

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА В СИСТЕМЕ "ЛЕСОВОЗНЫЙ ТЯГАЧ – ПОГРУЖЕННЫЙ ПРИЦЕП-РОСПУСК"

Вопросам исследования динамики лесовозных автопоездов посвящены исследования Б.Г.Гастева [1], Е.И.Лаха [2] и др. Исследования авторов касаются в основном динамики лесовозных автопоездов при движении их с грузом (пакетом хлыстов или деревьев). При этом учитываются такие особенности, как упругость и демпфирование пакета хлыстов, качество подрессоривания тягача и прицепа-ропуска, степень ровности дорог и др. Рассматриваются случаи движения автопоездов с неполной нагрузкой или порожнего при транспортировке прицепа-ропуска на буксире.

Однако в настоящее время нашли широкое применение лесовозные тягачи с самопогружающимися прицепами-ропусками типа МАЗ-509А + ТМЗ-803, КрАЗ-255Л + ТМЗ-803. Проходят эксплуатационные испытания лесовозные автопоезда МАЗ-5434 + ГKB-9362, КрАЗ-260 + ГKB-9362. Транспортировка погруженного прицепа-ропуска на шасси лесовозного тягача сокращает время негрузового пробега, улучшает тяговую динамику, проходимость и маневренность автомобиля, уменьшает износ шин и увеличивает срок службы прицепа-ропуски, а также повышает безопасность движения и способствует сохранности покрытий автомобильных дорог. Но при этом, как показали длительные эксплуатационные испытания лесовозных автопоездов в составе тягачей МАЗ-509А, КрАЗ-255Л и прицепов-ропусков ТМЗ-803 со складывающимися дышлами, наблюдаются некоторые неблагоприятные моменты, которые при существующих конструктивных схемах размещения и закрепления ропуска на шасси тягача существенно ограничивают сферу использования автопоездов такого типа. Поэтому необходимо более глубоко теоретически и экспериментально исследовать влияние указанного способа транспортировки прицепа-ропуски на нагруженность лесовозного автомобиля.

Лесовозные автопоезда часто работают в особо сложных дорожных условиях. Степень нагружения ходовой части, несущей системы, трансмиссии, а также отдельных агрегатов и узлов транспортной машины во многом определяется ровностью покрытий дорог. Ровность лесовозных дорог в зависимости от типа покрытия изменяется в широких пределах. Среднеквадратичные высоты неровностей σ_n дорог с гравийным и грунтовым покрытием могут достигать до 0,8–5,6 см, магистральных волоков — до 2,5–6 см [3]. При этом возникают сложные динамические явления, приводящие к значительным перегрузкам ходовой части машин, их несущих систем и трансмиссий. Появление динамических перегрузок элементов трансмиссии, ходовой части во многом определяется колебаниями масс автопоезда, возбуждаемыми неровностями дорог. Динамическая нагруженность транспортной машины определяется не только степенью ровности дорог, но в значительной мере зависит также от

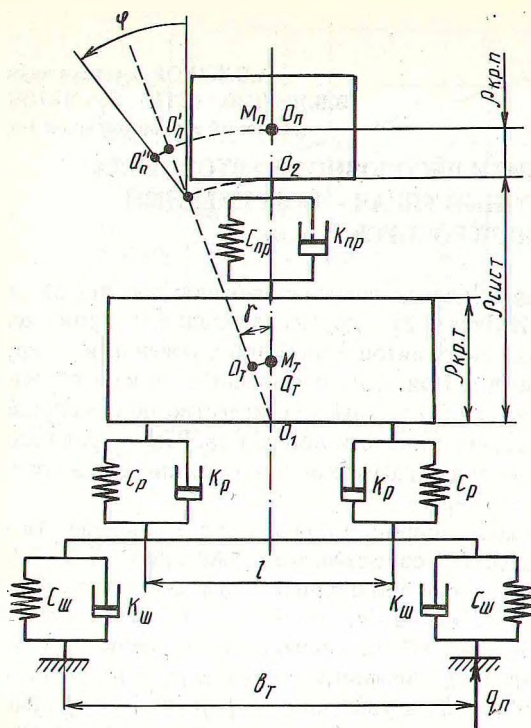


Рис. 1. Схема колебаний системы в поперечной вертикальной плоскости, эквивалентная лесовозному автомобилю с погруженным на его шасси роспуском.

сти хода, и неблагоприятные условия работы, которые ухудшают динамические качества автомобиля и способствуют интенсивному раскачиванию автопоезда в продольно-поперечных плоскостях при движении его по неровным и ухабистым дорогам. При этом колебания системы "лесовозный тягач — погруженный прицеп-роспуск" вызываются не только неровностями пути, но в большей мере инерционным воздействием перевозимого груза: погруженным прицепом-роспуском со складывающимся дышлом [4].

Для исследования динамических явлений в системе "лесовозный тягач — погруженный прицеп-роспуск" рассмотрим динамическую модель этой системы, представленную на рис. 1.

Для получения дифференциальных уравнений, описывающих поперечно-угловые колебания системы "тягач — погруженный прицеп-роспуск", использовано уравнение Лагранжа II рода, в которое входят кинетическая T и потенциальная П энергии системы, а также диссипативная функция R :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_k} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n),$$

где n — число степеней свободы динамической системы; q_k — k-я обобщенная координата.

конструктивных особенностей самой машины, в частности лесовозного автопоезда, рассматриваемого в системе "лесовозный тягач — погруженный роспуск". Большое значение при этом имеет качество поддрессирования автопоезда, соотношение распределения масс его звеньев.

При существующих схемах транспортировки прицепов-роспусков на шасси лесовозных тягачей своеобразно изменяется развеска автомобиля, повышается центр тяжести его поддрессоренной массы. Расположение роспуска и механизмов погрузки и перевозки его на шасси в задней части рамы лесовозного тягача, некоторое консольно-маятниковое свисание роспуска и недостаточное закрепление его на шасси создают, наряду с некоторым улучшением плавности хода,

Определив выражения для кинетической, потенциальной энергий системы и диссипативной функции, которая характеризует рассеивание энергии под действием сил сопротивления, произведя над ними математические преобразования и подставляя в уравнение Лагранжа, получаем систему дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих поперечно-угловые колебания системы "лесовозный тягач – погруженный прицеп-роспуск":

$$\begin{cases} a_1 \ddot{\gamma} + a_2 \dot{\gamma} + a_3 \gamma + a_4 \ddot{\varphi} = a_8 q_{\Pi} + a_2 \dot{q}_{\Pi}; \\ a_5 \ddot{\varphi} + a_6 \dot{\varphi} + a_7 \varphi + a_4 \ddot{\gamma} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $a_1 = I_{01} + M_{\Pi} \rho_{\text{сист}}$; $a_2 = K_{\gamma_1} + K_{\gamma_2}$; $a_3 = C_{\gamma_1} + C_{\gamma_2} - M_T g \cdot \rho_{\text{кр.т}} - M_{\Pi} g \times \rho_{\text{сист}}$; $a_4 = M_{\Pi} \rho_{\text{сист}} \cdot \rho_{\text{кр.п}}$; $a_5 = I_{02} + M_{\Pi} \rho_{\text{кр.п}}^2$; $a_6 = K_{\varphi}$; $a_7 = C_{\varphi} - M_{\Pi} \times \rho_{\text{кр.п}} \cdot g$; $a_8 = C_{\gamma_1} + C_{\gamma_2}$. Здесь I_{01}, I_{02} – моменты инерции масс тягача и прицепа-ропуска соответственно относительно продольной оси, проходящей через центры крена указанных масс; M_T, M_{Π} – приведенные массы лесовозного тягача и прицепа-ропуска соответственно; $C_{\gamma_1}, C_{\gamma_2}, C_{\gamma_3}$ – угловые жесткости передней оси тягача, задней оси тягача и прицепа-ропуска соответственно; $K_{\gamma_1}, K_{\gamma_2}, K_{\gamma_3}$ – коэффициенты сопротивления поперечно-угловым колебаниям тягача и прицепа-ропуска соответственно; $\rho_{\text{кр.т}}$ – радиус крена тягача; $\rho_{\text{кр.п}}$ – радиус крена прицепа-ропуска; $\rho_{\text{сист}}$ – радиус крена системы "лесовозный тягач – погруженный прицеп-роспуск"; g – ускорение свободного падения, $q_{\Pi} = q_{1\Pi} = q_{2\Pi}$ – так как пренебрегаем запаздыванием воздействия.

Из уравнений (1) путем преобразований Лапласа находим выражения для амплитудно-частотных характеристик поперечно-угловых колебаний лесовозного тягача ($W_{\gamma}(i\omega)$) и прицепа-ропуска ($W_{\varphi}(i\omega)$):

$$|W_{\gamma}(i\omega)| = \frac{1}{b_{\Pi}} \sqrt{\frac{A_{\omega}^2 + B_{\omega}^2}{C_{\omega}^2 + D_{\omega}^2}},$$

где $A_{\omega} = a_7 a_8 - (a_8 a_5 - a_2 a_6) \omega^2$; $B_{\omega} = (a_6 a_8 + a_2 a_7) \omega - a_2 a_5 \omega^3$, $C_{\omega} = (a_1 a_5 - a_4^2) \omega^4 - (a_3 a_5 + a_1 a_7 + a_2 a_6) \omega^2 + a_3 a_7$; $D_{\omega} = (a_3 a_6 + a_2 a_7) \omega - (a_2 a_5 + a_1 a_6) \omega^3$

$$|W_{\varphi}(i\omega)| = \frac{1}{b_{\Pi}} \sqrt{\frac{(K_{\omega} A_{\omega})^2 + (K_{\omega} B_{\omega})^2}{(E_{\omega} C_{\omega} L_{\omega} D_{\omega})^2 + (C_{\omega} L_{\omega} + E_{\omega} D_{\omega})^2}},$$

где $E_{\omega} = a_7 - a_5 \omega^2$; $K_{\omega} = a_4 \omega^2$; $L_{\omega} = a_6 \omega$.

На ЭЦВМ "Мир-1" произведен расчет амплитудно-частотных характеристик лесовозного автопоезда МАЗ-509А + ТМЗ-803 со следующими исходными данными:

$I_{01} = 3,05 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м};$	$M_T = 9000 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м};$
$I_{02} = 1,4 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м};$	$M_{II} = 4000 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м};$
$C_{\gamma_1} = 1,58 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$	$K_{\gamma_1} = 39300 \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м} / \text{рад};$
$C_{\gamma_2} = 3,62 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$	$K_{\gamma_2} = 90000 \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м} / \text{рад};$
$C_{\varphi} = 6,14 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$	$K_{\varphi} = 7,22 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м} / \text{рад};$
$\rho_{кр.т} = 0,40 \text{ м};$	$\rho_{сист} = 1,2 \text{ м};$
$\rho_{кр.п} = 0,59 \text{ м};$	$g = 9,81 \text{ м} / \text{с}.$
$b_{II} = 1,95 \text{ м};$	

По результатам расчетов построены амплитудно-частотные характеристики ($W_j(i\omega)$) лесовозного тягача без прицепа-ропуска и системы "лесовозный тягач — погруженный прицеп-ропуск", изображенные на рис. 2, а, б.

Из рис. 2 видно, что кривая 1 имеет ярко выраженный максимум. Наибольшая амплитуда колебаний в области малых частот колебаний составляет $1,2-1,3 \text{ с}^{-1}$. Влияние прицепа-ропуска на сдвиг максимума по частоте слабое. Максимальная амплитуда колебаний лесовозного тягача $1,729 \text{ рад} / \text{с}$ при частоте $1,3 \text{ с}^{-1}$. При наличии прицепа-ропуска максимальная амплитуда увеличивается до $1,789 \text{ рад} / \text{с}$ при частоте $1,2 \text{ с}^{-1}$, а в области более высоких частот изменений не происходит.

На рис. 2, б изображены амплитудно-частотные характеристики системы "тягач — погруженный прицеп-ропуск" с исходными параметрами и системы "тягач — погруженный прицеп-ропуск с рессорно-балансирной подвеской". Наибольшая амплитуда колебаний в области малых частот колебаний составляет $1,2-1,3 \text{ с}^{-1}$. Максимальная амплитуда колебаний системы "тягач — погруженный прицеп-ропуск с рессорно-балансирной подвеской" $1,735 \text{ рад} / \text{с}$ при частоте $1,1 \text{ с}^{-1}$, т.е. меньше, чем в случае с неподрессоренным ропуском

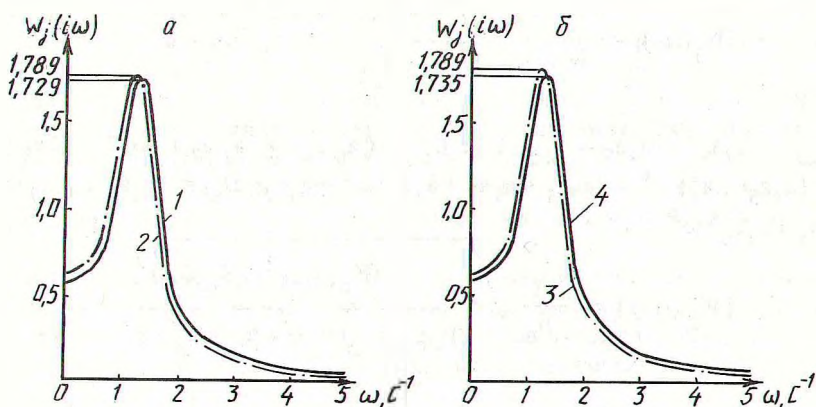


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики: 1 — лесовозный тягач; 2, 3 — лесовозный тягач с погруженным прицепом-ропуском; 4 — лесовозный тягач с погруженным прицепом-ропуском с рессорно-балансирной подвеской.

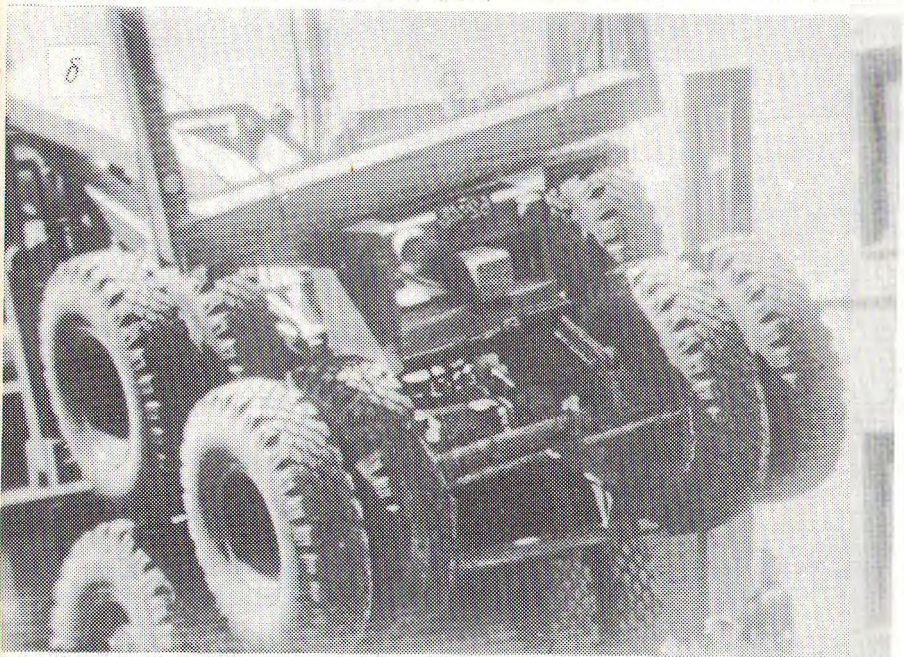
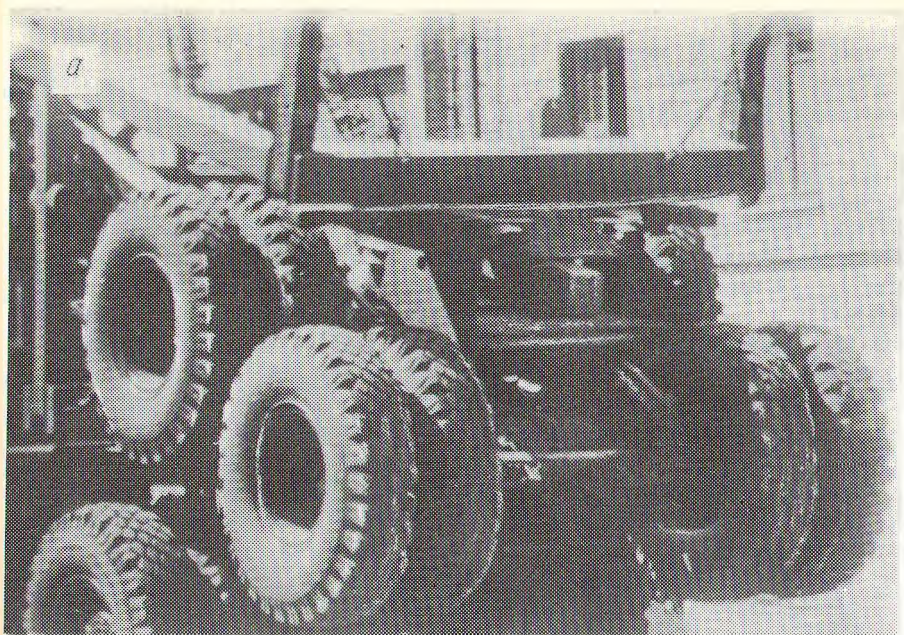


Рис. 3. Автомобиль-лесовоз МАЗ-509А с погруженным на шасси прицепом-ропуском ТМЗ-803:

а — движение по дороге без неровностей; б — переезд через пороговую искусственную неровность.

$(W_{\gamma}(i\omega) - 1,789)$. Следовательно, в случае, когда имеем поддрессоренный роспуск, уменьшается коэффициент динамичности K_{ν} .

Данную расчетную схему можно использовать для расчета динамических показателей лесовозного тягача с погруженным на шасси роспуском. Однако результаты расчетных исследований не полностью соответствуют данным длительных эксплуатационных испытаний. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование предлагаемой расчетной модели с целью учета ударных явлений, наблюдаемых в системе. Но можно сказать, что ударные явления при перевозке роспуска на шасси весьма значительны, что подтверждает киносъемка процесса движения лесовозного автопоезда через пороговые искусственные неровности, проведенная на Минском автомобильном заводе (рис. 3). Экспериментом преследовалась цель раскрыть с помощью кинокамеры механизм нагружения несущей системы автомобиля-лесовоза МАЗ-509А при транспортировке на шасси прицепа-роспуска ТМЗ-803, а также изучить в процессе переезда искусственных препятствий перемещения прицепа-роспуска на шасси тягача. Эксперимент проводился на дороге с асфальтовым покрытием, на которой устанавливались препятствия высотой 160 мм в шахматном и рядном порядке с шагом, равным базе автомобиля МАЗ-509А (3950 мм) и половине базы роспуска (1975 мм).

Таким образом, дальнейшая разработка расчетной схемы, учитывающей ударные нагрузки, позволит исследовать сущность происходящих явлений, моделировать параметры подвески тягача и прицепа-роспуска и оптимизировать их, рассчитывать динамические показатели лесовозного тягача с погруженным прицепом-роспуском.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а с т е в Б.Г., М е л ь н и к о в В.Н. Основы динамики лесовозного подвижного состава. — М.: Лесн. пром-сть, 1967, 220 с. 2. Л а х Е.И. К определению вертикальных динамических нагрузок на оси автомобильной балансирной тележки. — Автомобильная пром-сть, 1962, № 11, с. 10–12. 3. Ж у к о в А.В., К а д о л к о Л.И. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний. — Минск: Наука и техника, 1978. — 264 с. 4. Р о т е н б е р г Р.В. Подвеска автомобиля. — М.: Машиностроение, 1972. — 392 с.

УДК 629.114.3

С.С.МАКАРЕВИЧ, канд.техн.наук,
С.П.МОХОВ, Я.И.ОСТРИКОВ (БТИ),
В.П.ШИШЛО (ПО БелавтоМАЗ)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ НАГРУЖЕННОСТИ РАМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРИЦЕПНЫХ СРЕДСТВ

Интенсивное развитие лесной промышленности обуславливает все более широкое использование автотранспорта леса, в том числе и прицепных средств общетранспортного назначения для перевозки короткомерной лесной продукции. Поэтому вопросы проектирования данных транспортных средств являются актуальными.