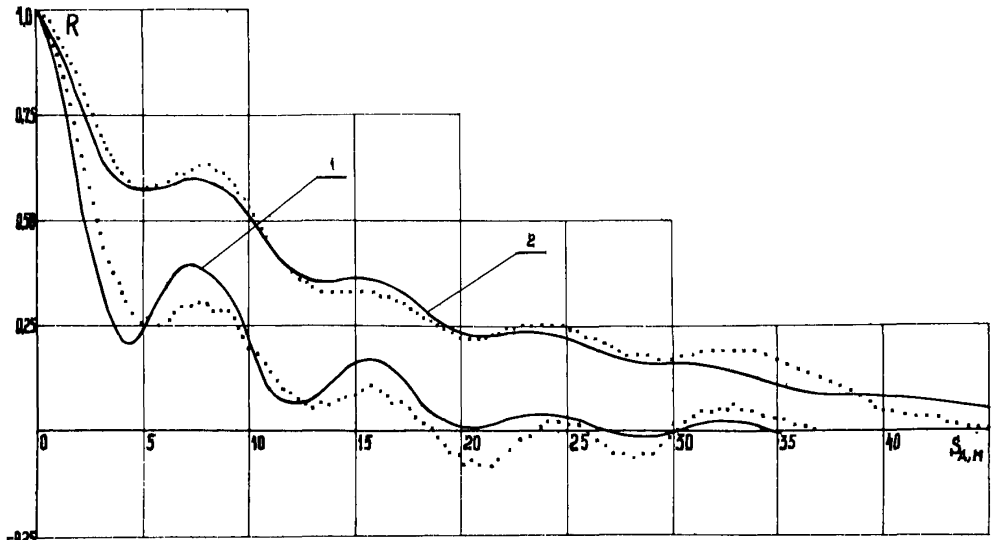

Рис.II. Нормированные корреляционные функции продольного профиля грунтовой дороги:
I-левая колея; 2-правая колея

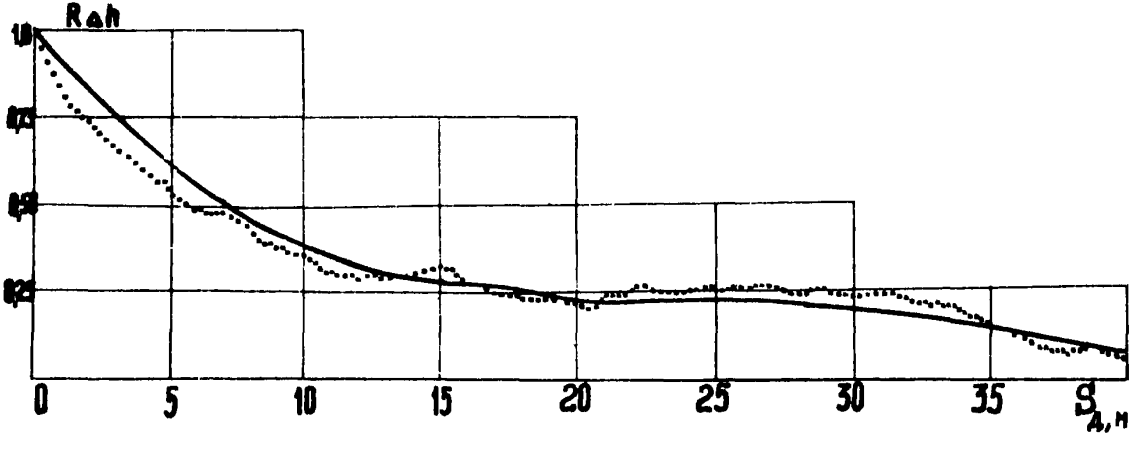

Рис.I2. Нормированная корреляционная функция поперечного профиля грунтовой дороги

ЛИТЕРАТУРА

I. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М., Машиностроение, 1967.

2. Рекомендации по перевозке длинномерных железобетонных конструкций промышленных зданий автотранспортом. НИИСК, Киев, Госстрой СССР, 1973.

3. Ананьев И. В., Тимофеев П. Г. Колебание упругих систем в авиационных конструкциях и их демпфирование. М., Машиностроение, 1965.

4. Закин Я. Х., Щукин М. М., Марголис С. Я., Ширяев П. П., Андреев А. С. Конструкции и расчет автомобильных поездов. М., Машиностроение, 1968.

5. Силаев А. А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. М., Машиностроение, 1972.

6. Камерштейн А. Г., Рождественский В. В., Ручимский М. Н. Расчет трубопроводов на прочность. М., "Недра", 1969.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Схема опирания длинномерных труб и секций при перевозке 9
3. Режим перевозки длинномерных труб 10
4. Дорожные условия 28
Приложения 30
Литература 40

Руководство
по оценке динамических параметров
труботранспортных автопоездов

Р 311-78

Издание ВНИИСТа

Редактор Т.Я.Разумовская Корректор С.Н.Михайлова
Технический редактор Т.В.Беремева

Л-70649 Подписано в печать 3.XI.78г. Формат 60х84/16
Печ. л. 2,5 Уч.-изд. л. 2,0 Бум. л. 1,25
Тираж 500 Цена 20коп. Заказ 102

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru